

MARISTELA WATTHIER

**DINÂMICA DO N NO SISTEMA SOLO-PLANTA E FISIOLOGIA DO
BRÓCOLIS FERTILIZADO COM DIFERENTES PROPORÇÕES GRAMÍNEA:
LEGUMINOSA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

W344e Watthier, Maristela, 1989-
2018 Dinâmica do N no sistema solo-planta e fisiologia do
brócolis fertilizado com diferentes proporções gramínea :
leguminosa / Maristela Watthier. – Viçosa, MG, 2018.
xii, 88f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Brassica oleracea* var. *italica*. 2. Brócolis - Nutrição.
3. Adubação verde. 4. Planta - Nutrição. 5. Plantas -
Metabolismo. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22 ed. 635.357

MARISTELA WATTHIER

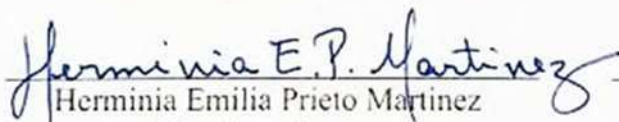
**DINÂMICA DO N NO SISTEMA SOLO-PLANTA E FISIOLOGIA DO
BRÓCOLIS FERTILIZADO COM DIFERENTES PROPORÇÕES GRAMÍNEA:
LEGUMINOSA**

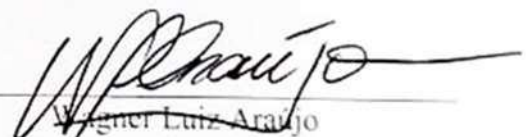
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

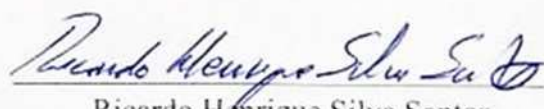
APROVADA: 28 de março de 2018.


Segundo Sacramento Urquiaga Caballero


Leonardus Vergütz


Herminia Emilia Prieto Martinez
(Coorientadora)


Wagner Luiz Araújo
(Coorientador)


Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

os meus pais, Júlio e Noelia
As minhas irmãs, Marisa, Lenir e Ivanir
Ao meu namorado, Alexandre
Esta conquista é nossa!

*“Quando não souberes para onde ir, olha para trás e saberás pelo menos de onde vens”
(Provérbio africano).*

AGRADECIMENTOS

Uma das partes mais difíceis de escrever. Talvez porque a vida não se coloca em análise de regressão e não é pelo valor p que descobrimos a significância das pessoas na nossa trajetória. Mas ao longo do tempo percebemos que não estamos sozinhos e esta tese foi uma construção conjunta de pessoas muito especiais, sem as quais eu não teria conseguido. E por isso elas merecem meu agradecimento, carinho e admiração.

A Deus pelo por me permitir chegar até aqui. “Patrão velho, muito obrigada!”

Agradeço aos meus pais e as minhas irmãs, que sempre me motivaram, entenderam as minhas faltas e o distanciamento e me mostraram o quanto é importante estudar, mesmo não tendo eles a mesma oportunidade no passado. Sim, teremos uma doutora na família. Muito obrigada!

Ao meu namorado pela paciência, companheirismo e amor nestes anos de relacionamento. Muito obrigada por tudo, te amo! Aos meus sogros pelo incentivo e ajuda.

Ao Professor Ricardo H.S. Santos, pela orientação, pelos ensinamentos, paciência, amizade, confiança, conselhos, disponibilidade, e por não ter medido esforços para ajudar-me na garantia do bom andamento da pesquisa.

Aos Professores Hermínia Martinez, Wagner L. Araújo e ao pesquisador Segundo Urquiaga por ceder o espaço dos seus laboratórios para análises e ajuda sempre que necessária.

Ao Professor Leonardo Vergütz pelas conversas e esclarecimentos sempre que se fez necessário.

A banca de qualificação e de defesa pelo tempo destinado a este trabalho e pelas preciosas contribuições.

A Universidade Federal de Viçosa pela infraestrutura disponibilizada para a condução dos experimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do doutorado e aos professores que contribuíram para minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Aos meus colegas, estagiários e amigos do laboratório de Agroecologia da UFV pela amizade, incentivo, auxílio na execução dos trabalhos e pelos momentos de convívio.

Em especial aos funcionários Mariana, José Francisco e João, vocês foram imprescindíveis na realização deste trabalho de campo e laboratório, além da amizade e companheirismo.

