

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

FILIPPE ELIAZAR CREMONEZ

USO DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA DE MILHO E SOJA

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2018

FILIPPE ELIAZAR CREMONEZ

USO DE PLANTAS DE COBERTURA NA ENTRESSAFRA DE MILHO E SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientador: Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientador: Laércio Augusto Pivetta

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cremonez, Filipe Eliazar

Uso de plantas da cobertura na entressafra de milho e soja / Filipe Eliazar Cremonez; orientador(a), Paulo Sérgio Rabello de Oliveira; coorientador(a), Laércio Augusto Pivetta, 2018. 174 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

1. Forrageiras. 2. Adubação verde . 3. Conservação do solo. I. Rabello de Oliveira, Paulo Sérgio . II. Pivetta, Laércio Augusto. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



FILIPE ELIAZAR CREMONEZ

Uso de plantas de cobertura na entressafra de milho e soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Paulo Sérgio Rabeiro de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Edmar Soares de Vasconcelos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Laercio Augusto Pivetta

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 27 de fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha família, amigos e namorada pelo apoio em cada etapa de minha vida.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná pela oportunidade.

A Jocelito Antônio Canossa pela concessão da área para realização das atividades.

A Universidade Federal do Paraná por todo o apoio.

Ao meu orientador e coorientador por toda a ajuda, paciência e ensinamentos.

RESUMO

CREMONEZ, Filipe, E. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2018. **Uso de plantas de cobertura na entressafra de milho/soja.** Orientador: Paulo Sergio Rabello de Oliveira. Coorientador: Laércio Augusto Pivetta.

Visando um sistema de manejo adequado do solo, é recomendável a utilização de plantas de cobertura na entressafra das culturas de milho e soja, para promover proteção e melhoria das condições do solo sem que o agricultor abra mão das principais culturas produtoras de grãos. Neste sentido, este trabalho objetivou fazer o cultivo de espécies de cobertura após a colheita do milho de segunda safra (inverno), e observar o potencial de crescimento, formação de biomassa e ciclagem de nutrientes, bem como avaliar os benefícios destas culturas sobre o solo e a cultura sucessora (soja). Sendo assim, foram utilizadas 5 espécies, sendo estas: aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, tremoço branco e sorgo forrageiro e os consórcios, nabo+aveia, nabo+sorgo, ervilhaca+aveia, ervilhaca+sorgo, tremoço+aveia, tremoço+sorgo e tremoço+ervilhaca, além do solo em pousio (testemunha), totalizando 13 tratamentos. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com 4 repetições e cada parcela foi formada por 9 linhas de semeadura espaçadas em 0,17 m e com 5 metros de comprimento. As plantas foram conduzidas até 65 dias após a semeadura (DAS), sendo que durante seu desenvolvimento avaliou-se a porcentagem de área coberta e incidência de plantas daninhas. Após os 65 DAS, as plantas foram manejadas e avaliou-se a massa seca total, e a quantidade de N, P e K no tecido vegetal, no dia do manejo e 20, 40, 60 e 80 dias após o corte das plantas. A partir da última avaliação (80 dias após o corte) foram feitas avaliações das propriedades físicas do solo também. Foi feito ainda o cultivo de soja sobre a palhada das culturas de cobertura, da qual se avaliou os teores de N, P e K na folha diagnose, massa de 1000 grãos e produtividade. Para as variáveis, porcentagem de área coberta, quantidade e decomposição da matéria seca e acúmulo e liberação de P e K, utilizou-se ajuste exponencial. Para as demais variáveis foi utilizado o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott. Foi realizado ainda para matéria seca e acúmulo de N, P e K das plantas de cobertura cálculo de tempo de meia vida. Para porcentagem de área coberta, observou-se que a cultura do nabo e da aveia foram as que tiveram desenvolvimento mais rápido e cobriram melhor o solo, tendo assim efeito maior de supressão sobre as plantas daninhas. Para formação de matéria seca, acúmulo e liberação de nutrientes as culturas do nabo forrageiro e aveia preta, tal qual consórcios contendo

essas plantas, foram as que se sobressaíram. No caso das propriedades físicas do solo, não se observou nenhuma diferença entre os tratamentos. Não se observou diferença entre as variáveis analisadas para a cultura da soja. Se o objetivo for a velocidade de cobertura do solo, maior supressão de plantas daninhas, maior aporte de carbono no solo e maior ciclagem de nutrientes, recomenda-se o nabo forrageiro ou seus consórcios.

Palavras-chave: forrageiras; adubação verde; conservação do solo.

ABSTRACT

CREMONEZ, Filipe, E. State University of Western Paraná, February, 2018. **Use of cover crops between the corn and soybean crop.** Advisor: Paulo Sergio Rabello de Oliveira. Co-Advisor: Laercio Augusto Pivetta.

An alternative to introduce many different species in this soybean and maize succession system is the cultivation of cover crops in the crop inter-harvest (after corn harvest), without the farmer giving up the main source of income of the enterprise. In this sense, the objective of this work was to make a variety of cover crops after harvesting the maize from the winter and to observe the growth potential and biomass formation of the species, as well as to evaluate the cultures affect of cover crops on the soil and successor crops, mainly the soybean. For that, five species were used: *Avena strigosa*; *Raphanus sativus* L.; *Vicia sativa* L.; *Lupinus albus* and *Sorghum Bicolor* cv. *Sunchales* NR; besides consortium between, *R. sativus* + *A. strigosa*; *R. sativus* + *S. Bicolor*; *V. sativa* + *A. strigosa*; *V. sativa* + *S. Bicolor*; *L. albus* + *A. strigosa*; *L. albus* + *S. Bicolor*; *L. albus* + *V. sativa*, totaling 13 treatments. The experiment was carried out in a randomized block design with four blocks (replicates) and each plot was formed by nine sowing rows spaced 0.17 m and 5 meters long. The plants were carried out to 65 days after sowing (DAS), during which time was evaluated, the percentage of soil area covered and incidence of weeds. After 65 DAS, the plants were cutted and the total dry mass, and amount of N, P and K in the plant tissue were evaluated on the day of the plants cut and 20, 40, 60 and 80 days after the cut of the plants. During this last evaluation, it were made assessments of the soil physical properties. Soybean cultivation was also carried out on the straw of the cover crops, from which were evaluated the N, P and K contents in the diagnosis leaf, 100 grain mass and grain yield. For the variables percentage of covered area, quantity and decomposition of dry matter, accumulation and release of P and K, was used an exponential adjustment. For the other variables, the Scott-Knott averages clustering test was used. It was also half-life time was calculated for dry matter and accumulation of N, P and K of the cover plants. For percentage of area covered, it was observed that the culture of *R. sativus* and *A. strigosa* were those that developed faster and produced most cover over the soil, thus having a greater suppression effect on weeds. For the formation of dry matter, accumulation and nutrient release, *R. sativus* and *A. strigosa*, such as treatments containing these crops, were the most prominent, but with superiority of *R. sativus*. For the physical properties of the soil, no difference between the treatments was observed for any property evaluated. There, was no difference between the

variables evaluated for the soybean crop. In general, thinking about soil cover area, greater weed suppression, greater soil carbon input and greater nutrient cycling, the treatments with *R. sativus* cultivation are the most recommended for this evaluated period of off-season.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de solo realizada na área do experimento no início das atividades. profundidade 0-20 cm.....	11
Tabela 2 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp(-kt)$, coeficiente de determinação (R^2) e meia-vida ($T_{1/2}$), para ms remanescentes até 80 dias após o manejo das plantas de cobertura	27
Tabela 3 - Teores de nitrogênio ($g\ kg^{-1}$), nitrogênio acumulado ($kg\ ha^{-1}$) e relação C/N	31
Tabela 4 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp(-kt)$, coeficiente de determinação (R^2) e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), para p remanescentes até 60 dias após o manejo das plantas de cobertura	37
Tabela 5 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp(-kt)$, coeficiente de determinação (R^2) e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), para k remanescentes até 60 dias após o manejo das plantas de cobertura.	43
Tabela 6 - Médias obtidas e significância pelo teste F para os diferentes tratamentos nas variáveis, densidade do solo (DS), macroporosidade (MA), microporosidade (MI) porosidade total (PT).....	48
tabela 7 - Valores da análise nutricional de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PD), para cultura da soja.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	ROTAÇÃO DE CULTURAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	3
2.2	PLANTAS DE COBERTURA	5
2.3	PROPRIEDADES FÍSICAS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	9
3	MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO	11
3.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	12
3.3	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	13
3.4	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	14
3.4.1	Porcentagem de área coberta	14
3.4.2	Incidência de plantas daninhas	14
3.4.3	Determinação da matéria seca e decomposição	14
3.4.4	Determinação do acúmulo e liberação dos nutrientes	15
3.4.5	Análises físicas do solo	16
3.4.6	Cultura da soja	17
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1	PORCENTAGEM DE ÁREA COBERTA E INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS....	19
4.2	MATÉRIA SECA E NUTRIENTES	24
4.2.1	Matéria seca	24
4.2.2	Nitrogênio	30
4.2.3	Fósforo	33
4.2.4	Potássio	39
4.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	44
4.4	CULTURA DA SOJA	49
5	CONCLUSÕES	52
6	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Levando em consideração o manejo conservacionista do solo, uma técnica bastante difundida é a utilização do sistema de plantio direto (SPD). Entretanto, o SPD muitas vezes é tido como a simples manutenção de restos culturais sobre o solo sem considerar, no entanto, que aliado a isso ainda é necessário que haja a rotação de culturas. Mesmo conhecendo a técnica e a correta utilização da mesma, poucos produtores rurais atualmente utilizam o sistema de rotação de culturas devido à baixa viabilidade econômica que esse sistema oferece, uma vez que o sistema de sucessão com culturas de maior valor agregado torna-se mais rentável (CECCON, 2008; PECHE FILHO, 2005).

Tendo em vista a importância da rotação de culturas no uso adequado do solo, existem algumas práticas que inserem outros tipos de culturas dentro de uma sucessão, sem que haja necessidade de abrir mão de uma cultura de alto rendimento. Um exemplo disso é o cultivo consorciado entre duas culturas anuais, como por exemplo milho e braquiária, que além de promover grande cobertura do solo, promove melhor ciclagem de nutrientes e disponibilização dos mesmos através da matéria orgânica em decomposição, além desse cultivo simultâneo poder ser utilizado como uma integração lavoura-pecuária (ILP) onde o empreendedor rural pode ter rendimento extra (LEONEL et al., 2009; MACEDO, 2009). No entanto, esse sistema apresenta como problema a necessidade de manejo semelhante entre as espécies, principalmente se considerar o controle químico de plantas daninhas, de forma que dificilmente uma leguminosa poderia ser conduzida juntamente de uma gramínea, sendo que além disso o consórcio pode proporcionar redução no rendimento de grãos (PARIZ et al., 2009).

Levando em consideração a incompatibilidade de manejos, mas considerando a grande relevância da rotação entre leguminosas e gramíneas, uma alternativa é fazer o cultivo das culturas de cobertura na entressafra das culturas de maior rendimento, como por exemplo entre soja e trigo ou milho e soja, onde além do solo permanecer com a cobertura vegetal durante a entressafra, essa cultura de cobertura promove a redução da incidência de plantas daninhas, proteção do solo e ciclagem de nutrientes (SEVERINO et al., 2006).

Tomando como base a entressafra de milho e soja na região oeste do Paraná, esta ocorre entre o período de inverno e início da primavera, o que favorece o cultivo de espécies forrageiras de inverno, que são alternativas para serem cultivadas na entressafra, entre elas diversas gramíneas e leguminosas (FONTANELI et al., 2012).

Entre as gramíneas, pode-se dar destaque às plantas como a aveia preta, o centeio, triticale forrageiro, sorgo, entre outros. A principal característica dessas plantas é a rápida

formação de cobertura vegetal e lenta decomposição desta, promovendo a proteção do mesmo, além é claro, da ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2006; TREZZI; VIDAL, 2004; SORATTO et al., 2012).

No caso das leguminosas, pode-se citar plantas como tremoço, ervilhaca, ervilha forrageira, entre outras, que tem como principal objetivo a fixação e ciclagem principalmente de nitrogênio, sendo que estas apresentam baixa relação C/N e, portanto, se decompõe rapidamente no solo. O nabo apesar de ser uma brássica e de não apresentar fixação biológica de N, apresenta características semelhantes as leguminosas, disponibilizando altos teores de N e K no solo após sua decomposição (CRUSCIOL et al., 2005; HEINRICHS et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2005).

Essas culturas apresentam características diferenciadas em relação a sucessão com soja e milho, portanto, são uma alternativa para suprir as demandas em relação a conservação do solo, melhoria das propriedades físicas e ciclagem de nutrientes. Dessa forma, este trabalho objetiva avaliar a velocidade de crescimento das plantas de cobertura e sua supressão sobre as plantas daninhas, além da formação de cobertura, ciclagem de nutrientes e efeito das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo e culturas sucessoras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ROTAÇÃO DE CULTURAS NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Entre as mais diversas práticas de manejo e conservação do solo, uma das principais combinações conhecidas é o sistema de plantio direto. Apesar de bem difundido, esse sistema não é utilizado de forma criteriosa por todos os agricultores, uma vez que na maioria dos casos algumas das principais premissas são ignoradas, sendo estas, a rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, que são fundamentais para proteção e manutenção do solo (PECHE FILHO, 2005; PIRES, et al., 2008).

Normalmente, entende-se como plantio direto a simples manutenção da palhada no solo, todavia, para que o sistema produtivo como um todo torne-se sustentável e que possa ser definido como sistema plantio direto, é imprescindível que não seja feito o revolvimento do solo, haja formação de palhada e que seja feita rotação de espécies em uma mesma área, uma vez que cada cultura proporciona diferentes modificações no solo, desde a contribuição com matéria orgânica, até a ciclagem de nutrientes, além de todas plantas de cobertura, em diferentes níveis, proporcionarem a proteção contra o processo erosivo (PECHE FILHO, 2005; GATIBONI, 2009).

Um tema usual em estudos nos últimos anos, a respeito do manejo do solo, tem sido o uso de culturas de cobertura em forma de adubação verde para gerar resíduos vegetais, que trazem inúmeros benefícios a qualidade do solo, estando entre os principais benefícios a proteção do solo contra intemperismo pluvial, menor amplitude térmica, maior retenção de umidade, diminuição da comunidade infestante de plantas daninhas e em alguns casos de doenças, ciclagem de nutrientes, melhoria das características físicas do solo e aumento da atividade microbológica (CECCON, 2008; CAVALCANTE et al., 2012).

Apesar de o uso de adubação verde ser muito benéfico, muitas vezes essa técnica não é empregada por motivos operacionais. Devido a isso, uma das práticas que se emprega hoje para implantação de plantas de cobertura no sistema é o consórcio, onde duas culturas crescem simultaneamente na mesma área em um período significativo de seu ciclo (WILLEY, 1979). Consiste em uma alternativa, onde uma planta de cobertura pode ser conduzida em conjunto com outra cultura de alto valor agregado, viabilizando a prática, tanto economicamente como devido ao fator temporal, como é o exemplo do consórcio de milho com braquiária. Esse consórcio, conforme trabalho realizado por Tsumanuma (2004) que utilizou diferentes espécies de braquiária consorciadas com o milho, pode não apresentar nenhuma forma de supressão ou

inibição da cultura do milho, que no caso, independente da espécie de braquiária, a produtividade do milho pode não ser afetada, e em adição, as plantas de braquiária proporcionaram vantagens no manejo da cultura do milho, especialmente em relação a supressão de plantas daninhas durante o ciclo da cultura do milho. Isso foi observado por Garcia et al. (2012), onde a braquiária não interferiu o desenvolvimento do milho.

Outros trabalhos mostram que o consórcio entre plantas forrageiras ou de cobertura com o milho, podem interferir no desenvolvimento e produção de grãos de milho. Brambilla et al. (2009) concluíram que independentemente de o milho ser consorciado com braquiária na linha ou entrelinha da semeadura, a produção foi inferior ao cultivo de milho solteiro, apresentando potencial máximo de produção de 4.100 kg ha^{-1} , valor este baixo para essa cultura, que solteira chegou a quase 6.000 kg ha^{-1} . Pereira et al. (2011), da mesma forma, obtiveram menor produtividade do milho quando este foi consorciado com crotalária.

Dessa forma, nem sempre o cultivo simultâneo é viável uma vez que as culturas devem ter ciclo semelhante, se desenvolver em condições parecidas, além de que os tratamentos culturais de uma espécie não podem interferir no desenvolvimento da outra, principalmente levando em conta o manejo de plantas daninhas que deve ser compatível entre as espécies (SEVERINO et al., 2006). Para Martins (1994), por exemplo, o cultivo de leguminosas em consórcio com o milho, com semeadura simultânea (leguminosas nas entrelinhas do milho), além de causar supressão positiva sobre as plantas daninhas, também provocou supressão sobre o milho, causando redução da massa seca e produção do mesmo, ao passo que se as leguminosas fossem semeadas após 21 dias a partir da emergência do milho, esse efeito negativo seria reduzido, porém, torna-se pouco aplicável fazer essa operação em grandes áreas já que a semeadura da leguminosa iria danificar as plantas de milho já em desenvolvimento.

Haja visto a dificuldade do cultivo simultâneo de certas espécies, muitas vezes torna-se inviável fazer o uso de plantas de cobertura no sistema agrícola do oeste paranaense, que quase inalteravelmente se constitui de uma safra de soja no verão e uma segunda safra de milho e em alguns casos trigo no inverno. Além disso, no caso da sucessão entre soja e milho normalmente há um período em que o solo fica em pousio após a colheita do milho até a semeadura da cultura da soja, devido ao período do vazio sanitário, o que deixa o solo exposto ao processo de intemperismo que pode ocasionar perdas de solo, água e nutrientes. Em trabalho realizado por Panachuki et al. (2011), observou-se que mesmo em solo sem incorporação de palhada, e com uma massa seca de cobertura aproximada de 2 t ha^{-1} , existem perdas significativas, ao passo que simulado chuvas de 60 mm sobre esse solo, na quinta chuva, ocorrem perdas de solo na grandeza de $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ t ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, isso em uma área com apenas 3% de

declividade, sendo que a partir da quinta chuva, como vai ocorrendo a remoção da palhada, as perdas nas próximas duas chuvas tendem a duplicar e triplicar, respectivamente, o que mostra que mesmo o solo contendo restos vegetais, quando muito tempo em pousio, pode apresentar perdas significativas.

Deste modo, uma possível alternativa seria o cultivo de coberturas no período compreendido entre a safra de milho e soja, ou entre soja e trigo, considerando que no primeiro caso, o período entre a colheita do milho e a semeadura da soja é curto, sendo necessário a escolha de uma espécie que se desenvolva rapidamente em pouco tempo.

2.2 PLANTAS DE COBERTURA

Uma vez que as plantas de cobertura se desenvolvam consideravelmente, a presença de restos vegetais sobre o solo promove ciclagem de nutrientes com a decomposição dessa cultura na entressafra, além de também constituir de eficiente barreira física para germinação e desenvolvimento de plantas de espécies daninhas e reduzir as perdas de solo (THEISEN; VIDAL, 1999; JAKELAITIS et al., 2004; NOCE et al., 2008).

Levando em consideração plantas com características interessantes para essa finalidade, a aveia-preta é uma das espécies de inverno mais cultivada na região sul. Essa cultura tem como principais atributos a facilidade na aquisição de sementes, alto rendimento de matéria seca, rapidez na formação de cobertura, o que suprime a comunidade infestante, rusticidade, decomposição lenta e melhoria das características químicas e físicas do solo, apesar de a alta relação C/N causar redução da disponibilidade de N da cultura sucessora, o que normalmente não é problema no caso da cultura da soja (SILVA et al., 2006). Muller et al. (2001) observaram ainda que em curto prazo, a cultura da aveia juntamente com o nabo forrageiro, são uma boa alternativa para proporcionar redução da compactação da camada subsuperficial do solo, apresentando bom vigor de raízes. Heinrichs et al. (2001), observaram ainda que a aveia apresenta potencial superior a diversas culturas de inverno na formação de matéria seca e com sua alta relação C/N apresenta grande longevidade da palhada, fato este corroborado por Doneda et al. (2012). Mesmo o acúmulo de nitrogênio não sendo elevado para essa cultura (HEINRICHS et al., 2001), a aveia-preta pode apresentar acúmulo de potássio e fósforo considerável, conforme obtido por Giacomini et al. (2003).