Ao doutorando Nain Peralta Antônio pela ajuda, conversas, incentivos e amizade. O trabalho foi atenuado com tua ajuda, muito obrigada.

Aos meus amig@s que Viçosa viciosa me proporcionou nestes quatro anos. Com vocês esse período se tornou mais leve e divertido. Vocês foram minha família e com certeza sentirei saudades de todos.

Com todos vocês aprendi que vale a pena arriscar, sair da zona de conforto e ir em busca dos nossos sonhos. Se foi fácil? Não, mas qual seria a graça se fosse. Aprendi a ser filha de longe, a amar via Skype, a fazer novas amizades, a engolir o choro e seguir em frente. Afinal...

“...Não podemos se entregar pros home

De jeito nenhum, amigo e companheiro.

Não tá morto quem luta e quem peleia...” (Joca Martins)

A todos, muito obrigada!

BIOGRAFIA

Maristela Watthier, filha de agricultores assentados da reforma agrária, Julio Watthier e Noelia Watthier, nasceu em Salto do Jacuí, RS, em 21 de março de 1989. Em janeiro de 1990 mudou-se para Canguçu, onde a família permanece até hoje.

Em março de 2004 iniciou seus estudos no Curso Técnico em Agropecuária na Escola Técnica Estadual Canguçu.

Em abril de 2007 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Pelotas e concluiu em março de 2012.

Em março de 2012 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, nível de mestrado, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação da Professora Magnólia Aparecida Silva da Silva. A dissertação foi defendida em fevereiro de 2014.

Em março de 2014 iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, MG sob orientação do Professor Ricardo Henrique Silva Santos. A defesa da tese de doutorado foi em março de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1: DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE ADUBOS VERES COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE GRAMÍNEA: LEGUMINOSA.....	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
CAPÍTULO 2: EFEITO RESIDUAL DE ADUBOS VERDES COM DIFERENTES PROPORÇÕES GRAMÍNEA: LEGUMINOSA NO CULTIVO SEQUENCIAL DE BRÓCOLIS E BRAQUIÁRIA.....	27
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1 ASPECTOS GERAIS	29
2.2 PRODUÇÃO DOS ADUBOS VERDES	31
2.3 AVALIAÇÃO DA MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS ADUBOS VERDES	31
2.4 NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO	31
2.5 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO PRIMEIRO CULTIVO DE BRÓCOLIS	32
2.6 PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS E BRAQUIÁRIA SOB EFEITO RESIDUAL DOS ADUBOS VERDES	32
2.7 ACÚMULO DE NUTRIENTES NAS PLANTAS.....	33
2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1 MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS ADUBOS VERDES	33

3.2	NUTRIENTES, pH E CE NA SOLUÇÃO DO SOLO	35
3.3	CRESCIMENTO, ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS	39
3.4	ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE BRÓCOLIS.....	45
3.5	ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E N EM BRÓCOLIS E BRAQUIÁRIA SOB EFEITO RESIDUAL DOS ADUBOS VERDES.....	49
4.	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
CAPÍTULO 3: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E METABÓLICAS EM PLANTAS DE BRÓCOLIS ADUBADAS COM DIFERENTES PROPORÇÕES GRAMÍNEA: LEGUMINOSA.....		
1.	INTRODUÇÃO	59
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.1	ASPECTOS GERAIS	61
2.2	CULTIVO DE BRÓCOLIS	62
2.3	TROCAS GASOSAS E FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A	62
2.4	ANÁLISES BIOQUÍMICAS	62
2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	63
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
3.1	TEOR DE N	63
3.2	TROCAS GASOSAS, FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E PIGMENTOS.....	64
3.3	ANÁLISES BIOQUÍMICAS	65
4.	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CAPÍTULO 4: EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DA SUCESSÃO BRÓCOLIS- BRÓCOLIS-BRAQUIÁRIA FERTILIZADA COM DIFERENTES PROPORÇÕES GRAMÍNEA: LEGUMINOSA		
1.	INTRODUÇÃO	71
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	72
2.1	ASPECTOS GERAIS	72
2.2	PRODUÇÃO DOS ADUBOS VERDES.....	73

2.3	AVALIAÇÃO DA MINERALIZAÇÃO DOS ADUBOS VERDES.....	74
2.4	CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO PRIMEIRO CULTIVO DE BRÓCOLIS	74
2.5	PRODUÇÃO DE BRÓCOLIS E BRAQUIÁRIA SOB EFEITO RESIDUAL DOS ADUBOS VERDES	75
2.6	NUTRIENTES NAS PLANTAS	75
2.7	EFICIÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES	75
2.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	76
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	DISCUSSÃO GERAL.....	87
	CONCLUSÕES GERAIS	88

RESUMO

WATTHIER, Maristela, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Dinâmica do N no sistema solo-planta e fisiologia do brócolis fertilizado com diferentes proporções gramínea: leguminosa.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Herminia Emilia Prieto Martinez e Wagner Luiz Araújo.

Entre as alternativas para substituir ou complementar a adubação mineral se encontra a adubação verde, sobressaindo as espécies de leguminosas e gramíneas puras e em misturas. Os objetivos desse trabalho foram avaliar a decomposição da massa e a mineralização de nutrientes de adubos verdes compostos por diferentes proporções de leguminosa na mistura com gramínea em condições tropicais; estudar a contribuição desses nutrientes no crescimento e produção de brócolis, na composição química da solução do solo e o efeito residual em cultivos subsequentes de brócolis e braquiária; avaliar as mudanças nas trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e o metabolismo em folhas de brócolis sob os diferentes adubos verdes e determinar a eficiência nutricional destes no cultivo de brócolis e nos cultivos subsequentes de brócolis e braquiária. Foram realizados dois experimentos em paralelo compostos por massa de feijão-de-porco (FP) e milheto (M) pura e em misturas. No primeiro, avaliou-se a decomposição da massa e mineralização de nutrientes dos adubos verdes 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, em vasos de 12L preenchidos com solo e em quantidade de massa equivalente a área do vaso. Foram feitas coletas aos 0, 40, 80, 120 e 160 dias após a aplicação dos tratamentos. O outro experimento consistiu de seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M e 100M. Os adubos verdes foram aplicados sobre o solo do vaso de 70L no mesmo dia do transplante das mudas de brócolis. Avaliou-se o efeito residual dos adubos verdes nos mesmos vasos do primeiro cultivo de brócolis, com o transplante subsequente do segundo cultivo de brócolis e, após, a semeadura de braquiária sem nenhuma adubação. Após 40 dias do transplante, foi realizada a avaliação das trocas gasosas e coleta de folhas para análises bioquímicas. Também foi feita a avaliação da eficiência nutricional do primeiro cultivo de brócolis e a de nitrogênio dos outros cultivos em sucessão. As características químicas dos adubos verdes variaram de acordo com as misturas de leguminosa e gramínea. Em 100FP houve maior teor de N, menores teores de celulose, hemicelulose e lignina, e menores relação C/N e lignina/N, e resultados opostos foram encontrados em 100M. Houve maior mineralização na maioria dos nutrientes nas maiores proporções de feijão-de-porco na mistura. Houve maior crescimento, acúmulo de matéria seca e de nutrientes na parte aérea das plantas de brócolis nas maiores

proporções de feijão-de-porco, assim como maior disponibilidade de nutrientes na solução do solo e efeito residual destes tratamentos no cultivo subsequente de brócolis e braquiária devido a maior mineralização de nutrientes, principalmente N. Maior conteúdo de proteínas, malato, glicose e aminoácidos e menor conteúdo de amido foram encontrados em folhas de brócolis, sem diferenças nas trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. De forma geral, todos os índices de eficiência foram maiores no adubo verde com maior proporção de leguminosa, intermediário nas misturas e menores no adubo verde composto unicamente por milheto. As maiores proporções de feijão-de-porco na mistura dos adubos verdes levam à maior mineralização de nutrientes e maior concentração destes na solução do solo. Em consequência, maior crescimento e produção de plantas de brócolis sustentadas pelo maior conteúdo de proteínas e aminoácidos no primeiro cultivo e com efeito residual nos cultivos subsequentes.

ABSTRACT

WATTHIER, Maristela, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **N dynamics in the soil-plant system and physiology of broccoli fertilized with different grass to legume proportions.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Herminia Emilia Prieto Martinez and Wagner Luiz Araújo.