O nabo forrageiro por sua vez é muito utilizado na adubação verde de inverno, tendo como uma das maiores vantagens a rápida cobertura do solo, onde 60 dias após a germinação cerca de 70% do solo já está coberto, sendo que rápida velocidade de crescimento é

determinante na sua utilização como planta de cobertura na entressafra de inverno (CRUSCIOL et al., 2005). Além disso, outro fator que torna o nabo forrageiro uma alternativa tão interessante para a adubação verde, é a rápida degradação de sua palhada, junto com a liberação e ciclagem de K e principalmente N em grandes quantidades.

Isso se deve ao fato de que apesar do nabo não apresentar fixação biológica de nitrogênio (FBN), seu sistema radicular vigoroso capta os nutrientes em maior profundidade para disponibilizá-lo, além disso seu sistema radicular tende a promover descompactação do solo, quando semeado em grande densidade (LAZARO et al., 2013).

Doneda et al. (2012), entre várias culturas de inverno, incluindo a aveia-preta, obtiveram a maior formação de matéria seca com a cultura do nabo-forrageiro, apresentando 8300 kg ha⁻¹. Conforme os mesmos autores, a capacidade dessa cultura de absorver nitrogênio somada a sua alta formação de matéria seca, faz com que essa cultura tenha maior potencial até mesmo que algumas leguminosas no acúmulo de nitrogênio. Este potencial de acúmulo também é observado por Heinz et al. (2011) para P e K, onde a cultura do nabo acumulou mais de 20 kg ha⁻¹ de P e valores próximo a 250 kg ha⁻¹ de K, mesmo em apenas 5.586 kg ha⁻¹ de matéria seca. Viola et al. (2013), também observaram maior acúmulo de P e K para cultura do nabo forrageiro em comparação com diversas culturas de inverno, mesmo neste caso, o nabo forrageiro não tendo sido a cultura com maior acúmulo de matéria seca.

Leguminosas como tremoço-branco e ervilhaca-peluda, são espécies com relação C/N menor, se decompondo mais rapidamente no solo. Não obstante, são utilizadas como adubação verde com objetivo de disponibilizar nitrogênio para cultura sucessora, a partir da decomposição do tecido vegetal (HEINRICHS et al., 2001; RODRIGUES et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2005). Silva et al. (2006) observaram que a cultura do milho cultivada sem e com a aplicação de nitrogênio, tem rendimento de grãos maior quando cultivadas em sucessão de cultivo de leguminosas, uma vez que estas tendem a apresentar boa disponibilização de nitrogênio para cultura sucessora, entretanto, com base nos resultados deste mesmo trabalho, é evidente que a adubação verde não supre toda a demanda desse nutriente nas plantas de milho.

A liberação elevada de N se deve ao fato das leguminosas contarem com a associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, dessa maneira, apresentando elevada concentração do nutriente no tecido vegetal. Esse é o motivo de que para Doneda et al. (2012), mesmo a ervilhaca não sendo a cultura com maior formação de matéria seca, esteve entre as culturas com maior acúmulo de N. O mesmo foi observado para Viola et al. (2013), onde a ervilhaca forrageira e o tremoço foram as culturas que proporcionaram maior acúmulo de N, com valores superiores a 200 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente. Além disso, segundo os mesmos

autores, essas leguminosas também apresentaram potencial elevado de acúmulo de K, acima de 200 kg ha⁻¹ para ervilhaca e próximo a 250 kg ha⁻¹ para o tremoço, sendo este segundo, com uma quantidade semelhante ao nabo forrageiro, que é uma das culturas que tem maior potencial em acúmulo de K (GIACOMINI et al., 2003).

Sorgo e milheto forrageiro são plantas que apresentam como característica principal o rápido crescimento e formação de grande quantidade de fitomassa no verão, gerando cobertura vegetal de grande persistência sobre o solo que inibe a germinação de plantas daninhas (TREZZI; VIDAL, 2004). Além disso, o milheto se destaca na ciclagem de N e K, atingindo acúmulo de até 205 e 215 kg ha⁻¹, respectivamente (SORATTO et al., 2012). Entretanto, para Calonego et al. (2005), a concentração de K na matéria seca de sorgo e milheto foi inferior a 20 g kg⁻¹, dessa forma, para que essas culturas atinjam esse potencial elevado de ciclagem de potássio é necessário que encontrem condições para produzir elevada quantidade de matéria seca.

O milho, em comparação às culturas supracitadas, apesar da importância econômica, não proporciona todas as vantagens referentes as plantas de cobertura no quesito proteção e manejo sustentável do solo. Mesmo esta produzindo maior quantidade de matéria seca que as plantas de cobertura, não proporciona acúmulo e liberação de nutrientes, em especial N, P e K, na mesma grandeza que as coberturas (VIOLA et al., 2013). Calonego et al. (2012) observaram que a cultura do milho apresentou baixa liberação desses elementos em comparação a culturas como braquiária e lab-lab. Em solo em pousio, mesmo havendo a presença de plantas espontâneas, além da palhada de milho, este é superado pelo uso de plantas de cobertura na ciclagem de nutrientes e na cobertura do solo (PACHECO et al., 2013; MASSAD et al., 2014).

2.3 DINÂMICA DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO DAS PLANTAS DE COBERTURA

O nitrogênio é o único elemento que as plantas são capazes crescer no solo sem extrair do mesmo, sendo que isso é possível através da associação de leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium* (AITA et al., 2001). Normalmente, leguminosas apresentam em seu conteúdo vegetal maiores teores de nitrogênio e consequentemente uma menor relação C/N, sendo que essa relação é muito importante para que esse elemento seja mineralizado e torne-se disponível no solo, de forma que o valor máximo no qual ocorre mineralização de N é de aproximadamente 25, uma vez que acima desse valor ocorre imobilização do elemento (ACOSTA et al., 2014).

De todo nitrogênio presente no solo, aproximadamente 97 a 98% está na fração orgânica, apresentando-se nas formas nítrica e amoniacal, prontamente disponíveis. Mesmo sendo pequena a quantidade de N nestas formas em relação a quantidade total, estas têm grande importância nutricional já que são facilmente absorvidas por plantas e microrganismos. Essas formas de nitrogênio, entretanto, dependem dos processos de amonificação e nitrificação que transforma em média de 2 a 5% de N orgânico por ano, variando com condições de clima e manejo do solo (D'ANDRÉA et al., 2004). Dessa forma, é evidente a grande importância da matéria orgânica na dinâmica desse elemento, principalmente se considerar o uso de leguminosas.

O fósforo é um elemento com dinâmica diferenciada no solo, sendo um elemento com pouca mobilidade, e que pode passar rapidamente da forma lábil, para forma não-lábil, sendo esta última, a forma predominante de P no solo (BARRETO; FERNANDES, 2002). Devido à alta afinidade desse elemento com as partículas do solo, é importante a recuperação desse elemento e disponibilização do mesmo na solução do solo pela ciclagem proporcionada na decomposição da matéria orgânica das plantas. Além disso, a extração desse elemento realizada pelas plantas favorece a sua liberação e até mesmo a dissolução de fosfatos naturais (SILVA et al., 2011).

Nas plantas, o fósforo encontra-se normalmente no vacúolo da célula na forma mineral constituído principalmente por Pi e monoésteres, sendo bastante solúvel em água. O restante do P não solúvel em água é constituinte de ácidos nucleicos, fosfolipídios e fosfoproteínas, sendo que essas moléculas dependem principalmente da população microbiana produtora de fosfatases alcalinas para mineralização (CASALI et al. 2012).

No solo, dependendo da espécie, as plantas podem exibir diferentes mecanismos para a absorção de fósforo em formas não lábeis, fazendo com que esse elemento volte a se tornar acessível. Entre os mecanismos pode-se citar modificações nas raízes como o aumento no número e forma de pelos radiculares, exsudação radicular de fosfatases ácidas ou compostos orgânicos que possam complexar metais associados aos fosfatos, a associações com micorrizas que além de aumentar a superfície radicular ainda pode promover liberação de fosfatase e podendo ocorrer a associação ou o estímulo de microrganismos capazes de promover a quebra de compostos orgânicos e liberação de ânion fosfato (COSTA; LOVATO, 2004; JANEGITZ et al., 2013).

Mesmo a adubação de fósforo sendo feita em grandes quantidades, muitas vezes a absorção não é tão elevada assim como a concentração no tecido vegetal, não havendo grande

disponibilização desse elemento através da matéria orgânica como ocorre com elementos como nitrogênio e potássio.

Já o potássio por sua vez, diferentemente dos outros macronutrientes como o nitrogênio e fósforo, não faz parte de nenhuma estrutura celular das plantas e apresenta-se normalmente na forma iônica (PACHECO et al., 2011a). Por esse motivo, esse elemento é facilmente solubilizado na matéria seca em decomposição após o rompimento da membrana plasmática ocorrido após a morte do tecido vegetal, não necessitando de mineralização para transferir esse elemento para o solo (TEIXEIRA et al., 2012).

Em relação ao contato do potássio com as raízes, para ocorrer a absorção desse elemento presente no solo, este ocorre predominantemente a partir da difusão e em menor parte através de fluxo de massa. A medida que as raízes crescem e se desenvolvem ocorre um aumento da superfície de contato entre a raiz e o íon K^+ promovendo maior absorção desse elemento (ROSOLEM et al., 2003; TORRES; PEREIRA, 2008).

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A utilização de SPD e plantas de cobertura, entre tantas vantagens, também tende a modificar as propriedades físicas do solo e principalmente aumentar os teores de matéria orgânica no solo.

Em trabalho realizado por Campos et al. (2013), observou-se que cultivo de plantas anuais em SPD tem potencial muito grande para aumentar o estoque de carbono orgânico do solo, além de ter balanço positivo no sequestro de CO_2 atmosférico, ou seja, a atividade agrícola nestes casos, fixa mais carbono do que é liberado para atmosfera. Além disso, segundo os mesmos autores e assim como ressaltado por Salton et al. (2011), o SPD, dentro de sistemas integrados, onde existe o emprego de forrageiras (plantas de cobertura), tende a ocorrer aumento do estoque de carbono orgânico em camadas mais profundas, principalmente pela maior fitomassa de raízes formadas com uso de espécies de cobertura, especialmente gramíneas.

Quanto às propriedades físicas do solo, grande parte dos trabalhos mostram que são necessários mais que apenas um ano agrícola para se observar resultados de grande significância. Entretanto, como observado por Cardoso et al. (2013), em apenas um ciclo, algumas culturas podem reduzir a resistência a penetração do solo em camadas mais profundas, levando-as a níveis de resistência não restritivos a plantas com sistemas radiculares pouco vigorosos. Em longo prazo, as plantas de cobertura tendem a aumentar a macro e micro porosidade do solo, reduzindo a densidade do mesmo. Além disso, a presença de grande

fitomassa de raízes promove a prevenção da compactação do solo, por promover a proteção superficial do solo e reduzir o adensamento entre as partículas. (FERREIRA et al., 2012; YANG et al., 2012).

Trabalho realizado por Cunha et al. (2011), mostra que a variação a curto prazo dessas características é pouco significativa, contudo, a utilização de plantas de cobertura tem potencial de aumentar a matéria orgânica no solo e esta tem uma correlação positiva elevada com a melhoria das características físicas do solo, sendo que a matéria orgânica se torna um indicador de qualidade física do solo. Bertol et al. (2004) observaram que um esquema de rotação de culturas em sistema de plantio direto, com utilização de nabo, aveia e ervilhaca, dentro de uma sucessão de soja e milho, embora tenha aumentado os teores de carbono orgânico do solo, mesmo após três anos, as propriedades físicas do solo não foram alteradas. A matéria orgânica normalmente tende a diminuir a densidade do solo, além disso a presença de palhada sobre o solo, tendo a promover uma proteção do solo contra a compactação (BRAIDA et al., 2006).

Em relação as diferentes espécies de coberturas, algumas em especial tem certo potencial em melhorar os atributos físicos do solo. Nicoloso et al. (2008), obtiveram em seu trabalho efeito de escarificação biológica com uso do consórcio de nabo forrageiro com aveia preta, de forma que a utilização desse consórcio em sistema de plantio direto proporcionou porosidade em profundidade semelhante ao observado pela escarificação mecânica. Alves et al. (2007) observaram que o nabo forrageiro e feijão de porco foram eficientes na redução da densidade do solo em apenas um ciclo de cultivo.

No caso de gramíneas como o sorgo e milheto, Pires et al. (2008) tiveram resultados satisfatórios com seu uso, onde o solo cultivado com milheto, apresentou menor resistência do solo à penetração, menor densidade e maior macroporosidade, além de causar grande supressão das plantas daninhas durante o período de entressafra e durante o cultivo da soja.

É evidente que existem muitas características diferenciais entre as espécies de cobertura citadas e aquelas espécies de alto valor comercial cultivadas no sistema convencional, como soja, milho e trigo, sendo que essas plantas de cobertura podem ser uma boa alternativa na melhoria da conservação do solo e manutenção nutricional do mesmo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO

O experimento foi conduzido em área localizada no município de Palotina-PR, nas coordenadas 24°13'35.59''S; 53°49'18.64''O, sendo que o clima nesta região é classificado por Köppen como subtropical (Cfa) e com precipitação média anual estimada de 1508 mm e sem estação seca definida. Esta área apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e foi cultivada nos últimos 10 anos apenas com sucessão soja de primeira safra e milho de segunda safra em sistema de plantio direto.

A análise de solo no início da implantação do experimento gerou valores apresentados na Tabela 1. Sendo que a análise granulométrica apresentou 62% argila, 20% silte e 18% areia.

Tabela 1 - Análise de solo realizada na área do experimento no início das atividades. Profundidade 0-20 cm.

Solo	MOS	pH H ₂ O	pH CaCl	P (Mehlich)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CTC	V
	g dm ⁻³			mg.dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					%
LVef	32,68	5,70	5,10	68,20	0,8	5,47	1,92	0,00	13,18	62,37

A área contou com irrigação por aspersão com uso de carretel móvel, onde foram feitas apenas duas irrigações na área durante o desenvolvimento das plantas de cobertura, sendo que a primeira irrigação foi feita logo após a semeadura e a segunda cerca de 25 dias após a semeadura, em um período de estiagem. A quantidade de água aplicada em cada uma das irrigações foi de 15 mm.

A Figura 1 apresenta a precipitação pluviométrica acumulada, e as temperaturas máximas e mínimas. Pode-se observar que em geral as temperaturas mínimas registradas foram próximas ou superiores a 7°C. Dessa forma, não houve temperaturas extremas capazes de causar uma geada tardia que pudesse interferir no desenvolvimento inicial das plantas de cobertura. Quanto a precipitação, observa-se que no primeiro e terceiro decêndio de julho, praticamente não houveram chuvas, o que justificou as operações de irrigação citadas anteriormente.

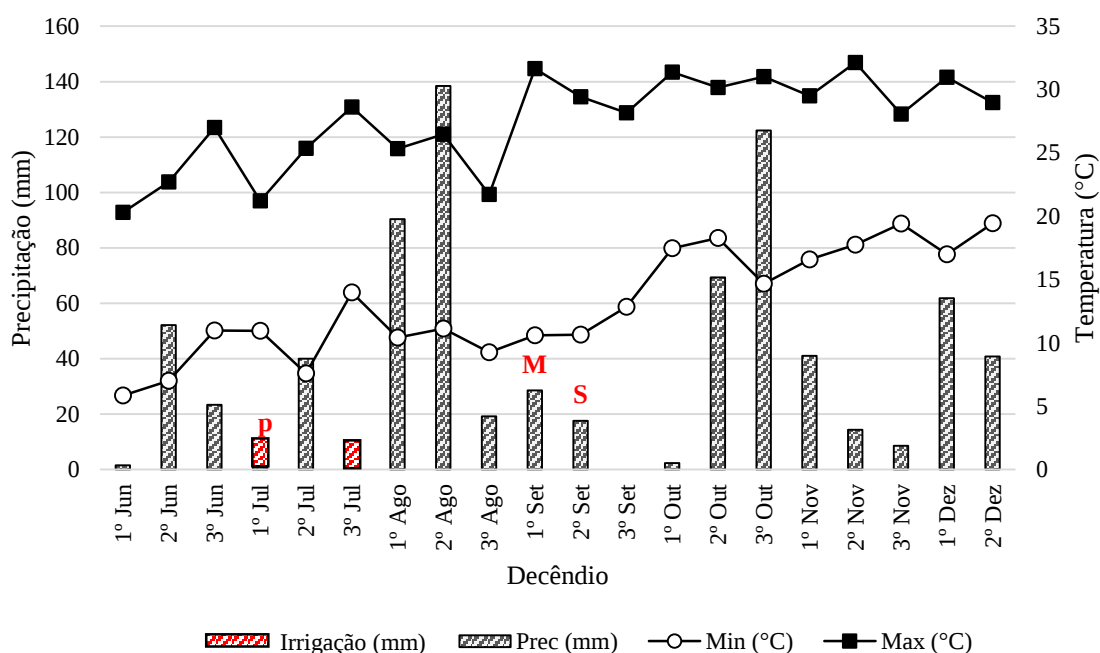


Figura 1 - Precipitação acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas (°C) nos decêndios dos meses de vigência do experimento, no município de Palotina, PR. Fonte: SIMEPAR, 2016. P – semeadura plantas de cobertura; M – manejo das plantas de cobertura; S – semeadura da soja

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram formados por plantas de cobertura com diferentes características, hábitos de crescimento e ciclos, sendo estas: aveia preta (AV), nabo forrageiro (NA), ervilhaca peluda (ER), sorgo forrageiro (SO) e tremoço branco (TR). Estas culturas foram semeadas de forma solteira e nos seguintes consórcios: nabo+aveia (NAAV); nabo+sorgo (NASO); ervilhaca+aveia (ERAV); ervilhaca+sorgo (ERSO); tremoço+aveia (TRAV); tremoço+sorgo (TRSO) e tremoço+ervilhaca (TRER). Também se utilizou o solo em pousio apenas com palhada remanescente da cultura do milho como tratamento (testemunha - TE).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados contendo 13 tratamentos, sendo 5 espécies de plantas de cobertura semeadas solteiras e em consórcio e o pousio (testemunha) alocadas em 4 repetições. Cada parcela foi constituída de 9 linhas espaçadas em 0,17 m e com 5 metros de comprimento, totalizando uma área de parcela de 7,65 m², respeitado um espaço de 1 m entre o final de cada parcela e o início da próxima, para evitar o transporte de restos culturais de uma parcela para outra durante a semeadura mecânica da cultura sucessora (soja).

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Para todas as espécies cultivadas foi padronizado um espaçamento de 0,17 m (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012; NUNES et al., 2011), sendo que os sulcos de semeadura foram feitos com uso de semeadora de fluxo contínuo para sistema de plantio direto, não havendo aplicação de nenhum fertilizante na linha de semeadura. A distribuição das sementes propriamente dita foi feita manualmente sobre as linhas abertas pela semeadora mecânica, uma vez que a quantidade de sementes é extremamente variada, impossibilitando a semeadura mecânica, sendo que a profundidade da deposição das sementes variou entre 1 e 2,5 cm conforme a espécie.

A quantidade de sementes foi de 30 kg ha⁻¹ para a ervilhaca peluda, 60 kg ha⁻¹ para a aveia preta, e 15 kg ha⁻¹ de nabo forrageiro. (BENASSI; ABRAHÃO, 1991; SANTOS et al., 2007; CERETTA, et al. 2005; MOREIRA et al., 2007). Para o sorgo foram utilizados 15 kg ha⁻¹ de sementes (RIBAS, 2008). Para a cultura do tremoço a semeadura foi realizada com 80 kg ha⁻¹ (VIOLA et al., 2013). Quando em consórcio a quantidade de sementes de cada espécie foi respectivamente: nabo+aveia 10 e 30 kg ha⁻¹, nabo+sorgo 10 e 10 kg ha⁻¹, ervilhaca+aveia 40 e 30 kg ha⁻¹, ervilhaca+sorgo 40 e 10 kg ha⁻¹, tremoço+aveia 40 e 30 kg ha⁻¹, tremoço+sorgo 40 e 10 kg ha⁻¹ e tremoço+ervilhaca 40 e 40 kg ha⁻¹ (HEINRICHS et al., 2001; LÁZARO et al., 2013). Nota-se que a quantidade de sementes para ervilhaca em consórcio aumenta em relação da quantidade de sementes quando solteira. Isso se fez necessário devido as características da espécie (sementes muito pequenas, germinação e crescimento inicial lento) (NUNES et al., 2011), essa cultura tende a sofrer uma forte supressão daquela cultura com que for consorciada, dessa forma, o emprego de maior quantidade de sementes foi utilizado para garantir que houvesse bom estabelecimento dessa cultura quando em consórcio (GIACOMINI et al., 2003).