Green manure is one of the alternatives to substitute or complement mineral fertilization, mainly the ones with pure or mixed legumes and grasses. The aims of this study were to evaluate mass decomposition and mineralization of nutrients on green manure composed of different proportions of legumes and grasses under tropical conditions; to study the contribution of these nutrients in the growth and production of broccoli, in the chemical composition of soil solution and in the residual effect on subsequent broccoli and brachiaria cultivation; to evaluate the variations on gas exchanges, chlorophyll fluorescence and biochemical activities on broccoli leaves under the use of different green manures; and to determine its nutritional efficiency on subsequent broccoli and brachiaria cultivation. Two experiments were conducted simultaneously composed of pure and mixed jack beans (JB) mass and millet (M). One to evaluate mass decomposition and mineralization of nutrients in green manures 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M and 100M, disposed in 12L vases filled with its equivalent mass in soil. Samples were collected before the treatments were applied and also 40, 80, 120 and 160 days after. The other experiment consisted of six different treatments: control, 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M and 100M. Green manures were applied on the soil in the 70L vase on the same day of broccoli seeding transplantation. After 40 days, an evaluation on gas changes was conducted and leaves were collected to biochemical analysis. Evaluations on residual effects of green manure were conducted on the same vases in the first broccoli cultivation, in the subsequent transplantation on the second broccoli cultivation and after the brachiaria sowing with no fertilization. Evaluations were also conducted to check the nutritional efficiency on the first broccoli cultivation and nitrogen on the subsequent crops. The chemical characteristics of green manures varied according to the mixtures of legumes and grasses. In 100JB, there was a higher level of N, lower levels of cellulose, hemicellulose e lignin and lower C/N and lignin/N ratios. Opposed results were found for 100M. Mineralization of great part of nutrients was higher where the amount of jack beans in the mixture was larger. There was also higher growth, dry matter and nutrients accumulation on the aerial part of broccoli when larger proportions of jack beans were present, as well as higher nutrients available on soil solution and residual effects of those treatments on the subsequent broccoli and brachiaria cultivation due to higher

mineralization of nutrients, mainly N. Larger amounts of protein, malate, glucose and aminoacids, and lower amount of amid were found in broccoli leaves, but no difference in gas changes or chlorophyll fluorescence. As a whole, all efficiency levels were higher in green manures with larger amounts of legumes, intermediate in the mixtures and lower in green manure composed solely of millet. Larger amounts of jack beans in the mixtures of green manures result in higher mineralization of nutrients and its concentration on soil solution. As a result, there was higher growth and production of broccoli sustained by larger amounts of protein, amino acids on the first cultivation and residual effects on the subsequent crops.

INTRODUÇÃO GERAL

O esgotamento do modelo de desenvolvimento da agricultura convencional bem como os sérios problemas ambientais decorrentes deste serve de fomento a sistemas de produção alternativos. Dentro desta visão, o processo de conversão do sistema convencional a um sistema sustentável, de base ecológica cumpre um papel fundamental para o futuro da produção agrícola menos contaminante ao ambiente (CORREA et al., 2013).

Cabe mencionar que o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo (IFA, 2013), o que está ligado, diretamente, à extensa produção agropecuária e à baixa eficiência da utilização de fertilizantes pelas culturas representando, assim, um dos maiores componentes do custo de produção. Embora sua aplicação aumente o rendimento das culturas, o uso de fertilizantes pode impactar o ciclo do nitrogênio (N), causar a destruição da camada de ozônio pela emissão de N_2O e amônia (OITA et al., 2016) além de ocasionar problemas de lixiviação de nitrato no solo (HAKEEM et al., 2012). Práticas de manejo que visam suprir a demanda de nutrientes pelas plantas com o mínimo de dependência de fertilizantes industrializados altamente solúveis são, portanto, uma demanda constante da agricultura. Nesse contexto, outra forma de adubar os cultivos com menor impacto ambiental é por meio de culturas de cobertura e adubos verdes, devido tanto à fixação biológica do nitrogênio (FBN) quanto à reciclagem do N mineral do solo (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; THORUP-KRISTENSEN; DRESBØLL; KRISTENSEN, 2012).

A forma de fornecer nutrientes derivados da adubação verde é a partir da mineralização dos nutrientes provenientes da decomposição de sua massa depositada no solo quando cortada ou roçada (FILLERY, 2001). A taxa pela qual os nutrientes contidos na massa dos adubos verdes são mineralizados às formas inorgânicas absorvidas pelas plantas depende, dentre outros fatores, da composição química do adubo, do manejo dos resíduos (época de corte, incorporação ou não) e, principalmente, das condições climáticas (umidade e temperatura). Sob as mesmas condições de clima e solo, as taxas de decomposição e mineralização de nutrientes são influenciadas por características químicas inerentes ao resíduo vegetal, como o teor de nitrogênio e relações C/N, principalmente nas primeiras semanas de decomposição (TRINSOUTROT et al., 2000). Em longo prazo, a mineralização de C e N é afetada pelos componentes mais

recalcitrantes tais como celulose (HADAS et al., 2004), lignina e a relação lignina/N (VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011).

A massa do adubos verdes é considerada de maior qualidade se tiver relação C/N em torno de 25 e teores de lignina menores que 15% (PALM et al., 2001), o que acelera a decomposição e é, portanto, mais provável que resulte na mineralização líquida de N, o qual poderá ser disponibilizado às plantas (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; TOSTI et al., 2012). Por outro lado, se a biomassa tiver relação C/N maior do que 30, ocorrerá imobilização de N pela biomassa microbiana, diminuindo a sua disponibilidade para as culturas sequenciais (GABRIEL; MUÑOZ-CARPENA; QUEMADA, 2012). Contudo, se houver rápida mineralização de N e esta não estiver sincronizada com a demanda nutricional da cultura ou se estiver em excesso, o nutriente pode ser facilmente perdido no ambiente, principalmente por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia ou incorporado às frações da matéria orgânica do solo.

O potencial de mineralização e imobilização no solo do N proveniente de leguminosas, avaliado durante sete semanas, resultou em maior mineralização na primeira semana, seguida de mineralização negativa devido à imobilização, que predominou especialmente até a terceira ou quinta semana e após esse período de imobilização, o nitrogênio voltou à mineralização positiva, ficando potencialmente disponível às culturas (MATOS et al., 2008). Tais resultados sugerem um significativo efeito residual dos adubos verdes, os quais poderiam ser evidenciados em cultivos sequenciais, pois durante o ciclo da cultura apenas parte do nitrogênio derivado da adubação verde pode ser considerada no suprimento de nitrogênio à cultura (MATOS et al., 2008). A outra parte, não aproveitada no primeiro ciclo de cultivo, pode ser aproveitada em cultivos subsequentes devido ao efeito residual na produção e crescimento, por exemplo, de hortaliças em cultivos sequenciais (CAMPIGLIA; MANCINELLI; RADICETTI, 2011; DINIZ et al., 2017; VARGAS et al., 2017).

Uma estratégia para modificar a qualidade da massa utilizada como adubo verde e reduzir a imobilização de N é a utilização de misturas de plantas leguminosas e não-leguminosas (ODHIAMBO, 2011). Leguminosas são mais utilizadas para a adubação verde, já que além de fixar, acumular e fornecer grandes quantidades de N via fixação biológica (CAMPIGLIA et al., 2010; CREWS; PEOPLES, 2004), atuam também na ciclagem do N e de outros nutrientes concentrando-os nas camadas superficiais do solo (TOSTI et al., 2014). Espécies não-leguminosas são utilizadas principalmente para prevenir a erosão do solo, capturar e reduzir a lixiviação de N para o lençol freático

(CONSTANTIN et al., 2011) e também para a nutrição de culturas, quer em plantios puros ou em consórcio com leguminosas (BENINCASA et al., 2010; BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013).

O uso de misturas de leguminosas e não-leguminosas leva à modificação da composição bioquímica da massa da parte aérea dos adubos verdes (TOSTI; BENINCASA; GUIDUCCI, 2010), o que afeta a mineralização do N e sua disponibilidade para a cultura subsequente, acarretando, possivelmente, em aumentos na produtividade (SUMMERS et al., 2014; TOSTI et al., 2014). A maior produtividade das de cultivos após misturas se deve ao fato de que estas modificam a mineralização e o suprimento de N para a cultura principal (BENINCASA et al., 2012; TOSTI et al., 2014; XAVIER et al., 2013), fornecem o N de forma mais estável ao longo do tempo (KRAMBERGER et al., 2013), reduzem o risco de lixiviação (TOSTI et al., 2014), auxiliam no controle de plantas espontâneas (CORRE-HELLOU et al., 2011), aumentam o estoque de carbono no solo (XAVIER et al., 2013) e diminuem a necessidade de fertilizantes sintéticos e, com isso, aumentam a sustentabilidade do sistema (MARIOTTI et al., 2015; MURAMOTO et al., 2011).

Com a variação nas taxas de mineralização e imobilização dos diferentes adubos verdes, a disponibilidade de nutrientes para a absorção pelas plantas também será alterada. Uma das maneiras de avaliar a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas é através da análise química da solução do solo, sendo que os extratores de cápsula cerâmica porosa vêm sendo utilizados por pesquisadores e agricultores que monitoram a fertirrigação. A solução do solo tem composição variável ao longo do tempo e espaço, pois existe uma série de processos dinâmicos entre as diferentes fases do solo (sólida, líquida e gasosa). Além disso, há a interação destes processos com a planta, envolvendo a absorção de nutrientes pelas raízes e seu subsequente transporte para a parte aérea (PÉREZ; RIGO; MARQUES, 2015).