O manejo de pragas e doenças foi realizado conforme a necessidade das diferentes culturas no decorrer do seu desenvolvimento. Foi necessário o controle de lagartas do gênero *Spodoptera* sp. na cultura do nabo forrageiro, aos 45 dias de desenvolvimento, de forma que utilizou-se 150 mL ha⁻¹ do produto comercial a base de Teflubenzuron (150 g L⁻¹) com um volume de calda de 200 mL ha⁻¹ (TOMQUELSKI; MARTINS, 2007). Já para plantas daninhas em pós emergência não foi realizado controle.

A semeadura da cultura da soja cultivar M6210 IPRO foi realizada no dia 17 de setembro de 2016. Foram semeadas 4 linhas de soja em cada parcela, com uso de semeadora de fluxo contínuo com disco de corte para semeadura sobre a palhada e com adubação de base de

400 kg ha⁻¹ do formulado 2-20-18. Os tratos culturais foram feitos conforme as recomendações para cultura da soja.

3.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

3.4.1 Porcentagem de área coberta

Durante o desenvolvimento das plantas de cobertura, foi feita avaliação da porcentagem de área coberta com as culturas. Essa avaliação foi realizada com a utilização do aplicativo de smartphone CANOPEO (PATRIGNANI; OCHSNER, 2015), que é um aplicativo que mede a reflexão da cor verde a partir das folhas fotografadas com a câmera do smartphone, gerando instantaneamente a porcentagem de cobertura, ou seja, de plantas presentes na área fotografada. A altura da fotografia foi padronizada a 1,2 m, e o ajuste de sensibilidade no aplicativo foi 0,95, que proporciona a captação do verde sombreado evitando subestimar os valores principalmente onde as plantas estavam mais desenvolvidas. Essa avaliação foi feita de 13 em 13 dias e em dois pontos de cada parcela a partir da data da semeadura, dessa forma, foram feitas avaliações aos 13, 26, 39, 52 e 65 dias após a semeadura (DAS).

3.4.2 Incidência de Plantas daninhas

Aos 50 dias após a semeadura das coberturas, foi feito um levantamento fitossociológico das plantas daninhas. Para tal levantamento, utilizou-se um quadro de amostragem de 0,5 m x 0,5 m, sendo que este foi lançado ao acaso em dois pontos por parcela, para identificação e contagem das plantas daninhas (KUVA et al., 2007). Vale ressaltar, que o milho tiguera também foi considerado como planta invasora. O objetivo deste parâmetro foi avaliar a capacidade das plantas de cobertura em suprimir a comunidade infestante.

3.4.3 Determinação da matéria seca e decomposição

Após 65 dias a partir da semeadura (DAS) das plantas (tempo médio da entressafra), foi feita a avaliação da quantidade de matéria seca e teor de nutrientes N, P e K, sendo realizadas amostragens em área de 0,25 m² com uso de um quadro de 0,5 m x 0,5 m proposto por Crusciol et al. (2005), onde as plantas dentro do quadro foram cortadas rente ao solo e colocadas em sacos de papel (PACHECO et al., 2008), esse corte foi feito com roçadeira manual com lâmina,

evitando na medida do possível, a fragmentação das plantas, o que dificulta a coleta e acelera o processo de decomposição.

O material coletado foi lavado rapidamente com água corrente e após água destilada e posto para secar a 70°C em estufa de circulação forçada de ar, por cerca de 72 horas até atingir massa constante (PACHECO et al., 2011a). Após a secagem, o material vegetal foi pesado e posteriormente moído e colocado em sacos de papel que foram colocados em sacos plásticos lacrados, até que fossem feitas as determinações dos macronutrientes.

As plantas de cobertura restantes que não foram coletadas, também foram cortadas aos 65 DAS, na base com uso de roçadeira manual, sendo que com eventuais rebrotes, ocorrido principalmente com a ervilhaca, foi feito o manejo químico da cultura com uso de Glyphosate a 2,5 L ha⁻¹ e com volume de calda de 200 L ha⁻¹ (KRENCHINSKI et al., 2013). A partir do manejo das coberturas, a massa vegetal da parte aérea das plantas foi coletada da mesma forma que a amostragem inicial, com uso de quadro de 0,5 x 0,5 m em 20, 40, 60, 80 dias após o manejo (DAM), para avaliação da massa seca e teores de nutrientes remanescentes (COSTA et al., 2015), assim como estimar a taxa de decomposição e liberação dos nutrientes. Para essas coletas, tomou-se um cuidado especial principalmente com as partículas de solo aderidas ao material vegetal que seria coletado. Dessa forma, no momento da amostragem, não foram coletadas partes que estavam cobertas por partículas de solo e muito aderidas a este. Para avaliação da matéria seca, utilizou-se o mesmo cronograma da primeira coleta feita no dia do manejo, sendo feita secagem do material, pesagem para determinação da matéria seca, moagem do material, e o armazenamento do material dentro de sacos plásticos, para evitar decomposição e perda de nutrientes.

Para a moagem das amostras, foi utilizado moinho de facas tipo Willey, com peneira de 1 mm, para determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no tecido vegetal, sendo que estes procedimentos foram repetidos em todas as coletas após o manejo das plantas de coberturas.

3.4.4 Determinação do acúmulo e liberação dos nutrientes

A determinação do teor de N foi feita pelo método de Kjeldahl. Para tal, foram utilizados aproximadamente 0,1000 g das amostras de planta de cobertura. A partir dessa amostra foi feita digestão em ácido sulfúrico em bloco aquecedor. Após a digestão da matéria orgânica das amostras, estas foram destiladas com adição de indicador e NaOH a 10 M, em que posteriormente as amostras foram tituladas com uso de HCl (SILVA, 2009).

Apenas para o material coletado aos 0 DAM, ou seja, no dia do corte das plantas, foi feita a determinação de carbono orgânico do tecido vegetal, para se estabelecer a relação C/N de cada uma das culturas avaliadas. Para tal, foram utilizados 0,1000 g de cada amostra a partir da qual realizou-se a determinação pelo método de Yeomans e Bremner (1988), onde a MOS é oxidada com uma mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico concentrado, sendo o excesso de dicromato titulado com sulfato ferroso.

Para avaliação dos teores de fósforo (P) e potássio (K), foi utilizada a digestão a seco do material vegetal em cadinhos de porcelana. Para tal, foram utilizados 0,5000 g da matéria seca moída. As amostras foram colocadas então em cadinhos de porcelana, identificados e colocados em mufla a 505°C durante 3 horas (MELO; SILVA, 2008). Após queima na mufla, as amostras foram diluídas em 25 mL de ácido nítrico 1 mol L⁻¹ e colocadas em tubos para posterior leitura dos nutrientes (SILVA, 2009).

No caso do potássio (K), a determinação foi realizada com uso de fotometria de chama (CERETTA et al., 2005). O aparelho foi calibrado com solução padronizada de potássio a 40 mg L⁻¹. Para o fósforo (P), utilizou-se espectrometria (CARMO et al. 2000), dessa forma primeiramente foram preparadas soluções padronizadas de fósforo em diferentes concentrações crescentes para fazer a leitura e gerar a curva de calibração do aparelho. Das amostras digeridas no ácido nítrico, utilizou-se uma alíquota de 5 ml para determinação de P na espectrofotometria (SILVA, 2009).

Também foi realizada análise da folha diagnose da cultura sucessora (soja), para se quantificar os teores de nitrogênio, fósforo e potássio, sendo feita coleta da 3ª ou 4ª folha desenvolvida a partir da ponta do ramo, e num total de 30 folhas por parcela.

Essas análises supracitadas foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), setor Palotina.

3.4.5 Análises Físicas do solo

Para cada tratamento, foram avaliadas a densidade, macro e microporosidade e a resistência à penetração do solo, sendo que essas variáveis foram avaliadas imediatamente após a colheita da cultura da soja.

Na avaliação de densidade e porosidade, coletou-se amostras indeformadas de solo com uso de anéis volumétricos identificados com massa e volume conhecidos, sendo feitas coletas na porção de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m, em dois pontos por parcela. Para coleta na camada superficial foi feita a retirada de restos vegetais e uma pequena porção do solo contendo

grande quantidade de matéria orgânica em decomposição, já para camada subsuperficial, foi aberta uma mini trincheira. As amostras indeformadas coletadas passaram por limpeza no local com uso de faca, e foi utilizada folha de alumínio para envolver as amostras e evitar o desprendimento de partículas da amostra. Estas passaram por saturação, mesa de tensão e secagem e estufa para determinação da porosidade total (PT), macroporosidade (MA) e microporosidade (MI) (CLAESSEN et al., 1997).

Para a resistência à penetração utilizou-se penetrógrafo digital da marca Falker, modelo PenetroLOG, de forma que as medições foram feitas até a profundidade de 0,40 m. Simultaneamente às medições, foi feita coleta do solo em diferentes profundidades para determinação da umidade (GIACOMELI, et al., 2016).

3.4.6 Cultura da soja

Para análise foliar da soja, foi coletada a terceira folha com pecíolo a partir do ápice das plantas, que estavam no estágio R2. Essas folhas seguiram os mesmos procedimentos para determinação de nutrientes utilizado para as plantas de cobertura (SILVA, 2009).

Após maturação fisiológica e dessecação da soja, em cada parcela foi feita colheita de plantas das duas linhas centrais e em um comprimento de três metros, desprezando as linhas da bordadura e um metro no início e no final de cada linha coletada. Após a trilhagem dos grãos, estes foram pesados para determinação da produtividade e massa de 1000 grãos. Os valores obtidos foram corrigidos para a umidade de 13%, sendo que para tal, utilizou-se determinação da umidade através do método de estufa, conforme Brasil (2009).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância com uso do software Sisvar (FERREIRA, 2011) realizando-se análise de regressão para a avaliação da porcentagem de área coberta, decomposição da matéria seca e liberação de P e K. Para a decomposição e liberação de nutrientes, os dados foram ajustados ao modelo exponencial descrito por Wiedner e Lang (1982), $PL = P_o \exp(-kt)$, em que: PL é a quantidade de nutrientes ou matéria seca existentes no tempo t (dias); P_o é a fração de nutrientes ou matéria seca potencialmente liberados (kg ha^{-1}); e k é a taxa de liberação de nutrientes (g g^{-1}). Com o valor de k, calculou-se o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$ vida) da matéria seca e dos nutrientes, com uso da fórmula proposta por Paul & Clark (1989): $T_{1/2} \text{ vida} = 0,693/k$, sendo esta metodologia utilizada em alguns trabalhos

(PACHECO et al., 2013; BOER et al., 2007). Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% (SCOTT; KNOTT, 1974) foi utilizado para acúmulo de N, propriedades físicas do solo e variáveis relacionadas a cultura da soja.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PORCENTAGEM DE ÁREA COBERTA E INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS

A cultura do nabo forrageiro foi a que apresentou maior destaque em cultivo solteiro, proporcionando uma porcentagem de cobertura de solo muito maior em curto espaço de tempo. Aos 26 dias após a semeadura (DAS), essa cultura já tinha uma porcentagem de cobertura do solo de mais de 80%, atingindo seu potencial máximo em aproximadamente 45 dias após a semeadura, chegando a porcentagem de cobertura muito próxima a 100%. Inclusive, pode-se observar na Figura 2 que os consórcios que continham a cultura do nabo forrageiro se comportaram de forma idêntica, sendo que NA, NAAV e NASO, em todos os dias avaliados, foram tratamentos que apresentaram maiores porcentagens de área coberta. É evidente que o ciclo mais curto dessa cultura e o espaçamento reduzido utilizado nesse trabalho favoreceram para que essa cultura se sobressaísse nesse parâmetro, da mesma forma que o ocorrido para Ziech et al. (2015) onde o nabo forrageiro foi superior às demais culturas solteiras. A redução da porcentagem de cobertura aos 65 dias apresentada na curva da cultura do nabo e consórcios com este, onde inclusive passou a ser superado por tratamentos e contendo aveia e ervilhaca, se deve ao início da senescência das folhas mais velhas, reduzindo assim a cobertura verde do solo, que é aquela captada no momento da medição.

A cultura da aveia preta solteira teve comportamento semelhante a ervilhaca, apesar de ter sido um pouco mais eficiente na velocidade de formação de cobertura nos primeiros dias, em que até os 52 dias a aveia foi superior a ervilhaca mantendo porcentagem cerca de 10% acima. Isso se deve ao desenvolvimento inicial lento da cultura da ervilhaca (NUNES et al., 2011) que, entretanto, na última avaliação feita aos 65 dias, já apresentava porcentagem de cobertura praticamente idêntica à cultura da aveia, com aproximadamente 95%. Da mesma forma que o ocorrido para o nabo, tratamentos contendo a cultura da aveia com exceção de NAAV, onde o nabo se sobressaiu, observa-se que o comportamento foi bastante semelhante com curvas que se sobrepuseram na maioria dos dias avaliados.

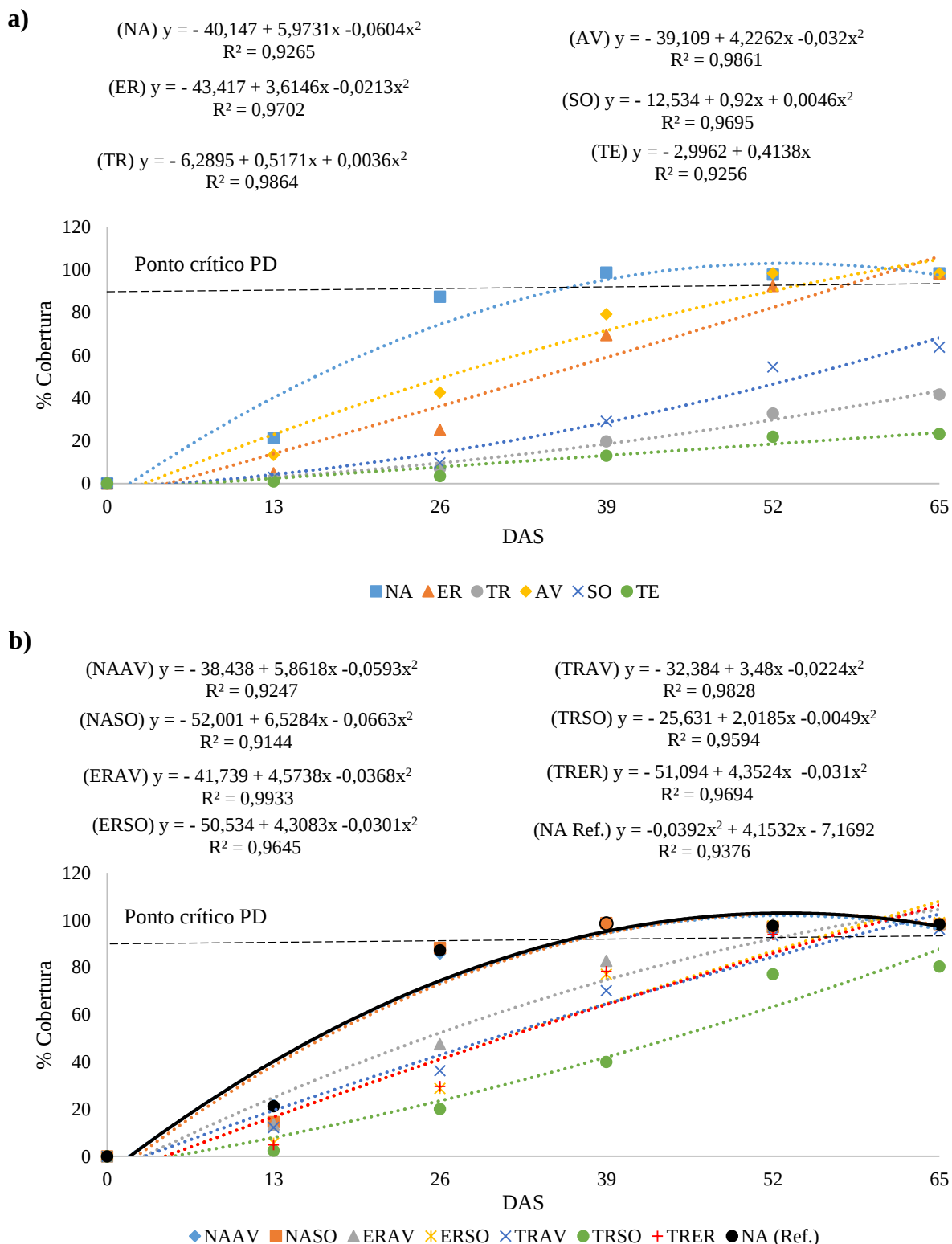


Figura 2 - Porcentagem de área de solo coberta pelas culturas solteiras (a) e pelos consórcios (b) no município de Palotina, PR em 2016. DAS, dias após a semeadura; NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha NA (Ref), nabo forrageiro como referência das culturas solteiras.

Quanto a cultura do sorgo e principalmente do tremoço, estas foram as que apresentaram comportamento inferior para a porcentagem de cobertura, atingindo aos 65 dias apenas cerca de 60% para o sorgo e 40% para o tremoço. Para o sorgo, o principal causador do seu desenvolvimento reduzido e pouca formação de cobertura foi o clima, de forma que apesar dessa ser uma cultura com boa tolerância ao estresse hídrico, recorrente nesse período, trata-se de uma cultura mais adaptada para período de primavera e verão, com dias mais longos e temperaturas mais elevadas (ALBUQUERQUE; MENDES, 2011), o que não foi o caso das condições ocorridas nesse experimento, considerando as condições registradas na época de cultivo.

Já para o tremoço, o que proporcionou baixa porcentagem de cobertura foi o reduzido estande de plantas, devido principalmente a baixa qualidade das sementes de tremoço, uma vez que se encontrou grande dificuldade na aquisição de sementes certificadas dessa espécie, diferentemente das outras culturas. Dessa forma com baixa população de plantas a porcentagem de cobertura formada foi relativamente baixa.

Moraes et al. (2009) observou que até 90 dias após a emergência das culturas de cobertura, as gramíneas foram mais eficientes na cobertura do solo, sendo que em período mais prolongado o nabo forrageiro foi mais eficiente nessa cobertura, chegando a valores muito próximos à 100%. Em 45 dias de desenvolvimento o mesmo foi observado por outros autores, que em cultivo de verão, culturas como milho e braquiária, proporcionam maior cobertura (FINHOLDT et al., 2009), o que não foi observado nesse trabalho onde o nabo foi superior a curto prazo e a aveia tende a ser superior a longo prazo.

Paralelo ao uso de coberturas na entressafra, Pires et al. (2008) observaram que em solo em pousio, uma alta densidade de plantas daninhas pode ser eficiente na cobertura do solo, entretanto, além dessa cobertura não ser tão elevada e homogênea como das plantas de cobertura, pode ocorrer dificuldade no controle químico e aumento de incidência durante o ciclo da cultura de grãos, tendo, portanto, um efeito negativo na lucratividade.

O consórcio ERAV, proporcionou velocidade de cobertura mediana em relação aos consórcios com nabo, mas atingiu cobertura superior a estes aos 65 dias, que foi próximo a 100%. Entretanto, ervilhaca consorciada com sorgo ou tremoço (ERSO e TRER) e aveia consorciada com tremoço (TRAV) tiveram o efeito negativo dessas culturas que tem desenvolvimento inicial lento e formam pouca cobertura, ficando abaixo do tratamento ERAV em todos os dias avaliados. Isso foi ainda mais evidente no consórcio TRSO, que entre todos os consórcios foi o que apresentou menor velocidade de formação de cobertura e atingiu a menor porcentagem de cobertura na avaliação final, sendo superior apenas à cobertura formada

por TR e SO quando cultivadas de forma solteira. Contudo, com base nas equações geradas, com exceção da cultura do nabo forrageiro e alguns consórcios com essa cultura, a tendência é que a porcentagem de área coberta ainda aumente, principalmente para esses tratamentos que apresentavam culturas com desenvolvimento inicial mais lento.

Além da porcentagem de área coberta, pode-se observar na Figura 2 o ponto crítico PD. Este foi estabelecido com base no trabalho de Borges et al. (2014), de forma que conforme resultados obtidos pelos autores, a porcentagem de área coberta acima de 90% promove supressão de plantas daninhas estatisticamente igual à uma cobertura de 100%, dessa forma esse valor de 90% foi tomado como referência.

A incidência de plantas daninhas é um fator muito importante considerando a viabilidade financeira do investimento no cultivo de plantas de cobertura na entressafra, uma vez as culturas sendo eficientes em suprimir as plantas daninhas, pode-se reduzir ou eliminar a necessidade de controle químico nesse período, além de reduzir o banco de sementes que poderiam ocasionar problemas futuros.

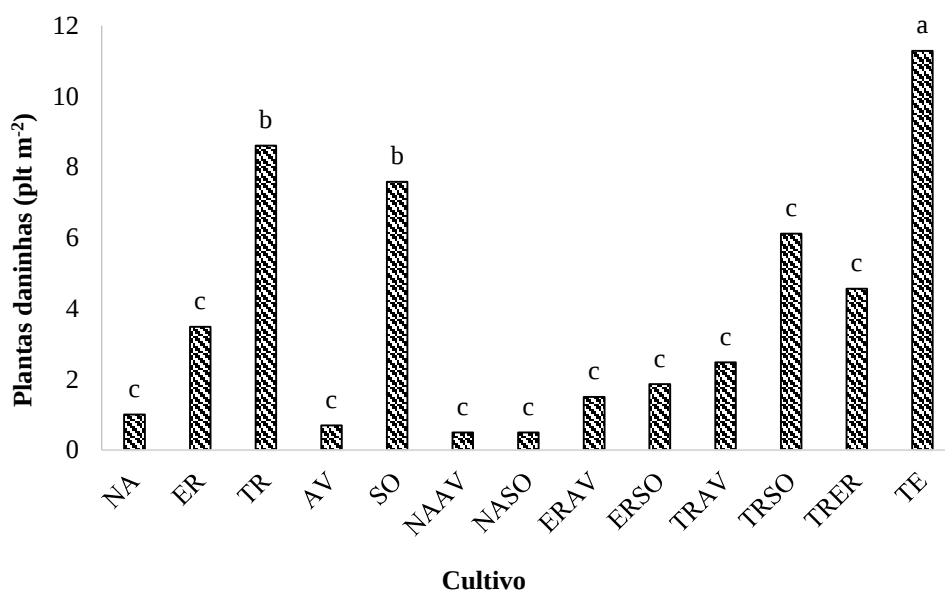


Figura 3 - Gráfico da incidência de plantas daninhas sobre as diferentes culturas em 1 m² e médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott 5%. NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha

A área em pousio apresentou incidência de plantas daninhas mais elevada, sendo que as únicas culturas que não proporcionaram um alto nível de controle foram o tremoço e o sorgo, uma vez que suas médias foram inferiores apenas à área em pousio. Além disso, Pires et al. (2008) observaram que apesar da área de pousio com alta densidade de plantas daninhas apresentar elevada produção de fitomassa, esta normalmente é inferior ao produzido por plantas de cobertura, além de que, a presença de várias espécies invasoras proporciona aumento do banco de sementes e problemas no controle das mesmas posteriormente.

Em outros trabalhos, a área de pousio e área com culturas de desenvolvimento mais lento, apresentam maior incidência e maior número de espécies de plantas daninhas como encontrado por Moraes et al., (2013) e Queiroz et al., (2010). Essa influência da velocidade de crescimento das plantas, ou seja, a velocidade de cobertura do solo pode ser visualizada na Figura 2, onde os tratamentos com formação de cobertura mais rápida, apresentaram menor incidência de plantas daninhas.

A cultura do nabo forrageiro, e os consórcios NAAV e NASO, superaram esse ponto crítico para supressão de plantas daninhas antes mesmo dos 39 DAS, justificando a baixa população de plantas daninhas neste tratamento. Tratamentos contendo aveia e ervilhaca superaram o ponto crítico entre 52 e 58 DAS, porém, apresentaram médias iguais de quantidade de plantas daninhas à das culturas contendo nabo. Tremoço e Sorgo não conseguiram atingir o ponto crítico e dessa forma apresentaram maior quantidade de plantas daninhas, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Com base na influência da área do solo coberta com plantas de cobertura e incidência de plantas daninhas, Moraes et al. (2009) identificaram forte correlação direta entre a área coberta pelas plantas de cobertura e a supressão de plantas daninhas, de forma que o azevém foi superior às culturas como nabo forrageiro e leguminosas, tanto na cobertura do solo como supressão de plantas daninhas. Resultados obtidos por Silva et al. (2009) corroboram com essa afirmação, sendo que a maior densidade de plantas de cobertura proporciona menor quantidade de plantas daninhas.

Portanto, é evidente que pensando em proteção do solo e supressão das plantas daninhas, as culturas como o nabo forrageiro e a aveia e consórcios com estas, apresentam melhor viabilidade e resultados mais promissores.

4.2 MATÉRIA SECA E NUTRIENTES

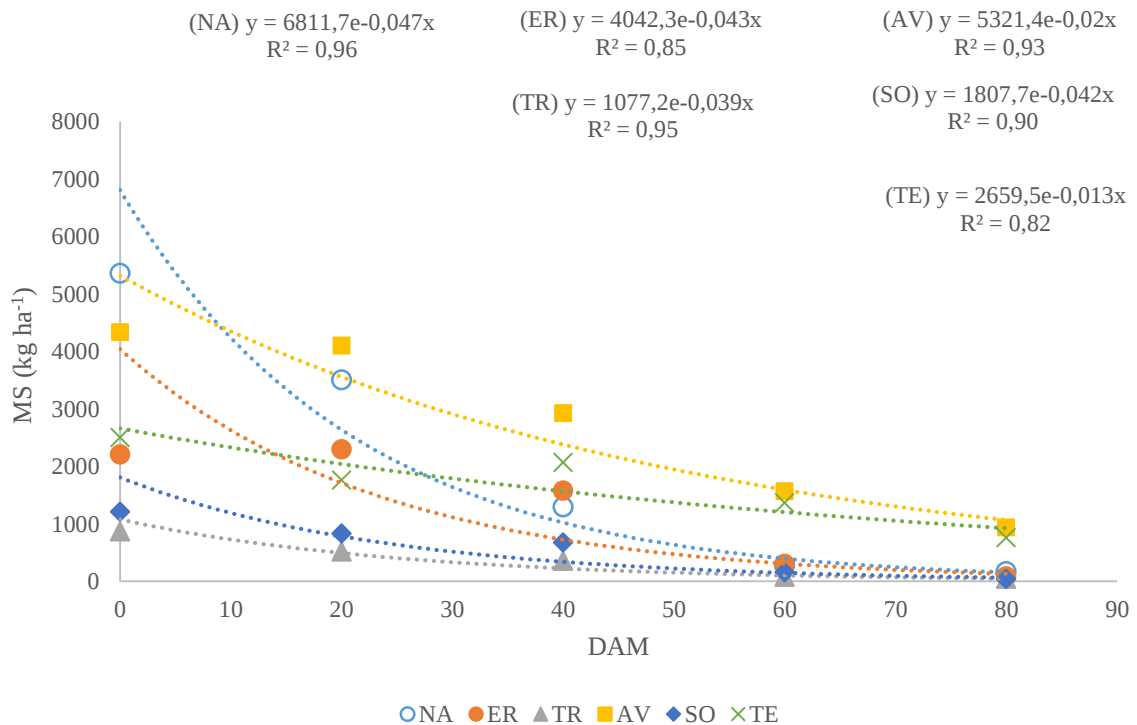
4.2.1 Matéria seca

Da mesma forma que o observado para a porcentagem de área de solo coberta, as culturas do nabo forrageiro e da aveia preta se sobressaíram, atingindo um acúmulo de MS de 5360 kg ha⁻¹ e 4335 kg ha⁻¹ respectivamente. Doneda et al. (2012) observaram que a cultura do nabo forrageiro foi a que produziu maior quantidade matéria seca por área, entretanto, muito superior à cultura da aveia. Giacomini et al. (2003), obtiveram resultados semelhantes a esse trabalho, onde o nabo forrageiro acumulou 5.530 kg ha⁻¹ e a aveia-preta 4.600 kg ha⁻¹, superando culturas como a ervilhaca, com 3.300 kg ha⁻¹. Moraes et al. (2009) em cultivo de inverno no Rio Grande do Sul, observaram que a cultura do nabo forrageiro proporcionou a maior formação de matéria seca (3695 kg ha⁻¹) nesta época, sendo próxima ao centeio (3150 kg ha⁻¹).

Além da época propícia a estas duas culturas, segundo Doneda et al. (2012), a cultura do nabo forrageiro tem maior eficiência na captação de nitrogênio e, portanto, tende a se destacar em cultivos onde não é utilizada a adubação química, além disso, em condições de estiagem, típico da época onde se cultivou as plantas de cobertura, o nabo tende a se desenvolver melhor devido a seu sistema radicular mais vigoroso.

Os resultados de matéria seca observados foram superiores ao obtido por Souza et al. (2013), que cultivaram plantas de cobertura por 95 dias, porém obtendo 3.300 kg ha⁻¹ para aveia-preta e apenas 3.000 kg ha⁻¹ para consórcio de nabo com aveia-preta, que neste trabalho apresentou massa de 5.360 kg ha⁻¹. Entretanto essa diferença se deve as condições climáticas, onde no caso deste trabalho as culturas de cobertura contaram com condições mais favoráveis, principalmente em relação ao regime hídrico, já que para Souza et al. (2013), as culturas foram semeadas na segunda metade de abril, o que indica uma vantagem do cultivo das plantas de coberturas no período utilizado da entressafra de milho e soja.

a)



b)

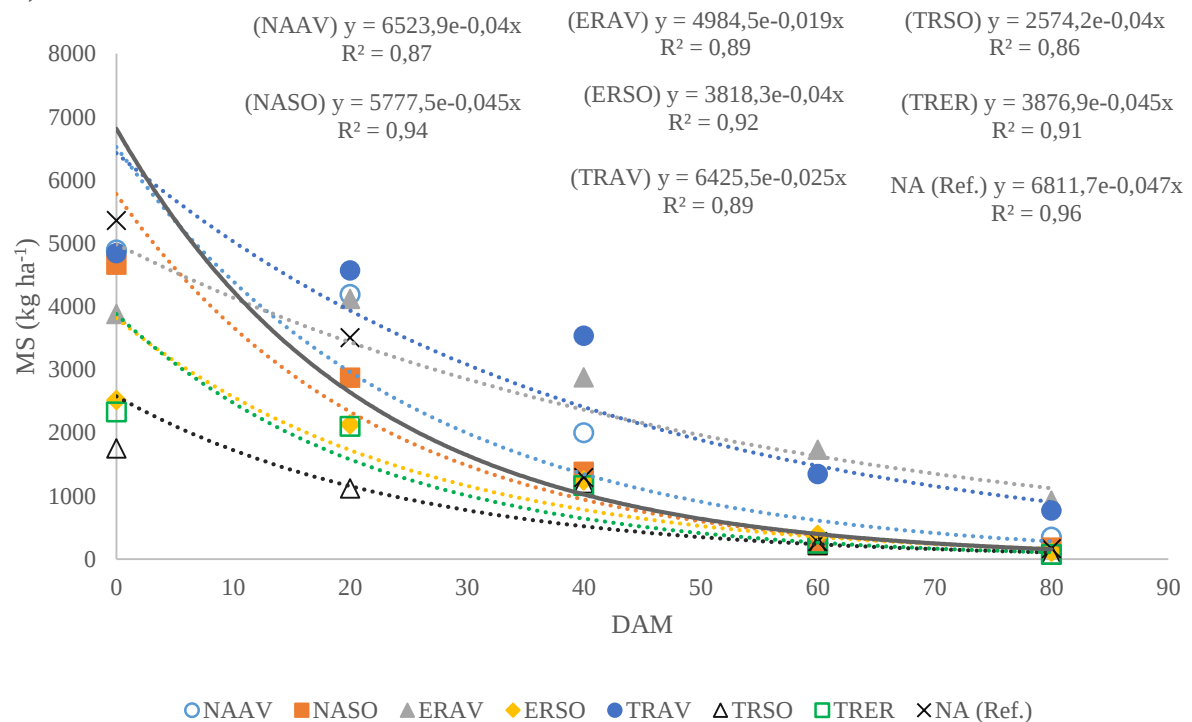


Figura 4. Matéria seca formada (0 DAM) e remanescente (demais períodos) para as culturas solteiras (a) e consorciadas (b), no município de Palotina, PR em 2016. NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha NA (Ref), nabo forrageiro como referência das culturas solteiras.

Mostrando a grande influência dessas duas culturas (NA e AV), os consórcios que continham estas também se sobressaíram, apresentando concomitantemente matéria seca aos 0 DAM mais elevada, sendo estes os tratamentos NAAV, NASO, TRAV e ERAV. A similaridade entre as curvas de NA e AV, com os consórcios que estas culturas compõe, se deve ao fato dessas plantas predominarem sobre a cultura com a qual são consorciadas. Isso é observado também por Giacomini et al. (2003), onde a aveia preta foi predominante em consórcio com ervilhaca, de forma que cada cultura produziu 4.580 kg ha^{-1} e 1.040 kg ha^{-1} respectivamente. Neste mesmo trabalho, observou-se predomínio do nabo forrageiro sobre a aveia-preta, onde obteve-se quantidades de matéria seca de 4.340 kg ha^{-1} e 1.320 kg ha^{-1} respectivamente para nabo e aveia.

Apesar do tremoço e a ervilhaca terem em geral um elevado potencial de formação de matéria seca, conforme diversos trabalhos: 5.540 kg ha^{-1} para ervilhaca (DONEDA et al., 2012) e 4.100 kg ha^{-1} para o tremoço (PEREIRA et al., 2012), ou ainda, 5774 kg ha^{-1} e 5752 kg ha^{-1} para ervilhaca e tremoço respectivamente (VIOLA et al., 2013), esses resultados não foram superados neste trabalho, onde obteve-se valores de 2.206 kg ha^{-1} e 868 kg ha^{-1} para ervilhaca e tremoço nessa ordem. O crescimento inicial apresentado na variável de porcentagem de área coberta, pesou no rendimento final de matéria seca (VIOLA et al., 2013), uma vez que ambas culturas apresentaram crescimento inicial lento e devido ao tempo entre a semeadura e o manejo ter sido de pouco mais de dois meses, estas não tiveram formação de cobertura satisfatória. O consórcio entre essas duas culturas (TRER), também não apresentou alta formação de matéria seca, se comparado com as culturas de maior acúmulo, sendo este de 3.877 kg ha^{-1} .

O sorgo, assim como já discutido para a velocidade de cobertura, não se adaptou bem ao clima e pouco se desenvolveu no tempo proposto, formando juntamente com o tremoço os menores acúmulos de matéria seca. Neumann et al. (2010) obtiveram em 75 dias de desenvolvimento de diferentes híbridos de sorgo forrageiro uma média de 4.221 kg ha^{-1} , que estaria entre as maiores médias dos tratamentos avaliados neste trabalho onde o sorgo apresentou acúmulo de apenas 1.208 kg ha^{-1} de matéria seca, valendo destacar que no trabalho o cultivo ocorreu no verão. No caso dos consórcios, devido ao sorgo apresentar desenvolvimento reduzido, este permitiu o crescimento das outras culturas, dessa forma, todos os consórcios foram superiores ao tratamento com sorgo solteiro, até mesmo o consórcio entre sorgo e tremoço (TRSO), que uniu as duas culturas com menor acúmulo de matéria seca.

A testemunha, que se constituiu principalmente do resto da palhada do milho e plantas espontâneas, apresentou ainda nesse período, cerca de 70 dias após a colheita de grãos, matéria seca considerável, entretanto, esse tecido trata-se em sua maioria apenas de colmos mais

lignificados e muito pouco uniformes, que não proporcionam eficiência na proteção do solo e demandam grande imobilização de nitrogênio para se decompor. Leite et al. (2010) compararam uma área em pousio, com o acúmulo de matéria seca de algumas gramíneas e também observaram inferioridade a partir dessa área de pousio para geração de fitomassa, sendo que o mesmo comportamento foi observado por Doneda et al. (2012).

Pensando na manutenção e na persistência da palhada das diferentes culturas, essa é uma característica muito importante quando se pensa na proteção do solo e na manutenção da umidade do solo, sendo neste aspecto, uma característica positiva. Para tal, na Tabela 2, é apresentado o tempo de meia-vida da matéria seca, podendo essa característica ser comparada com a curva de decomposição das diferentes culturas.

Tabela 2 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp^{-kt}$, coeficiente de determinação (R^2) e meia-vida ($T_{1/2}$), para MS remanescentes até 80 dias após o manejo das plantas de cobertura

Trat	P_0 kg ha ⁻¹	k g g ⁻¹	R^2	$T_{1/2}$ Dias
NA	6811,7	0,0474	0,96	15
ER	4042,3	0,0429	0,85	16
TR	1077,2	0,0392	0,95	18
AV	5321,4	0,0201	0,93	34
SO	1807,7	0,0418	0,90	17
NAAV	6523,9	0,0395	0,87	18
NASO	5777,5	0,0454	0,94	15
ERAV	4984,5	0,0187	0,88	37
ERSO	3818,3	0,0398	0,92	17
TRAV	6425,5	0,0246	0,89	28
TRSO	2574,2	0,0402	0,86	17
TRER	3876,9	0,0450	0,91	15
TE	2659,5	0,0132	0,82	53

NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha.

É importante destacar que a maioria dos autores que estimaram esse valor ($T_{1/2}$), ao invés de manejo com roçadeira, utilizaram dessecação das plantas de cobertura ou avaliaram a decomposição da matéria seca com método de bolsas de decomposição (litter bags) (PACHECO et al., 2013; TORRES; PEREIRA, 2008), onde ambos métodos reduzem contato da matéria seca com o solo e consequentemente diminui consideravelmente a decomposição e liberação dos nutrientes, uma vez que o corte das plantas com roçadeira aumentou a área de contato do material vegetal com o solo e microrganismos, o que explica os resultados obtidos

neste trabalho (rápida decomposição e liberação de nutrientes). As condições climáticas observadas também influenciaram esses valores.

É possível notar que o nabo forrageiro apesar de ser o maior formador de matéria seca, foi também a cultura que sofreu decomposição mais rápida, observando-se que NA e NASO, tiveram tempo de meia vida de apenas 15 dias, sendo estes os menores valores. Neste caso, o que se observou na Figura 4 é que o NA aos 40 DAM já tinha liberado mais de 75% de toda matéria seca acumulada, e apresentou menor matéria seca remanescente que AV, ERAV e TRAV, que foram as culturas com maior tempo de meia-vida, entre 28 e 37 dias. Inclusive, observa-se a intersecção entre a curva de NA e AV em apenas cerca de 9 DAM, a partir do qual a matéria seca remanescente sobre o solo já era superior para parcelas contendo AV. Essa rápida decomposição de NA é ainda mais evidente quando aos 27 DAM o solo em pousio passa a apresentar maior matéria seca remanescente.

O mesmo foi observado para os consórcios que continham a cultura do NA, no caso NAAV e NASO, com comportamento muito semelhante a cultura do nabo solteiro. Estes entre os consórcios foram nitidamente os que apresentaram a decomposição mais rápida, apesar de que mesmo NAAV conter a cultura da aveia, que apresenta decomposição mais lenta, o tempo de meia-vida neste consórcio subiu apenas para 18 dias. Mesmo com esse pequeno aumento no tempo de meia-vida, os tratamentos contendo NA, com exceção de tremoço solteiro, foram os únicos tratamentos que aos 60 DAM já haviam liberado mais de 90% de toda sua matéria seca acumulada. Isso se deve ao fato de que nos consórcios com a cultura do nabo, esta ser predominante no consórcio, assim como para Giacomini et al. (2003) e se tratando de uma cultura de baixa relação C/N, apresenta taxa de decomposição rápida.

Conforme trabalho realizado por Ceretta et al. (2002), a cultura do nabo forrageiro foi a cultura que também apresentou decomposição mais rápida que o cultivo de aveia e aveia consorciada com ervilhaca, entretanto, esses autores não relacionam essa decomposição mais rápida com a relação C/N. Já Doneda et al. (2012) relacionam a rápida decomposição com a relação C/N, todavia, em seu trabalho a ervilhaca apresentou tempo de meia-vida da matéria seca inferior ao nabo, e decomposição mais rápida. Vale destacar ainda que outros componentes como lignina e celulose interferem em muito na velocidade da decomposição, principalmente se considerar duas culturas com relação C/N próximas, porém com tempos de meia vida distintos.

A cultura da aveia, com exceção de quando em consórcio com o nabo, foi a cultura que tanto solteira, como em consórcio, apresentou a menor decomposição, mantendo grande quantidade de matéria seca no decorrer do período avaliado. Dessa forma, observa-se na Tabela

2, que AV, ERAV e TRAV, tiveram tempo de meia-vida de 34, 37 e 28 dias respectivamente, mostrando que consórcios com a cultura da aveia são mais persistentes, sendo evidente no comportamento das curvas desses tratamentos, onde antes mesmo dos 10 DAM, já passam a apresentar maior quantidade de matéria seca remanescente do que os demais tratamentos.

Mesmo segundo Doneda et al. (2012) a consorciação de aveia com leguminosas tendendo a acelerar a decomposição da gramínea com base em uma diminuição na relação C/N, esse efeito não foi observado neste trabalho, assim como para Soratto et al. (2012), de forma que conforme pode-se observar, os consórcios TRAV e ERAV apresentaram os maiores valores de matéria seca remanescente em todos os períodos de avaliação, juntamente da aveia solteira. Dessa forma, pode-se inferir que a consorciação da aveia com leguminosas não reduziu sua persistência sobre o solo, já que houve predomínio da aveia nos consórcios, tal como para Giacomini et al. (2003). Além disso, com base na matéria seca remanescente, nota-se que apenas 78,3%, 76,1% e 84,2% de toda MS acumulada, havia sido liberada aos 80 DAM por AV, ERAV e TRAV respectivamente, enquanto todos os outros tratamentos já haviam liberado quantidades superiores a 90%.

Quando se observa o comportamento da cultura do sorgo e do tremoço, nota-se que em todos os dias avaliados a quantidade de MS destas se encontrou entre as menores médias, além disso, as duas culturas tiveram decomposição elevada até os 80 DAM. O tremoço solteiro foi o único tratamento que juntamente daqueles contendo NA teve decomposição de mais de 90% de toda MS já aos 60 DAM. Observando o consórcio entre as duas culturas (TRSO), é evidente que a matéria seca foi um pouco superior, apesar de estar também abaixo dos demais tratamentos. A rápida decomposição da cultura do sorgo, que apresentou tempo de meia-vida de apenas 17 dias, inferior inclusive ao tremoço, pode ser explicada pelo desenvolvimento reduzido e pela elevada quantidade de tecido jovem, com pouca lignificação, o que promoveu rápida decomposição da palhada dessa cultura, além do baixo volume de fitomassa aumentar o contato da palhada com o solo.

A ervilhaca e o consórcio TRER, que contém apenas leguminosas, tiveram tempo de meia-vida reduzido assim como o esperado, de 16 e 15 dias respectivamente. Estes dois tratamentos apresentaram rápida decomposição, com quantidades acima de 86% aos 60 DAM e superiores a 96% em 80 DAM de MS decomposta. Esse tempo curto entre tantos fatores, se deve ao fato de ambos tratamentos apresentarem pouca matéria seca formada (maior contato do solo com o material), pouco desenvolvimento das culturas (plantas não lignificadas) e por conterem baixa relação C/N, além é claro das condições ambientais que favoreceram a

decomposição, sendo estes os principais motivos da rápida decomposição da matéria seca nesses tratamentos.

A testemunha, composta principalmente por palhada da cultura do milho, se manteve com massa seca elevada com o passar do tempo, superado a matéria seca remanescente do NA em aproximadamente 27 DAM e sendo praticamente igual a AV em 80 DAM. Desse modo, observa-se que o tempo de meia-vida para TE foi o mais elevado, de 53 dias, onde as estruturas menos lignificadas já haviam sido decompostas antes de se iniciar as avaliações, dessa forma a fitomassa avaliada de TE são estruturas que tem decomposição muito lenta e portanto, tiveram maior persistência em relação ao apresentado pelas plantas de cobertura. Leite et al. (2010), observaram o mesmo comportamento para a área em pousio, onde a matéria seca sofreu pouca alteração no decorrer dos dias avaliados.

Para Calonego et al. (2012) que avaliaram a decomposição do milho logo após a colheita, foi observado esse comportamento de grande persistência, já que até 40 dias após a colheita do milho, houve redução de apenas 25% da matéria seca. Ainda neste trabalho, observou-se comportamento linear e uniforme na decomposição principalmente a partir de 70 dias após a colheita do milho, que é o período muito próximo ao utilizado nesse trabalho, já que quando se iniciou as avaliações de matéria seca, o milho já havia sido colhido há 68 dias.

4.2.2 Nitrogênio

O nitrogênio apesar de ser um dos nutrientes mais demandados pelas culturas agrícolas, e ser um dos mais limitantes, trata-se de uma exceção por poder ser repostado no solo sem que seja unicamente através de emprego de fontes externas, já que esta reposição pode ser feita pelo uso de culturas que apresentam associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, podendo disponibilizar esse elemento após sua decomposição. Neste sentido, as leguminosas são as culturas preferidas como forma de adubação verde (PEREIRA et al., 2012).

Para o nitrogênio (Tabela 3), é perceptível que os teores foram superiores nas leguminosas e na cultura do nabo, com maior destaque para a cultura da ervilhaca, sendo que essas culturas apresentaram médias superiores tanto quando cultivadas de forma solteira como em consórcios, apesar de que quando estas culturas (ER, TR ou NA) foram consorciadas com gramíneas, tiveram uma tendência a apresentar redução nos teores de nitrogênio no tecido vegetal, como é o caso de NAAV, TRAV, ERAV e TRSO, que foram agrupadas entre as médias inferiores às leguminosas.

Tabela 3 - Teores de nitrogênio (g kg^{-1}), nitrogênio acumulado (kg ha^{-1}) e relação C/N

Trat	N ---g kg ⁻¹ ---	N ---kg ha ⁻¹ ---	C/N
NA	36,21 a	193 a	22,42 c
ER	38,99 a	86 c	21,68 c
TR	36,80 a	33 d	24,79 c
AV	27,36 b	119 b	33,18 b
SO	28,92 b	34 d	30,12 b
NAAV	31,69 b	156 a	25,42 c
NASO	36,82 a	170 a	22,39 c
ERAV	28,29 b	106 b	31,64 b
ERSO	36,26 a	90 c	23,49 c
TRAV	30,62 b	145 a	28,88 b
TRSO	29,75 b	52 d	30,77 b
TRER	37,31 a	87 c	24,18 c
TE	7,14 c	18 d	129,79 a

Médias seguidas por mesma letra minúscula, na coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5%; NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha.

A concentração de nitrogênio tem grande influência na relação C/N, de forma que o tratamento com maior teor de nitrogênio na maioria dos casos tem relação C/N mais baixa. Observa-se que de fato, as leguminosas ER e TR e o nabo, e consórcios NASO, NAAV, ERSO e TRER, tiveram as menores relações C/N. Os tratamentos contendo NA são facilmente explicados pela predominância da cultura do nabo, que por ter uma relação C/N baixa, faz com que a dos seus consórcios também fossem baixas. Isso é observado por Doneda et al. (2012), onde o nabo forrageiro foi predominante nos consórcios, de forma que os teores de N foram superiores nestes casos. O mesmo pode ser afirmado para tratamentos contendo ER, que devido sua baixa relação C/N, proporciona o decréscimo da totalidade da palhada quando em consórcio.

Esse efeito não é observado para o consórcio ERAV, que ao contrário do consórcio NAAV, onde o nabo forrageiro foi predominante, a aveia preta predominou no consórcio e por formar quantidade mais elevada de matéria seca, com alta relação C/N, proporcionou o aumento dessa em ERAV, efeito este observado para Giacomini et al. (2003), onde houve predominância da gramínea no consórcio. A cultura da aveia preta proporcionou esse mesmo efeito em todos os tratamentos em que fez parte, com exceção do NAAV já citado, de forma que todos consórcios contendo essa cultura se encontram no grupo das maiores médias para a relação C/N, ficando atrás apenas da testemunha, que por conter a palhada de milho composta principalmente por fibras, apresentou uma relação C/N muito superior à todos os tratamentos.

Entretanto, conforme Calonego et al. (2012), o aumento da relação C/N obtido no consórcio entre as leguminosas e as gramíneas é positivo, uma vez que relações C/N intermediárias fazem com que a palhada tenha persistência maior ao mesmo tempo que disponibiliza nitrogênio, ao invés de apenas imobilizar esse elemento na decomposição da fitomassa.

Esses resultados da relação C/N, além da relação lignina/N (POTRICH et al., 2014) que não foi avaliada neste trabalho, explica de forma bastante clara os resultados obtidos para a dinâmica de decomposição da matéria seca, de forma que o nabo solteiro e seus consórcios tiveram decomposição mais rápida e a aveia e consórcios com esta, decomposição mais lenta, assim como a testemunha que praticamente não sofreu decomposição, já que a velocidade de degradação do tecido vegetal e a mineralização do N é inversamente proporcional a relação C/N, conforme vários autores (COSTA et al., 2015; RAMOS et al., 2016).

Todavia, vale destacar que a presença de N no solo pode interferir diretamente na decomposição das plantas, de forma que se esse elemento estiver em abundância no solo, pode reduzir drasticamente a manutenção da palhada, inclusive de gramíneas. A adubação nitrogenada aumenta consideravelmente a velocidade de decomposição da matéria seca de cana de açúcar, comprovando que o mais importante é a disponibilidade de N para as bactérias para que ocorra a mineralização da matéria orgânica e não necessariamente apenas uma baixa relação C/N da palhada (POTRICH et al., 2014).

Para a ciclagem de nutrientes, a grande importância da relação C/N é devido ao fato de normalmente a mineralização do N e a sua imobilização serem separados pelo valor crítico de 25 da relação C/N, contudo, podendo variar conforme a espécie (ACOSTA et al., 2014; COSTA et al., 2015). Essa informação é importante para se entender o acúmulo de nitrogênio.

Ao observar a Tabela 3, pode-se notar que apesar das leguminosas e consórcios destas apresentarem grandes teores de N e uma relação C/N baixa, no caso do acúmulo total, essas culturas foram superadas por todos os tratamentos contendo nabo forrageiro, que também teve concentração alta de N e também por tratamentos contendo a cultura da aveia preta. Torres et al. (2005), obtiveram maior acúmulo de N em uma gramínea, com 165 kg ha⁻¹ no milheto, porém, muito mais devido a quantidade de matéria seca formada que a concentração de N. Além disso, muitas vezes pelo volume de raízes e profundidade que as mesmas atingem, no caso das gramíneas, ocorre uma maior recuperação de N-nítrico lixiviado, aumentando o acúmulo na planta. Entretanto, sendo a relação C/N elevada (superior a 25) nestes tratamentos contendo aveia preta, mesmo com essa grande quantidade acumulada, a tendência é que o N líquido mineralizado seja negativo, ou seja, a decomposição da palhada nesses tratamentos proporciona

a imobilização desse nutriente ao invés de libera-lo (ZIECH et al., 2015). Logo, culturas como ervilhaca e o nabo, ou o consórcio TRER, apesar de apresentar quantidade muito menor de N acumulado, proporciona maior mineralização de N no momento da decomposição da sua palhada.

Em geral a cultura que mais se destacou foi o nabo e os consórcios contendo essa cultura. Segundo Martins et al. (2014), culturas consorciadas com o nabo forrageiro tendem a apresentar redução na relação C/N e redução nos teores de lignina, muito provavelmente devido ao estiolamento da cultura buscando pelo espaço no consórcio, de forma que culturas como centeio e aveia-preta, podem apresentar mineralização de N quando consorciadas com nabo forrageiro ao invés de imobilização no momento de sua decomposição. Isso é evidente também em trabalho realizado por Giacomini et al. (2003), onde os tratamentos com NA tiveram acúmulo de N superior a 100 kg ha^{-1} .

A ervilhaca se apresentou como eficiente fonte de acúmulo de N, pois mesmo tendo pouca formação de matéria seca, conseguiu acumular quantidade elevada do elemento, levando em conta do fato de que esta cultura teve praticamente metade do acúmulo de matéria seca da aveia preta. Todavia, assim como observado por Doneda et al. (2012), a menor formação de matéria seca fez com que a ervilhaca fosse superada pelo nabo forrageiro no acúmulo de N.

Mesmo a taxa de mineralização não tendo sido avaliada neste trabalho, pode-se inferir que pela quantidade de N acumulado pelos tratamentos contendo a cultura de nabo, que estes sejam os que mais disponibilizem nitrogênio devido a essa grande quantidade acumulada estar aliada a baixa relação C/N, com exceção do tratamento NAAV, onde a relação C/N foi pouco superior a 25, podendo assim restringir a mineralização do N neste tratamento.

4.2.3 Fósforo

O nabo forrageiro e consórcios contendo essa cultura obtiveram comportamento bastante semelhante para acúmulo de P, sendo que estes foram superiores a todos os demais tratamentos, acumulando quantidades entre $23,5$ e $28,3 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido da aveia e seus consórcios que apresentaram acúmulo entre 17 e 21 kg ha^{-1} . Para Heinz et al. (2011), o nabo também foi a cultura que mais acumulou P, com valores superiores a 20 kg ha^{-1} .

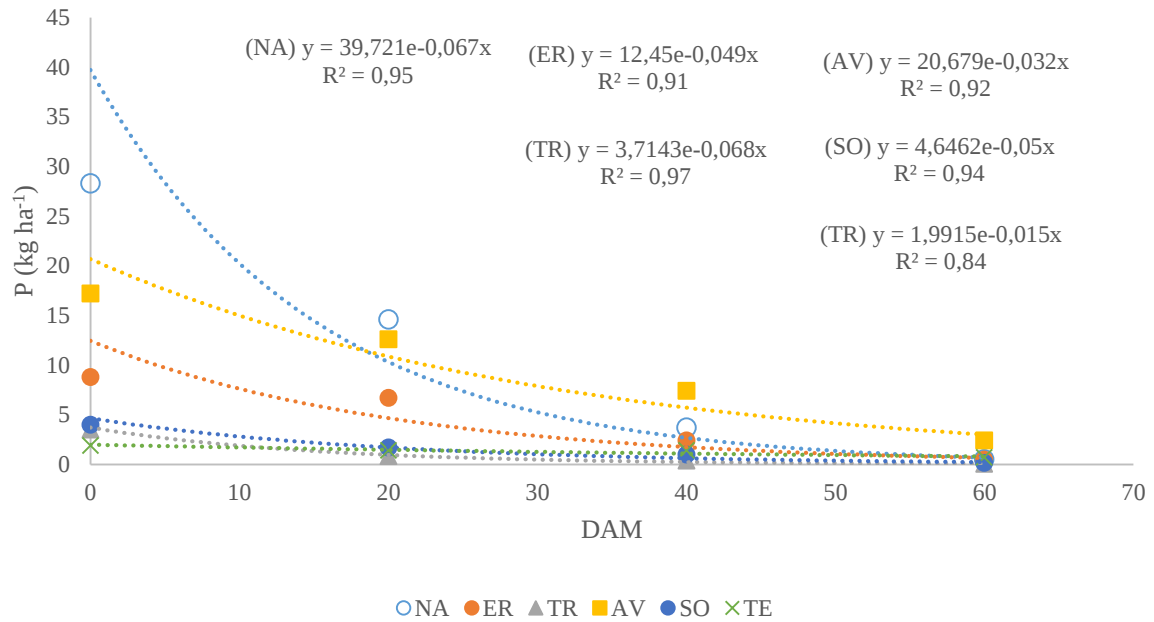
Somado ao grande acúmulo de matéria seca, a eficiência na absorção de P é outro fator de importância no acúmulo total de P, entretanto, existem diversos mecanismos relacionados com essa eficiência (JANEGITZ et al., 2013). No caso do nabo forrageiro, mesmo não sendo uma planta com associação micorrízica, que tem grande influência na disponibilização de P,

esta cultura apresenta exsudação de fosfatases ácidas, que além de promover a hidrólise de fosfatos ligados a fração orgânica pode promover o estímulo de populações microbianas da rizosfera, que apresentam maior eficiência na mineralização do P, aumentando a sua disponibilidade (COSTA; LOVATO, 2004), sendo estes entre outros fatores, o motivo para o grande acúmulo de fósforo nos tratamentos contendo NA.

Tratamentos com aveia não apresentaram grande concentração de fósforo no tecido vegetal, entretanto, o grande acúmulo de matéria seca favoreceu essa cultura no acúmulo total de P, dessa forma os tratamentos AV, TRAV e ERAV, constituíram o segundo grupo de médias mais elevadas. Essa proximidade entre os tratamentos contendo aveia preta se deve ao fato dessa cultura ser predominante quando consorciada com qualquer uma das culturas, com exceção ao nabo forrageiro (GIACOMINI et al., 2003; DONEDA et al., 2012). No entanto, Silva et al. (2011) em seu estudo com diferentes fontes de P, porém com cultivos em vasos, observaram que a aveia preta foi a cultura que apresentou os maiores teores de P com concentração em torno de $1,16 \text{ g kg}^{-1}$, sendo semelhante ao tremoço, com $1,07 \text{ g kg}^{-1}$, que são valores inferiores ao observado neste trabalho. Casali et al. (2016) em seu estudo, apresentam teores de 2,6 e $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ para aveia e tremoço respectivamente, cultivados em SPD, sendo que o teor do tremoço cai quase pela metade em sistema de plantio convencional segundo o mesmo autor. Isso mostra que dependendo das condições, a concentração desse nutriente pode variar para as mesmas espécies.

Esse alto acúmulo de P na cultura da aveia deve-se também a grande eficiência das gramíneas na aquisição de fósforo do solo, onde segundo Alves et al. (2002), as gramíneas por apresentarem elevado comprimento de sistema radicular, raízes mais finas e pelos radiculares mais longos, além de dividir o fósforo entre raiz e parte aérea na mesma proporção relativa, tendem a apresentar maior acúmulo na parte aérea. Além disso a associação com fungos micorrízicos pode promover a liberação de fosfatases alcalinas, aumentando a disponibilização desse elemento (COSTA; LOVATO, 2004).

a)



b)

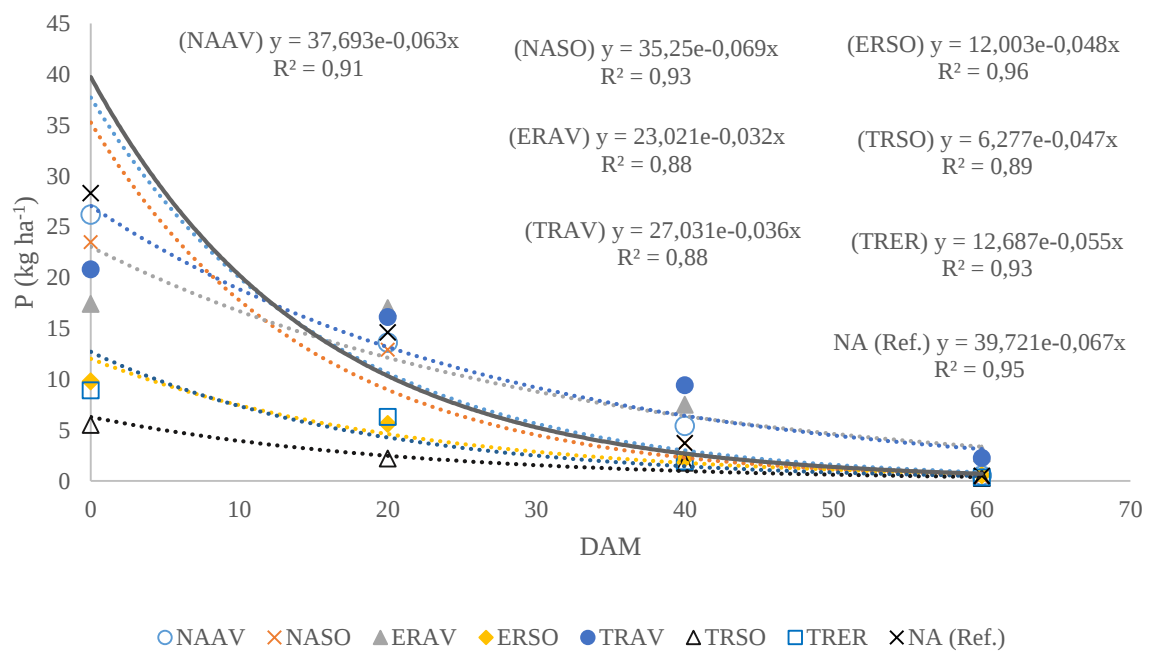


Figura 5. Fósforo acumulado (0 DAM) e remanescente (demais períodos) para as culturas solteiras (a) e consorciadas (b) no município de Palotina, PR em 2016. DAM, dias após o manejo; NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha NA (Ref.), nabo forrageiro como referência das culturas solteiras

Tratamentos contendo a cultura da ervilhaca, com exceção ao tratamento ERAV onde a aveia é a cultura predominante, apresentaram comportamento semelhante, sendo estes inferiores aos tratamentos com AV e NA, porém superiores às demais no quesito acúmulo de P. Isso se deve ao fato de apesar da ervilhaca acumular pouca matéria seca, assim como TRER e ERSO, estes tiveram concentração de P relativamente elevada, próximas ou superiores a 4 g kg⁻¹ de P, uma vez que essa alta concentração de P no tecido vegetal pode estar relacionada com associações micorrízicas, conforme descrito por Costa e Lovato (2004). Casali et al. (2016) inclusive observou que entre diversas plantas de cobertura, a ervilhaca foi a que apresentou maior teor de P, sendo este de 4,4 g kg⁻¹. Segundo esse mesmo autor, o que impossibilitou que a ervilhaca fosse a cultura que mais acumulasse fósforo foi sua baixa produção de matéria seca, inferior a culturas como centeio, nabo e trigo.

Os outros tratamentos como TR, SO e TRSO, foram inferiores aos demais, não ultrapassando 10 kg ha⁻¹, apresentando ajustes semelhantes. Isso se deve principalmente ao fato da baixa formação de matéria seca nesses tratamentos, já que a concentração foi relativamente elevada principalmente para TR com 6,3 g kg⁻¹. Apesar da cultura do tremoço não ser uma cultura com associação micorrízica, esta apresenta elevada eficiência na extração de fósforo adsorvido no solo e absorção desse elemento a partir de fontes pouco solúveis, como fosfato natural (SILVA et al., 2011), já que essa eficiência se dá através de mecanismos de exsudação de ácidos orgânicos e a mobilização do P através da enzima fosfatase (JANEGITZ et al., 2013). Entretanto, devido aos elevados níveis desse elemento no solo, essa eficiência do tremoço na aquisição de P não proporcionou nenhum efeito aparente que o levasse a superar as outras culturas.

Quanto a liberação de P observada para o tremoço e ervilhaca, esta é mais rápida nos primeiros dias e se estabiliza próximo aos 40 DAM, a partir do qual praticamente não houve mais disponibilização de fósforo, de forma que o fósforo remanescente teve menor redução. Aos 40 DAM, a ervilhaca já havia liberado 73% do P e o tremoço liberou 89% do seu P acumulado neste mesmo período. Já aos 60 DAM o P remanescente é equivalente a 5% e 1% respectivamente para ervilhaca e tremoço, ou seja, a liberação até esse período já havia sido de 95% e 99% em relação ao total contido nas culturas. Para o tratamento contendo as duas culturas (TRER), os valores foram uma média entre o obtido para as culturas solteiras, sendo que com 1,90 e 0,35 kg ha⁻¹ de P remanescentes em 40 e 60 DAM, esse tratamento havia liberado 79% e 96% nos respectivos períodos, de todo seu conteúdo de P acumulado.

Essa rápida liberação de P pelas leguminosas é evidenciada na Tabela 4, em que leguminosas tiveram tempo de meia-vida mais baixo que a maioria dos outros tratamentos,

sendo o tremço a cultura com o menor tempo de meia vida, de apenas 20 dias para liberação de P. Essa rápida liberação é observada por Casali et al. (2016), em que a ervilhaca liberou praticamente 100% do fósforo até os 60 dias após a dessecação das plantas, ao passo que as demais culturas, como aveia, tiveram uma liberação mais lenta, resultados estes também observados neste trabalho. Pode-se atribuir essa maior liberação de P devido a maior presença de enzimas fosfatase presente no solo aonde as leguminosas são cultivadas (COSTA; LOVATO, 2004).

Tabela 4 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp^{-kt}$, coeficiente de determinação (R^2) e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), para P remanescentes até 60 dias após o manejo das plantas de cobertura

Trat	P_0	k	R^2	$T_{1/2}$
	$g\ kg^{-1}$	$g\ g^{-1}$		Dias
NA	5,74	0,0190	0,97	36
ER	3,98	0,0176	0,90	39
TR	4,83	0,0350	0,91	20
AV	4,10	0,0147	0,96	47
SO	3,11	0,0178	0,97	39
NAAV	5,13	0,0181	0,97	38
NASO	5,66	0,0190	0,95	36
ERAV	5,00	0,0177	0,93	39
ERSO	3,83	0,0175	0,96	40
TRAV	4,52	0,0163	0,97	43
TRSO	2,93	0,0159	0,97	44
TRER	3,99	0,0184	0,96	38
TE	0,84	0,0080	0,83	87

NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha.

O nabo forrageiro e seus consórcios além de terem o maior acúmulo de P, apresentaram também rápida liberação, sendo que o tempo de meia-vida do P para esses tratamentos não ultrapassou 38 dias. Essa liberação rápida de P a partir do nabo forrageiro fez com que aos 19 DAM, os tratamentos contendo essa cultura tivessem a quantidade de P acumulado superada por AV, ao mesmo passo do ocorrido para os consórcios NAAV e NASO que foram superados pelos tratamentos contendo AV em menos de 15 dias, sendo que a partir desse período, AV e seus consórcios passaram a apresentar os maiores valores de P remanescente na palhada.

Heinz et al. (2011) comparando plantas de cobertura, também observaram que o nabo forrageiro foi a cultura que mais acumulou e liberou P, entretanto, com a liberação mais intensa até os 45 dias, a partir do qual a liberação torna-se mais lenta e uniforme. Casali et al. (2012) também obtiveram uma liberação rápida de P na cultura do nabo forrageiro em relação a aveia.

Porém, para estes mesmos autores a ervilhaca e tremoço liberaram P em maior quantidade, já que as leguminosas apresentaram maior concentração do referido elemento e se decompuseram mais rapidamente, o que acelera a mineralização do fósforo, além da presença mais elevada de fosfatases no solo onde se encontram essas culturas (COSTA; LOVATO, 2004).

A aveia preta assim como todos os consórcios contendo essa cultura, exceto NAAV, apresentaram tempo de meia-vida mais elevado, sendo de 47 dias no caso da aveia. Essa liberação mais lenta, muito se deve a menor velocidade de decomposição dessa cultura e liberação do nutriente pertencente a estruturas orgânicas, portanto, aos 60 DAM, a aveia liberou muito menos fósforo que a cultura do nabo, inclusive os tratamentos AV, TRAV e ERAV, foram os únicos que neste período exibiram liberação inferior a 90%. O mesmo é observado por Casali et al. (2016), onde a cultura da aveia-preta foi a segunda cultura com liberação mais lenta e a liberar menor quantidade de P, superada por culturas como nabo forrageiro, ervilhaca, centeio e tremoço.

Por ser uma gramínea e normalmente apresentar uma decomposição mais lenta, o sorgo também deveria ter liberação mais lenta dos nutrientes. Isso em parte foi encontrado, onde observa-se que no consórcio TRSO, o tempo de meia-vida foi relativamente elevado, com 44 dias. Entretanto para sorgo solteiro o valor foi intermediário, de 39 dias. Isso se deve ao já abordado para a decomposição da matéria seca, onde devido ao baixo crescimento dessa cultura, ela apresentava alta concentração de tecido jovem pouco lignificado, o que facilitou a sua decomposição, diferentemente do observado quando essa cultura se desenvolve de forma adequada (TORRES et al., 2008). Essa rápida liberação é observada aos 20 DAM, onde pode-se observar que o $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de P remanescente em SO, o equivalente a 42% do P acumulado para esse tratamento, ou seja, 58% já haviam sido liberados nesse período.

Traçando um paralelo entre as culturas de cobertura e a cultura sucessora, no caso do fósforo, para que a cultura da soja tenha uma produtividade elevada ($>4.000 \text{ kg ha}^{-1}$), em solo com teor de P muito alto, são necessários de 41 a 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (PAULETTI; MOTTA 2017). No caso desse trabalho, a cultura que mais acumulou P foi o nabo, com o equivalente a 86 kg ha^{-1} de P_2O_5 , dessa forma pode-se afirmar que as plantas de cobertura podem ser uma opção muito importante na disponibilização desse nutriente, onde segundo Santos et al. (2008), em solos tropicais, o P orgânico podem ser uma fonte importante desse elemento para as plantas.

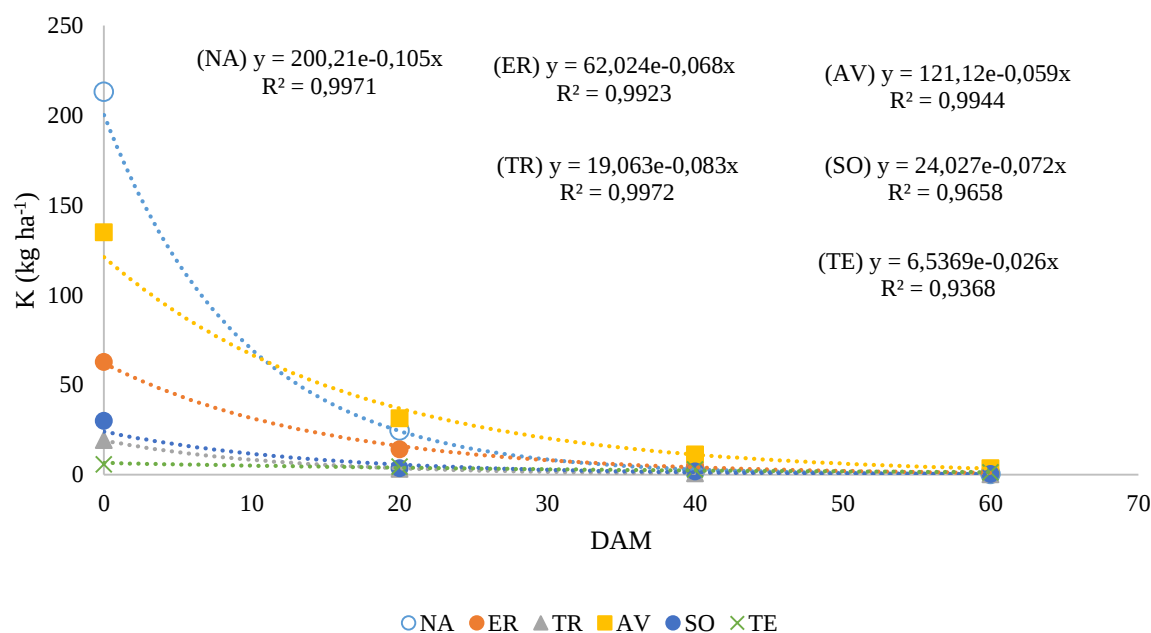
4.2.4 Potássio

É possível observar a superioridade da cultura do nabo forrageiro no acúmulo de potássio em relação as demais plantas de cobertura avaliadas de forma solteira. Não apenas a cultura solteira, mas também NAAV e NASO, que são consórcios que contém a cultura do nabo, apresentaram elevadas quantidades de potássio acumulado por área. Para Viola et al. (2013) que compararam o acúmulo de nutrientes em diferentes leguminosas e no nabo forrageiro, também se obteve maior eficiência no acúmulo de potássio no nabo forrageiro, atingindo quantidades em torno de 300 kg ha^{-1} . Giacomini et al. (2003) observaram em experimento que nabo forrageiro solteiro ou consorciado com aveia apresenta acúmulo superior a 120 kg ha^{-1} em uma matéria seca média de 5.440 kg ha^{-1} , que foi um valor próximo do observado neste trabalho.

O potássio é um elemento que quando em baixa concentração no solo é absorvido pelas plantas através de difusão e uma pequena parcela a partir de fluxo de massa. Entretanto, quando a concentração no solo é elevada, assim como observou-se na análise de solo deste trabalho, praticamente todo o K é absorvido a partir da difusão (ROSOLEM et al., 2003). Dessa forma, pode-se inferir que plantas com melhor desenvolvimento, tendem a apresentar maior crescimento radicular, consequentemente maior superfície de contato entre íons e raiz, o que aumenta a difusão além de que com maior crescimento das plantas, estas tendem a apresentar uma maior taxa transpiratória e consequentemente maior entrada de íons por fluxo de massa, apesar desse não ser o principal mecanismo envolvido na absorção de K. Esses fatores explicam o maior teor e acúmulo de potássio nas plantas com maior desenvolvimento e formação de matéria seca.

Em ordem de grandeza para a quantidade de K acumulado, obteve-se $NA > AV > ER > TR$ e SO. É interessante observar que para o consórcio TRAV, houve influência positiva da junção das culturas, de forma que a quantidade de potássio foi superior às duas culturas solteiras, porém, se assemelhando no quesito de liberação de nutriente à aveia, que foi a cultura predominante no consórcio. Isso mostra que no caso do consórcio, a cultura mais eficiente neste quesito teve seu potencial preservado, o que é positivo pensando na ciclagem desse nutriente. O mesmo é observado por Giacomini et al. (2003), onde o nabo forrageiro cultivado de forma solteira apresentou o maior acúmulo de K assim como os consórcios contendo essa cultura, mesmo que a planta com o qual o nabo forrageiro foi consorciado tenha tido médias inferiores a este, quando cultivada de forma solteira.

a)



b)

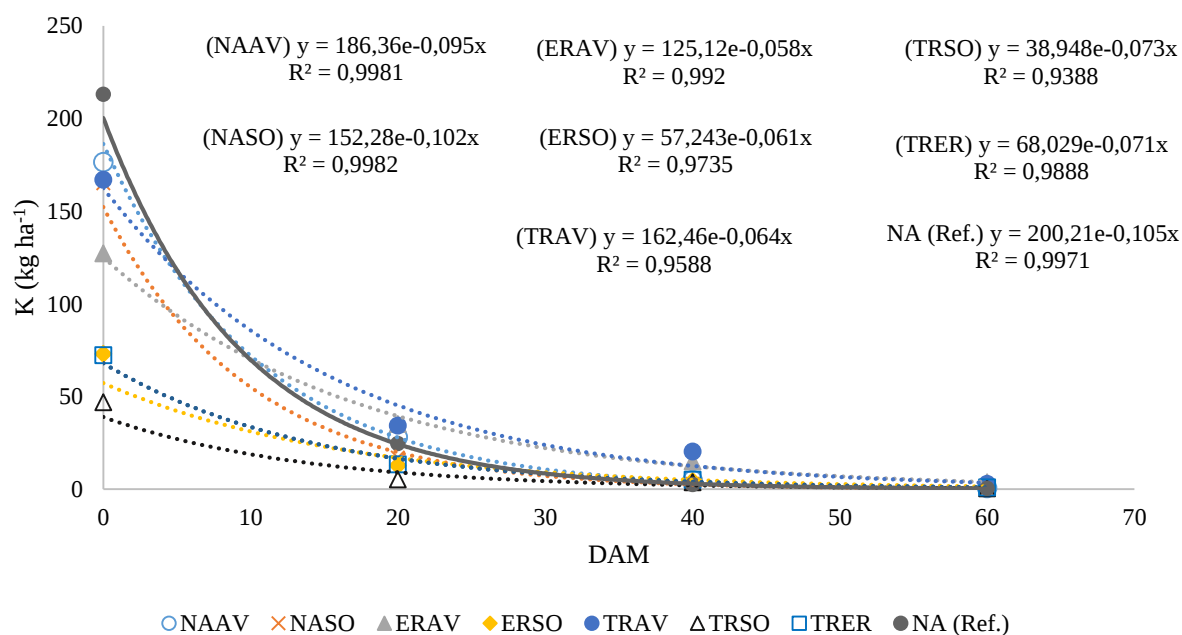


Figura 6. Potássio acumulado (0 DAM) e remanescente (demais períodos) em relação aos dias de liberação para as culturas solteiras e consorciadas no município de Palotina, PR em 2016. DAM, dias após manejo; NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha; NA (Ref), nabo forrageiro como referencia das culturas solteiras.

A superioridade da quantidade de K acumulado dos tratamentos que tinham a cultura do nabo forrageiro (NA, NAAV e NASO) e o consórcio TRAV, se devem a dois fatores, o maior acúmulo de matéria seca nesses tratamentos e o elevado teor de K desses, onde o nabo forrageiro solteiro teve a maior média isolada, com $39,4 \text{ g kg}^{-1}$. Giacomini et al. (2003), observaram que tanto a cultura do nabo forrageiro solteiro como em consórcio, os teores de K foram mais elevados que das demais culturas e consórcios, atingindo em média 25 g kg^{-1} , proporcionando assim maior acúmulo desse nutriente.

Os consórcios contendo a cultura da aveia apresentaram ajuste da regressão semelhantes ao da cultura solteira, com elevado acúmulo de K, sendo inferior apenas ao obtido pelos tratamentos contendo nabo forrageiro, porém com uma manutenção maior que estes. A cultura da aveia e consórcios com esta, aliaram concentração elevada de K, com grande acúmulo de matéria seca. O mesmo não foi observado por Torres et al. (2008), onde a aveia formou pouca matéria seca e da mesma forma, acumulou pouco K. Entretanto, Rosolem et al. (2003) constataram que a aveia preta apresentou grande concentração de K, superior a 35 g kg^{-1} , valor este muito próximo ao encontrado neste trabalho, que foi de $31,1 \text{ g kg}^{-1}$ para cultura da aveia preta solteira. Souza e Guimarães (2013) observaram que a aveia preta quando forma elevada matéria seca tende a apresentar maior acúmulo de K.

As leguminosas não apresentaram grandes teores de K em relação às demais culturas. Giacomini et al. (2003) observaram baixos teores de K para cultura da ervilhaca em relação às demais plantas avaliadas, atingindo um teor pouco superior a 22 g kg^{-1} . Souza e Guimarães (2013) obtiveram acúmulo máximo de K para cultura do tremoço de $26,2 \text{ kg ha}^{-1}$. Neste caso, as culturas da ervilhaca e tremoço, também pelo baixo acúmulo de matéria seca quando cultivadas de forma solteira, estiveram entre os menores valores de acúmulo de K, sendo a ervilhaca superior ao tremoço por ter teor pouco mais elevado e apresentar maior acúmulo de matéria seca. Souza e Guimarães (2013) observaram que mesmo o tremoço tendo concentração de K igual das outras culturas, este foi superado no acúmulo de potássio ($85,6 \text{ kg ha}^{-1}$) por plantas como aveia-preta ($230,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e o consórcio entre aveia e tremoço ($134,5 \text{ kg ha}^{-1}$), justamente pela menor formação de matéria seca. O consórcio entre essas duas culturas (TRER), assim como o ocorrido para os consórcios com a cultura do nabo forrageiro, apresentou acúmulo igual ao da ervilhaca, que foi superior ao tremoço e predominou no consórcio.

O sorgo, a exemplo de Rosolem et al. (2003) que tiveram um teor de K inferior a 20 g kg^{-1} , apresentou juntamente do tremoço os menores valores após a testemunha para a concentração de K, sendo de $24,7 \text{ g kg}^{-1}$. Essa baixa concentração do nutriente somado ao pouco

acúmulo de matéria seca, fez com que essa planta de cobertura apresentasse baixo acúmulo do referido nutriente.

Para se discutir a liberação de potássio ao longo do tempo, pode-se avaliar paralelamente a Tabelas 5 e Figura 6. Segundo Hentz et al. (2014), plantas com relação C/N mais baixas e decomposição mais acelerada liberam todos os nutrientes mais rapidamente em maiores quantidades, sendo que no caso do potássio, o extravasamento celular provocado pela destruição da parede celular, com a morte do tecido é um dos principais fatores relacionados com sua liberação. Um exemplo de que isso ocorreu é o nabo forrageiro, que foi a cultura com menor tempo de meia-vida, de apenas 12 dias. O reflexo disso é o que se observa na Figura 6, onde a cultura do nabo forrageiro, de 213 kg ha⁻¹ totais de K, aos 20 DAM já havia liberado 88,5% desse elemento, de forma que pouco após os 10 DAM a aveia apresenta conteúdo de K remanescente maior que NA, sendo que o mesmo ocorre para ervilhaca, porém após 30 DAM, onde passou a apresentar maior acúmulo de K que NA.

Os consórcios com nabo forrageiro, que mesmo com um grande acúmulo de K tiveram um ajuste da curva exponencial semelhante ao nabo solteiro, com uma rápida liberação de K logo nos primeiros dias, o que fez com que mesmo antes dos 10 DAM esses tratamentos fossem superados por aqueles contendo aveia. Evidenciou-se o mesmo por Viola et al. (2013), onde a cultura do nabo disponibilizou a maior parte do K nos 20 primeiros dias, atingindo quase 100% aos 60 dias, assim como observado neste trabalho, em que todos os tratamentos contendo nabo, aos 40 DAM liberaram mais de 97% de todo o K acumulado e aos 60 DAM já tinham sido liberados mais de 99,7% de todo conteúdo de K nesses tratamentos.

Dando enfoque na velocidade de liberação de nutrientes (HENTZ et al., 2014), a cultura do nabo forrageiro está isolada como o menor tempo de meia-vida para K liberado, juntamente dos consórcios NAAV e NASO, apesar destes aumentarem em 1 e 2 dias respectivamente, resultado este que corrobora com a afirmação de que a união de culturas de rápida decomposição com gramíneas, além de aumentar a persistência da palhada, ainda contribui para desacelerar a liberação de potássio.

A liberação do nutriente no caso da aveia, teve comportamento inverso ao observado para o nabo, de forma que o tempo de meia vida para os tratamentos AV, ERAV e TRAV foram de 17, 16 e 16 dias respectivamente. De fato, esse maior tempo de meia-vida somado ao acúmulo elevado de K dos tratamentos contendo AV, que foram inferiores apenas a NA e NAAV, contribuiu para que esses tratamentos estivessem entre as maiores quantidades de K remanescente, sendo que a partir dos 10 DAM a quantidade de K remanescente foi mais elevada nos tratamentos AV, ERAV e TRAV, todos contendo aveia preta.

Tabela 5 - Coeficientes da equação de regressão $P = P_0 \cdot \exp(-kt)$, coeficiente de determinação (R^2) e tempo de meia-vida ($T_{1/2}$), para K remanescentes até 60 dias após o manejo das plantas de cobertura

TRAT	Po	k	R ²	T _{1/2}
	g kg ⁻¹	g g ⁻¹		Dias
NA	28,1	0,0560	0,91	12
ER	19,8	0,0355	0,84	19
TR	18,7	0,0462	0,95	15
AV	23,8	0,0416	0,93	17
SO	15,9	0,0401	0,83	17
NAAV	25,0	0,0491	0,91	14
NASO	24,3	0,0523	0,91	13
ERAV	27,5	0,0435	0,96	16
ERSO	20,2	0,0380	0,86	18
TRAV	26,2	0,0441	0,93	16
TRSO	18,3	0,0421	0,88	16
TRER	21,1	0,0330	0,82	21
TE	2,6	0,0175	0,90	40

NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremoço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremoço e aveia; TRSO, consórcio de tremoço e ervilhaca e TE, testemunha.

A ervilhaca e o sorgo foram culturas que apresentaram tempo de meia-vida do K elevado, sendo de 19 e 17 respectivamente, de forma que o consórcio entre essas duas culturas (ERSO) apresentou a média desses valores, ou seja, 18 dias de meia-vida. Rosolem et al. (2003) observaram que o sorgo foi a cultura que apresentou a menor liberação de K dentro de um espaço de tempo, mesmo que comparado apenas com outras gramíneas. O mesmo foi observado por Teixeira et al. (2012), onde o tempo de meia vida de K maior foi obtido para o sorgo, sendo que o principal motivo para que isso ocorresse foi o baixo teor do elemento no tecido dessa cultura e que apresentam grande lignificação no colmo, o que dificulta a extração desse elemento por solubilização do mesmo. Esse comportamento, entretanto, não foi observado para a ervilhaca onde para Viola et al. (2013) esta foi a cultura com menor tempo de meia-vida, com 4 dias apenas, devido principalmente a textura da planta, que neste caso tende a apresentar tecido menos lignificado e facilmente lavado após morte celular.

As demais culturas e os consórcios tiveram comportamento semelhante, disponibilizando praticamente todo o potássio nos primeiros 40 DAM (aproximadamente 90% do conteúdo), e se estabilizando após esse período, com mínima liberação desse elemento. Essa liberação rápida é comum, Anghinoni et al. (2011) por exemplo, obtiveram para plantas com decomposição lenta, tempo de meia-vida de aproximadamente 17 dias para o K, que é um tempo relativamente curto e mostra que independentemente do tratamento, todas as culturas liberam rapidamente o K. Até mesmo a cultura da aveia, que foi a que apresentou decomposição da

matéria seca mais lenta, houve rápida liberação de K, com tempo de meia-vida de 16 dias. Obviamente essa liberação tem grande influência das condições climáticas, de forma que altos regimes hídricos aumentam a solubilização desse elemento e sua rápida liberação, já que trata-se de um elemento não estrutural (PACHECO et al., 2011a).

A testemunha por sua vez, apresentando baixa concentração de potássio, praticamente não sofreu liberação desse nutriente, de forma que a liberação neste caso foi a mais longa com tempo de meia-vida foi de 40 dias.

Relacionando a liberação de K com a necessidade da cultura sucessora, conforme Oliveira Junior et al. (2013), a soja absorve em média 38 kg de K_2O para produzir 1.000 kg de grãos. Seguindo essa linha de raciocínio, pensando em uma lavoura com alto potencial de produção ($>4.000 \text{ kg ha}^{-1}$), a demanda de K_2O seria de pouco mais de 150 kg ha^{-1} , ao passo que Pauletti e Motta (2017) recomendam para solos com teores altos de potássio, adubação de 61 a 80 kg ha^{-1} de K_2O . Desse modo, com base nos resultados, aveia e nabo solteiros e consórcios com essas culturas disponibilizam ao final dos 60 DAM, ou até antes, quantidades de potássio superiores ao demandado pela cultura da soja para atingir produtividades superiores a 4.000 kg ha^{-1} . Entretanto, não é recomendado excluir K_2O da adubação de base já que a proximidade da semente no momento da germinação pode ser fundamental para viabilizar o desenvolvimento inicial da cultura, sendo necessários estudos com ênfase nesta condição para se afirmar algo mais concreto. Neste sentido, ainda é importante destacar também que dos 38 kg de K_2O demandados para produzir 1.000 kg de sementes, 20 kg são exportados para as sementes (OLIVEIRA JUNIOR, et al., 2013), que é a única parte da planta que não permanece na lavoura, dessa forma, dos cerca de 148 kg ha^{-1} demandado para cultura produzir cerca de 5.000 kg ha^{-1} de produção, $82,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O seriam extraídos permanentemente do solo, o que sustenta a relevância da manutenção da adubação química com K_2O .

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A primeira variável avaliada foi a resistência a penetração, expressa nas Figuras 7A e 7B. Esta, juntamente da densidade, são propriedades que indicam o grau de compactação do solo, apesar da resistência à penetração depender também da umidade no momento em que é feita a avaliação, sendo que neste trabalho em questão a umidade era em média de $0,16 \text{ g g}^{-1}$ nas camadas de 0 à 0,05 m; $0,19 \text{ g g}^{-1}$ de 0,10 à 0,20 m e de $0,2 \text{ g g}^{-1}$ nas demais camadas, indicando que a camada superficial estava mais seca.

Mesmo não havendo diferença estatística pelo teste F, fica evidente que na camada mais superficial (0-0,05) a testemunha, que não apresentava planta de cobertura, teve maior resistência a penetração. Da mesma forma, os consórcios contendo a cultura do nabo (NAAV e NASO) apresentaram tendência a maior resistência (2,5 Mpa) entre 0,15 e 0,25 m de profundidade, porém, não foi observada diferença estatística. Apesar dessa resistência que é superior a 2 MPa ser tida como impeditiva ao desenvolvimento de raízes (TAYLOR et al., 1966; NESMITH, 1986) as diversas culturas encontram no solo espaços ou pequenas galerias que permitem, em alguns casos, que as raízes possam se desenvolver ainda nessas condições, não se podendo afirmar que nessas condições as raízes não se desenvolvam.

Gramíneas por exemplo tendem a superar essa resistência mecânica, de forma que para Beutler e Centurion (2004), a resistência restritiva ao desenvolvimento de leguminosas pode ultrapassar 3 Mpa, variando conforme a textura do solo e condições de umidade. Um exemplo disso é o que foi concluído por Cardoso et al. (2006), que não observou queda de rendimento da cultura da soja cultivada em condições de resistência variando entre 1 e 4,5 MPa, desde que não houvesse limitação hídrica, evidenciando a grande relatividade ao se tomar um único valor como crítico ao desenvolvimento radicular.

Em relação a redução da resistência a penetração promovida pelas raízes, Cunha et al. (2011) comparando a resistência do solo a penetração sob diferentes manejos e plantas de cobertura, independentemente de se tratar de plantio direto ou convencional, leguminosas e gramíneas não diferiram entre si na resistência a penetração em nenhuma profundidade, sendo semelhantes também ao pousio, onde não havia cultivo de espécies de cobertura.

Já em outro trabalho realizado por Flavio Neto et al. (2015), utilizando diferentes espécies de gramíneas, obteve-se resultados positivos na redução da compactação justamente pelo volume de raízes que após a decomposição formam galerias e reduzem a resistência a penetração e aumentam também a disponibilidade de água no solo, tal qual a porosidade do solo, assim como afirmado por Reinert et al. (2008). Plantas de soja cultivadas após a cultura da aveia-preta, apresentaram maior matéria seca de raízes em praticamente todas as camadas avaliadas, o que mostra que esta cultura é um bom condicionante do solo, reduzindo a restrição do solo sobre o desenvolvimento radicular (SILVA; ROSOLEM, 2002). Pasqualleto e Costa (2001), observaram que o cultivo de sorgo foi mais eficiente na redução da compactação em camada subsuperficial em relação a culturas como aveia e nabo.

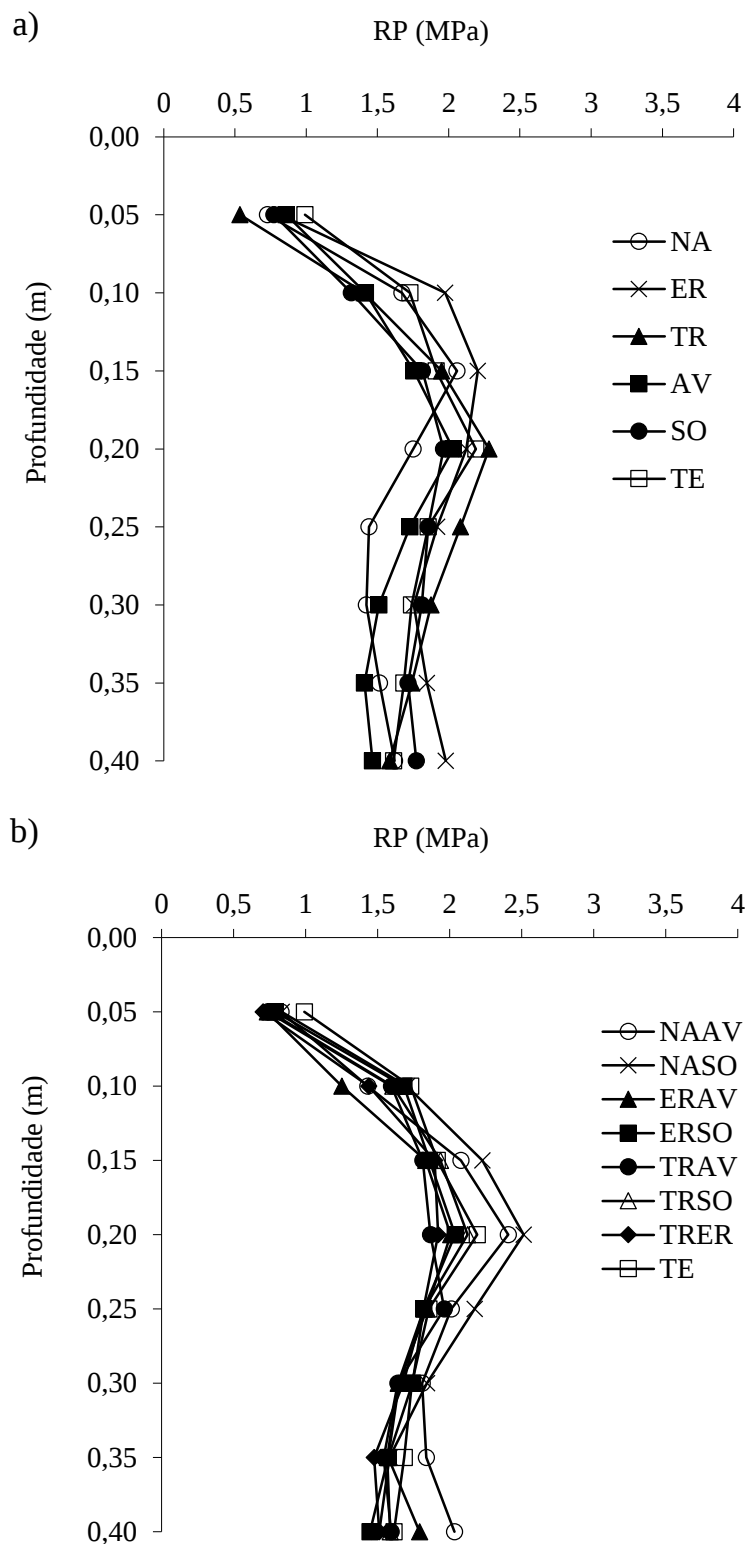


Figura 7. Resistência a penetração observada nos tratamentos constituídos por culturas solteiras (a) e culturas consorciadas (b) no município de Palotina, PR em 2016. NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha

Em relação as leguminosas, estas também podem ser uma alternativa na redução da resistência a penetração. Teixeira et al. (2003) concluíram que solos com cultivo de ervilhaca antecedendo a cultura do milho tiveram menor resistência a penetração do solo que diversas gramíneas como azevém e aveia.

O nabo forrageiro por sua vez, é considerado em muitos trabalhos como uma planta que faz escarificação biológica do solo (KLEIN; KLEIN, 2014). Nicoloso et al. (2008) obtiveram esse resultado de forma que consórcio entre nabo forrageiro e aveia preta proporcionou aumento da porosidade do solo em profundidade. É necessário, entretanto, que o nabo seja cultivado em grande densidade para essa finalidade (KLEIN; KLEIN, 2014), uma vez que o solo adjacente as raízes tende a sofrer uma certa compactação pela força exercida pelo espessamento das raízes do nabo. Para Souza et al. (2005), na camada de 0 a 0,10 m, a cultura do nabo forrageiro foi a que proporcionou a menor resistência a penetração, porém nas camadas inferiores o valor tende a apresentar um estreito aumento quando se utiliza essa cultura.

Em relação a densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, não se obteve nenhuma diferença significativa pelo teste F (5%) para nenhuma das variáveis, tanto para a profundidade de 0 a 0,10 m quanto para de 0,10 a 0,20 m (Tabela 6).

É possível afirmar que independentemente da cultura de cobertura a densidade pouco variou, sendo que apenas o TR teve um valor acima de $1,40 \text{ Mg m}^3$, que foi proposto por Reichert et al. (2003) como valor crítico para solos de textura argilosa. Já os valores para camada de 0,10 a 0,20 m foram mais elevados, porém, não a níveis que se tornam impeditivos ao crescimento radicular, onde segundo Reinert et al. (2008), nessa camada os valores para restringirem o desenvolvimento radicular devem ser maiores que $1,75 \text{ Mg m}^3$ e para esta a maior densidade foi de 1,59 no consórcio TRSO, não diferindo dos outros tratamentos. Cardoso et al. (2014) por sua vez, encontraram redução na densidade do solo na camada de 0 a 0,05 m em cultivo de tremoço e redução na camada de 0,10 a 0,20 para cultivo com aveia.

Para as demais variáveis referentes à porosidade os valores pouco variaram, sendo superiores na camada superficial em relação à camada subsuperficial. Segundo diversos autores (KLEIN; CAMARA, 2007; CUNHA et al., 2011; RAMOS et al., 2015), a porosidade de aeração mínima exigida pelas plantas é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para que não haja limitação da difusão do oxigênio, todavia, variando conforme a espécie cultivada e o nível de atividade biológica do solo. Neste caso, na camada de 0 a 0,10 m, apenas os tratamentos AV e ERAV não atingiram esse valor de macroporosidade, porém, não diferindo dos demais tratamentos.

Tabela 6 - Médias obtidas e significância pelo teste F para os diferentes tratamentos nas variáveis, densidade do solo (DS), macroporosidade (MA), microporosidade (MI) porosidade total (PT)

TRAT	DS Mg m ³	MA m ³ m ³	MI m ³ m ³	PT m ³ m ³
----- 0 – 10 cm -----				
NA	1,17	0,145	0,417	0,562
ER	1,19	0,130	0,380	0,510
TR	1,45	0,102	0,485	0,587
AV	1,27	0,090	0,460	0,552
SO	1,34	0,142	0,440	0,582
NAAV	1,22	0,140	0,417	0,560
NASO	1,29	0,120	0,445	0,565
ERAV	1,33	0,082	0,450	0,532
ERSO	1,20	0,150	0,400	0,550
TRAV	1,19	0,127	0,447	0,577
TRSO	1,30	0,122	0,437	0,560
TRER	1,34	0,097	0,430	0,527
TE	1,21	0,115	0,415	0,530
----- 10 – 20 cm -----				
NA	1,47	0,052	0,425	0,475
ER	1,45	0,102	0,432	0,532
TR	1,47	0,115	0,425	0,540
AV	1,47	0,052	0,425	0,477
SO	1,52	0,045	0,420	0,467
NAAV	1,39	0,057	0,392	0,447
NASO	1,53	0,060	0,437	0,497
ERAV	1,45	0,055	0,417	0,472
ERSO	1,45	0,072	0,402	0,477
TRAV	1,50	0,050	0,427	0,480
TRSO	1,59	0,055	0,470	0,522
TRER	1,46	0,057	0,417	0,475
TE	1,39	0,075	0,390	0,465

NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha.

Na camada de 0,10 a 0,20 m a macroporosidade reduziu aproximadamente pela metade, dessa forma observou-se apenas para as leguminosas (ER e TR), valores de macroporosidade superiores a 0,10 m³ m⁻³ normalmente requeridos, conforme Cunha et al. (2011).

Cunha et al. (2011), avaliando plantas de cobertura no período do verão, concluíram que no sistema de plantio direto bem manejado a densidade e porosidade se mantém em níveis adequados ao desenvolvimento radicular, entretanto, as diferentes plantas de cobertura cultivadas durante 3 anos agrícolas não apresentaram diferença entre si para as propriedades avaliadas neste trabalho. O mesmo ocorreu com Cardoso et al. (2013) que compararam diferentes plantas de coberturas e diferentes populações de plantas, onde não se observou nenhuma diferença entre os tratamentos para as propriedades físicas do solo. Não obstante,

Pauletto et al. (2005) cultivaram por até três anos leguminosas e gramíneas, rotacionando espécies, porém, sem sucesso na melhoria das condições físicas do solo.

Utilizando a cultura do milho consorciada com leguminosas em sistema de plantio sem revolvimento e em solo argiloso, Argenton et al. (2005) obtiveram um aumento da macroporosidade do solo e consequentemente redução da densidade do solo quando utilizou mucuna cinza no consórcio. Além disso, o autor atenta ao fato de que a longo prazo, outras culturas que não causaram modificações nas propriedades físicas do solo em apenas um ciclo, podem promover essas mudanças devido principalmente ao aporte de matéria orgânica.

No trabalho de Pires et al. (2008), o uso de gramíneas como o milho aumentaram drasticamente a macroporosidade e reduziram a densidade do solo, todavia, as gramíneas neste trabalho não apresentaram tal efeito.

4.4 CULTURA DA SOJA

Para a concentração dos nutrientes da análise foliar, não foi identificada diferença significativa para nenhum elemento (Tabela 7). Mesmo certas culturas tendo ciclado grande quantidade de nutrientes, e acumulando elevada quantidade de matéria seca sobre o solo, essas vantagens não proporcionaram efeitos imediatos sobre a cultura da soja.

É evidente que a adubação de base com 400 kg ha^{-1} do formulado 2-20-18, por conter a quantidade suficiente dos minerais avaliados para a soja, foi um fator que provavelmente reduziu o efeito que as culturas de cobertura poderiam ter sobre a soja.

Pacheco et al. (2011b) avaliaram a ciclagem de nutrientes proporcionada por algumas gramíneas forrageiras. Em solo com teores médios de P e K, os autores utilizaram 400 kg ha^{-1} de adubação de base para cultura da soja com o formulado 2-20-18 e mesmo cultivado sobre a palhada das culturas com resultados promissores de ciclagem de nutrientes, a cultura da soja não apresentou nenhuma diferença entre os tratamentos para nenhuma característica avaliada, sustentando a ideia de que a adubação de base pode ter reduzido a influência positiva das plantas de cobertura. Em outro trabalho (PACHECO et al., 2013) em solo argiloso com teores de $6,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de P e $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K (teores inferiores ao obtidos neste trabalho) o mesmo foi observado, onde a cultura da soja cultivada sobre a palhada de plantas de cobertura, porém com adubação de base, não apresentou diferença significativa para a produtividade. Tanaka et al. 1992, em solo arenoso com teores altos de nutrientes e utilizando 400 kg ha^{-1} adubação de base de 0-20-20 e diversas plantas de cobertura antes do cultivo da soja, também não obtiveram nenhuma diferença nas condições nutricionais da cultura da soja.

Tabela 7 - Valores da análise nutricional de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), massa de mil grãos (M1000) e produtividade (PD), para cultura da soja

Trat	N	P	K	M1000	PD
	-----g kg ⁻¹ -----			--g--	--kg ha ⁻¹ --
NA	50,81	3,32	16,50	103,3	4.148
ER	52,44	3,16	15,86	97,5	4.198
TR	53,41	3,19	16,70	97,8	4.148
AV	48,56	3,23	17,33	98,6	4.145
SO	39,63	3,26	17,55	95,8	3.548
NAAV	51,69	3,28	16,03	94,9	4.059
NASO	51,00	3,09	16,88	102,1	4.160
ERAV	52,73	3,28	17,69	94,7	4.061
ERSO	52,83	3,47	17,19	95,6	3.817
TRAV	51,31	3,37	16,98	94,7	3.480
TRSO	52,13	3,16	17,52	99,9	4.035
TRER	51,96	2,96	16,48	100,0	4.232
TE	48,76	3,51	16,56	99,7	4.371
CV%	15,38	12,03	4,06	5,89	21,02

CV%, coeficiente de variação; NA, nabo forrageiro; ER, ervilhaca peluda; TR, tremço branco; AV, aveia preta; SO, sorgo forrageiro; NAAV, consórcio de nabo e aveia; NASO, consórcio de nabo e sorgo; ERAV, consórcio de ervilhaca e aveia; ERSO, consórcio de ervilhaca e sorgo; TRAV, consórcio de tremço e aveia; TRSO, consórcio de tremço e ervilhaca e TE, testemunha.

Além da adubação de base, outro fator de importância para que não se obtivesse resultados significativos na nutrição da soja, é o fato das condições nutricionais do solo estarem muito altas. Sendo a cultura da soja uma cultura que supre sua demanda de N através da fixação biológica, observou-se ainda 68,2 mg dm⁻³ de P e 0,8 cmolc.dm⁻³ de K, esses valores convertidos, proporcionariam na camada de 0-20 cm valores respectivamente de 136,4 kg ha⁻¹ e 625,6 kg ha⁻¹ para P e K que suprem toda a demanda da cultura da cultura da soja para altas produtividades.

Da mesma forma, para a produtividade e massa de mil grãos, não se detectou diferença entre os tratamentos, possivelmente pelo mesmo motivo relatado para os nutrientes. Pacheco et al (2011b) e Pacheco et al. (2013), não identificaram aumento ou redução da produtividade da cultura da soja com base na planta de cobertura cultivada anteriormente. Entretanto, ainda segundo o último trabalho, a cultura do arroz apresentou aumento de produção quando cultivada em sucessão à cultura que mais acumulou os nutrientes N, P e K. O mesmo não ocorreu no trabalho de Tanaka et al. (1992), onde apesar das plantas de cobertura não terem interferido na nutrição da cultura da soja, esta foi mais produtiva quando cultivada sobre a palhada de plantas de cobertura se comparado com um monocultivo de soja.

Pensando na influência da adubação na minimização dos efeitos proporcionados pelas plantas de cobertura, Lazaro et al. (2013) testaram a influência de plantas de cobertura sobre a produtividade da cultura do milho, sem aplicação de nitrogênio na adubação de base, onde tratamentos contendo leguminosas ou a cultura do nabo forrageiro, que acumularam grande quantidade de nitrogênio, proporcionaram uma produtividade igual ao tratamento que recebeu adubação nitrogenada de cobertura, o que mostra que os nutrientes disponibilizados pelas plantas de cobertura podem ser o suficiente para garantir elevadas produtividades. Albuquerque et al. (2013), encontraram resultados que corroboram com essa afirmação, de forma que na ausência de adubação nitrogenada, algumas leguminosas supriram de forma eficiente a demanda da cultura do milho. Massad et al. (2014) em seu trabalho, obtiveram maior produtividade para cultura do milho, quando cultivada sobre palhada de leguminosa em relação ao solo em pousio, quando não houve adubação de base. O mesmo não foi observado por Torres et al. (2014), que utilizaram adubação nitrogenada no sulco de semeadura, de forma que neste caso, maiores produtividades de milho foram observadas sobre a palhada de gramíneas.

Cardoso et al. (2014), embora não tenham avaliado a decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura, retiraram a adubação de base para avaliar a produção de soja cultivada sobre a palhada de plantas de cobertura. Dessa forma, os autores observaram que a cultura da soja apresentou maior produtividade quando cultivada sobre palhada de aveia, tremoço e feijão guandú. Além da ciclagem de nutrientes, culturas como aveia e tremoço melhoram as condições do solo, podendo melhorar inclusive a eficiência na absorção de fósforo, já que estas culturas aumentam os níveis de fosfatase no solo ou por associações micorrízicas ou através de exsudatos radiculares (COSTA: LOVATO, 2004).

Portanto, visando investigar o efeito das plantas de cobertura sobre a nutrição e produtividade da cultura da soja, seria interessante um novo estudo que eliminasse a adubação de manutenção para a cultura da soja.

5 CONCLUSÕES

Mesmo todas as plantas de cobertura tendo proporcionado vantagens em relação ao solo em pousio, os tratamentos contendo a cultura do nabo forrageiro (NA, NAAV e NASO) foram os que proporcionaram maior velocidade de cobertura do solo e supressão de plantas daninhas, além de maior acúmulo e disponibilização de matéria seca e dos elementos N, P e K.

Nenhum dos tratamentos proporcionou melhoria das propriedades físicas e produtividade da soja, entretanto, todos os tratamentos apresentaram vantagens (proteção do solo, ciclagem de nutrientes e supressão de plantas daninhas) em relação ao solo em pousio.

6 REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. de A.; AMADOR, T. J. C.; SILVA, L. S. da; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. W.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 1, n. 1, p. 85-92, 2002.
- ALVES, M. C.; SUZUKI SANCHES, L. G. A.; SUZUKI, SANCHES, L. E. A. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REUS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENDES, M.C. Sowing period of forage sorghum in two places of the state of Minas Gerais. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 4, n. 1, p. 113-132, 2011.
- ANGHINONI, I.; ASSMANN, J.M.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.; CARVALHO, P. C. F. ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, PR, v. 6, n. 2, p.01-10, 2011.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 425-435, 2005.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 26, n.1, p. 151-156, 2006.
- BENASSI, A. C.; ABRAHÃO, J. T. M. Épocas de semeadura e espaçamentos sobre a produção de fitomassa de tremoço. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 9, p. 1517-1522, 1991.
- BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão

de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 34, n. 6, p. 1793-1800, 2004.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. G. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de sorriso, mato grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagos, MG, v. 8, n. 3, p. 263-274, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 304-312, 2013.

CARDOSO, D. P.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013.

CARDOSO, R. A.; BENTO, A. S.; MORESKI, H. M.; GASPAROTO, F. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, PR, v. 35, n. 2, p. 51-60, 2014.

CARMO, C. A. F. S. do; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na embrapa solos**. Circular técnica N°6, Embrapa solos, Rio de Janeiro, RJ, ed. 21, 2000. 47p.

CARNEIRO, C.; REISSMANN, C. B.; MARQUES, R. Comparação de métodos de análise química de K, Ca, Mg e Al, em folhas de erva-mate. (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Cerne**, Lavras, MG, v. 12, n. 2, p. 113-122, 2006.

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. D.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. (2016). **Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil:** práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água [recurso eletrônico]. 2016. cap. 2, p. 23-33.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; NETO, A. L. S.; SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, C. G. dos; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n. 5, p. 521–528, 2012.

CECCON, G. **Milho safrinha com braquiária em consórcio.** Comunicado Técnico Embrapa, Dourados, MS, n. 140, 2008.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTTO, N. SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, E. E.; GIROTTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n. 6, p. 1287-1295, 2005.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**, 2ª edição. Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 1997, 212p.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 31, n. 3, p. 818-829, 2015.

COSTA, M. D.; LOVATO, P. E. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.6, p.603-605, 2004.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DONEDA, A.; CELSO, A.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema sisvar para análises estatísticas**. Departamento de ciências exatas, Lavras, MG, 2000. 66p.

FERREIRA, D. F.; Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, L. E.; SOUZA, E. P.; CHAVES, A. F.; Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v. 7, n. 1, p. 33-38, 2012.

FINHOLDT, R. S.; ASSIS, A. M.; BISINOTTO, F. F.; AQUINO JÚNIOR, V. M.; SILVA, L. O. Avaliação da biomassa e cobertura do solo de adubos verdes. **FAZU em Revista**, Uberaba, MG, v. 1, n. 6, p. 11-52, 2009.

FLÁVIO NETO, J. F.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; JUNNYOR, S. G.; GONÇALVES, W. G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in croplivestock integration. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-Brasileira**, 2ªed., Passo Fundo, Embrapa trigo, 2012, cap. 4/10, 340p.

GARCIA, C. M. de P.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. T.; LIMA, A. E. S.; BUZETTI, S. Análise econômica da produtividade de grãos de milho consorciado com forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 2, p. 157-163, 2012.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; WILDNER, L. P.; DENERDIN, R. B. N. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Revista Biotemas**, Florianópolis, SC, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2009.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; SARTORI, G. M.; DONATO, G.; SILVA, P. R. F.da; KAISER, D.R.; ARAMBURU, B.B. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo em milho em planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 3, p. 261-270, 2016.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FRANCELLO, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 331-340, 2001.

HEINZ, R. GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L.; LUZ, L. V.; BARCELLOS, A. L. Ciclagem de nitrogênio em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 36, n. 2, p. 663-676, 2014.

JANEGITZ, C. M.; INOUE, B. S.; ROSOLEM, C. A. Formas de fósforo no solo após o cultivo de braquiária e tremoço branco. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 43, n. 8, p. 1381-1386, 2013.

KRENCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, L. R.; PLACIDO, H. F.; RECKZIEGEL, J. E.; ECCO, F.H. Dessecação de espécies de cobertura do solo com formulações de glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, PR, v. 12, n. 2, p. 104-111, 2013.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 221-227, 2007.

KLEIN, C. & KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 5, p. 3915-3925, 2014.

KUVA, M. A.; PITELLI, R. A.; SALGADO, T. P.; ALVES, P. L. C. A. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LÁZARO, R. L., COSTA, A. C. T. da; SILVA, K. F. da; SARTO, M. V. M.; DUARTE JUNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão a adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

LEONEL, F. P.; PEREIRA, J. C.; COSTA, M. G.; MARCO, P.; SILVA, C. J. da; LARA, L.A. Consórcio capim-braquiária e milho: comportamento produtivo das culturas e características nutricionais e qualitativas das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 166-176, 2009.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FREITAS, F. C. L. Manejo de plantas daninhas no consórcio de milho com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 22, n. 4, p. 553-560, 2004.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 133-146, 2009.

MARTINS, D. Comunidade infestante no consórcio de milho com leguminosas. **Planta daninha**, Viçosa, MG, v. 12, n. 2, p. 100-105, 1994.

MASSAD, M. D.; OLIVEIRA, F. L. de.; FAVERO, C.; DUTRA, T. R.; QUARESMA, M. A. L. Desempenho de milho verde em sucessão a adubação verde com crotalária, submetido a doses crescentes de esterco bovino, na caatinga mineira. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v. 26, n. 3, p. 322-332, 2014.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A. Influencia de métodos de digestão e massa de amostra na recuperação de nutrientes em resíduos orgânicos. **Quimica Nova**, Lavras, MG, v. 31, n. 3, p. 556-561, 2008.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; OLIVEIRA, C.; VIGNOLO, G. K.; MARKUS, C. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 34, n. 2, p. 497-508, 2013.

MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; VIGNOLO, G.K.; SANTOS, L.S.; PANOZZO, L.E. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2009.

MOREIRA, A. L.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; SARAN JUNIOR, A. J. Avaliação de forrageiras de inverno irrigadas sob pastejo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1838-1844, 2007.

MULLER, M. M. L.; CECCON, G., ROSOLEM, C. A.; Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 531-538, 2001.

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. Soil Science Society. **American Journal**, Madison, v. 51, n.1, p. 183-186, 1987.

NEUMANN, M. et al. Desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em manejo de cortes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 9, n. 3, p. 297-313, 2010.

NICOLOSO R. da S., et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NOCE, M. A.; SOUZA, I. F. de; KARAM, D.; FRANÇA, C.; MACIEL, G. M.; Influência da palhada de gramíneas forrageiras sobre o desenvolvimento da planta de milho e das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 7, n. 3, p. 265-278, 2008.

NUNES, A. S. SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 70, n. 2, p. 432-438, 2011.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de; JORDÃO, L. T. **Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes**. Internacional plant nutrition institute (IPNI), Informações agrônômicas nº 143, Piracicaba, SP, 2013. 24p.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A. M.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011a.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1787-1799, 2011b.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L. do; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I. AVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração em latossolo vermelho sob sisemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 1777-1785, 2011.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M. A. A.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C. A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros panicum e brachiaria em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 39, n. 4, p. 360-370, 2009.

PASQUALETTO, A. & COSTA, L. M. da. Contribuição de safrinhas em sucessão à cultura da soja em plantio direto sobre a resistência à penetração do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 31, n. 1, p. 55-59, 2001.

PATRIGNANI, A.; OCHSNER, T.E. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. **Biometry Modeling and Statistics Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2312-2320, 2015.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**, Sociedade brasileira de ciência do solo, 2017. Em: cap. 9, p. 215-219.

PAULETTO, E. A.; BORGES, J. R.; SOUSA, R. O. de.; PINTO, L. F. S.; SILVA, J. B. da; LEITZKE, V. W. Avaliação da densidade e da porosidade de um gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 11, n. 2, p. 207-210, 2005.

PECHE FILHO, A. Mecanização do sistema plantio direto. **O Agrônomo**, Campinas, SP, v. 57, n. 1, p. 17-18, 2005.

PEREIRA, L. C.; FONTANETTI, A.; BATISTA, J. N.; GALVÃO, J. C. C.; GOULART, P. L. Comportamento de cultivares de milho consorciados com *Crotalaria juncea*: estudo preliminar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, RS, v. 6, n. 3, p. 191-200, 2011.

PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P. de.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B. Fitomassa de adubos verdes e cobertura do solo na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, RR, v. 6, n. 2, p. 110-116, 2012.

PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; PEREIRA, E. S. S. Uso de leguminosas como fonte alternativa de N nos agroecossistemas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, RN, v. 7, n. 5, p. 36-40, 2012.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BÔER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 2, p. 094-101, 2008.

PIRES, F. R. et al. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, p. 094-101, 2008.

POTRICH, D. C. et al. Decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar submetidos a diferentes doses de nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 35 n. 4, p. 1751-1760, 2014.

QUEIROZ, L. R.; GALVÃO, J. C. C.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, M. F.; TARDIN, F. D. Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 263-270, 2010.

RAMOS, N. P. et al. Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

RAMOS, M. R.; UHLMANN, A.; MELO, V. F.; CURCIO, G. R.; CAGLIONI, E. Atributos de solos coesos e não coesos no complexo petroquímico do Rio de Janeiro, Itaboraí - RJ. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 11, n. 22, p. 360-375, 2015.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 1805-1816, 2008.

RIBAS, P. M. Cultivo do Sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sistemas de Produção 2, ed. 4, 2008.

RODRIGUES, G. B.; SÁ, M. E.; VALERIO FILHO, W. V.; BUZZETI, S.; BERTOLIN, D. C.; PINA, T. P. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n.3, p. 380-385, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 355-362, 2003.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. **Leguminosas Forrageiras Anuais de Inverno. Embrapa, ILPF- integração lavoura pecuária**, cap. 10, 2007. p.305-320.

SANTOS, J. A. B.; ROSA, J. A.; BENASSI, D. A.; JUSTINO, A. Manejo da aveia preta na decomposição da biomassa e na cobertura do solo em semeadura direta de milho. **Scientia Agraria**, Curitiba, PR, v. 12, n. 4, p. 211-217, 2011.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 1669-1677, 2011.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 53-60, 2006.

SILVA, A. C. da; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 1, p. 22-28, 2009.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**, 2. Edição, rev. ampl. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, P. C. G.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRITAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 11, p. 1504-1512, 2009.

SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. da. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 36, n. 3, p. 1011 - 1020, 2006.

SILVA, R. H. da.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.6, p. 855-860, 2002.

SILVA, T. A. da.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SILVEIRA JUNIOR, S. D.; SILVA, A. P. da; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012.

SILVA, T. O. da.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F. C.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA, J. L. de.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

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

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; DIAS, O. S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E. A. Cultivo da soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 11, p. 1477-1483, 1992.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TEIXEIRA C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. da. Resistência mecânica à penetração de um argissolo amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, n. 6, p. 1165-1167, 2003.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; NETO, A. E. F.; ANDRADE, M. J. B.; MARQUES, E. L. S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milho, feijão-de-porco e guandu em cultivo solteiro e consorciado, **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 29, n. 1, p. 93-99, 2005.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA**, v. 30, n. 1, p.55-64, 2012.

THEISEN, G.; VIDAL, R. A. Efeitos da cobertura do solo com resíduos de aveia preta nas etapas do ciclo de vida do capim-marmelada, **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 17, n. 2, p. 189-196, 1999.

TOMQUELSKI, G.V.; MARTINS, G.L.M. Eficiência de inseticidas sobre *spodoptera frugiperda* (j.e. smith, 1797) (lepidoptera: noctuidae) em milho na região dos chapadões. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 6, n. 1, p. 26-39, 2007.

TORRES, J. L. R.; CUNHA, M. A.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, D. M. da S. Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 27, n. 4, p. 117–125, 2014.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de Utilização de Cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II - Efeitos da cobertura morta, **Planta Daninha**, Viçosa - MG, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.

TSUMANUMA, G. M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias, em Piracicaba, SP**. Piracicaba, SP, 2004. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-26042005-155246/pt-br.php>>, acesso em: 01 out. 2016.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. de. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1503-1514, 2010.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORMHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

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

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 1979.

YANG, Z. P; XU, M.; ZHENG, S.; NIE, J.; GAO, J.; LIAO, Y.; XIE, J. Effects of Long-Term Winter Planted Green Manure on Physical Properties of Reddish Paddy Soil Under a Double-Rice Cropping System. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 655-664, 2012.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

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