A eficiência do uso de nutrientes em plantas é influenciada pelas interações da planta com variáveis ambientais, como radiação solar, temperatura, precipitação e disponibilidade de nutrientes. As diferenças na eficiência do uso de nutrientes e nos parâmetros de absorção de nutrientes são atribuídas às diferenças de crescimento, produção de matéria seca, demanda de nutrientes pela parte aérea, absorção e assimilação de nutrientes e interações ambientais (FAGERIA; BALIGAR; LI, 2014). Existem vários índices para medir a capacidade das plantas em utilizar um nutriente específico. Entre eles estão a eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação

(FAGERIA, 1998). A eficiência agrônômica é definida como a produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado, ao passo que a eficiência fisiológica é definida como o acúmulo de matéria seca obtido por unidade de nutriente absorvido e a eficiência de recuperação é definida como a quantidade de nutriente absorvido por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA; MORAIS; SANTOS, 2010).

A maior eficiência nutricional das plantas contribuiu para maior acúmulo de matéria seca, principalmente na parte comercial (eficiência agrônômica) quando a mineralização de nutrientes derivado da adubação verde ocorre em sincronia com a demanda da cultura. Contudo, a eficiência de recuperação do N pelas culturas é cerca de 50% da adubação mineral nitrogenada solúvel, variando de acordo com a espécie sendo, por exemplo, 56% para o milho, 36% para o arroz, e 48% para o trigo (LADHA et al., 2016). O aproveitamento do N derivado de adubos verdes pelas culturas é muito variável, com relatos de 10 a 75%, pois vários fatores a influenciam, desde os intrínsecos de cada planta até os ambientais que interferem na mineralização dos nutrientes oriundos da decomposição da massa dos adubos verdes. O N não absorvido pelas plantas pode ser perdido ou ficar indisponível temporariamente às culturas no solo. Assim, a capacidade de fornecimento de nutrientes dos adubos verdes pode ocorrer não somente no primeiro cultivo, mas nos cultivos sequenciais.

A eficiência fisiológica e de recuperação de N estão associados a diferentes processos fisiológicos: sistemas de absorção mais ativos e melhor exploração do solo pelas raízes e estímulo a atividade fotossintética/metabólica, bem como a remobilização eficiente de N entre os órgãos. Para ambos os aspectos, no entanto, sabe-se que as plantas são capazes de alcançar uma melhor eficiência de uso de N quando enfrentam condições limitantes de N (KANT et al. 2011) seja por regulação dos sistemas de absorção de N, plasticidade da arquitetura do sistema radicular e/ou mudança rápida do crescimento da parte aérea (NACRY; BOUGUYON; GOJON, 2013).

Os processos fisiológicos relacionados à eficiência fisiológica de N estão associados à absorção e metabolismo no nutriente na planta. As principais formas de absorção de N são o nitrato e amônio, sendo o nitrato a forma predominante nos solos. Após absorção de nitrato pelas raízes, uma vez no interior celular, o nitrato é reduzido a nitrito pela Nitrato Redutase (NR) e o nitrito é reduzido a amônia pela Nitrito Redutase (NiR). A amônia gerada é incorporada ao aminoácido glutamato para gerar glutamina pelo ciclo GS/GOGAT. As reações subsequentes transferem o N assimilado para outros aminoácidos ou biomoléculas (KRAPP, 2015), como proteínas, ou então o N é convertido

nos correspondentes cetoácidos que podem fornecer esqueletos de carbono para os metabolismos do N e do C (WANG et al., 2003). O N também faz parte da enzima Rubisco e na biossíntese da molécula de clorofila na folha, tendo assim, forte influência sobre as taxas fotossintéticas. Desta forma, situações de suprimento inadequado de N podem resultar em decréscimo na atividade fotossintética foliar e na eficiência fotoquímica do fotossistema II (EVANS, 1989). A fluorescência da clorofila *a* é uma técnica que avalia a atividade do fotossistema II (FSII), fornecendo informações sobre o estado do aparato fotossintético (THOREN; THOREN; SCHMIDHALTER, 2010), considerando aspectos funcionais e estruturais. Além disso, é também um indicador mais amplo das respostas das plantas às mudanças ambientais (MURCHIE; LAWSON, 2013). A combinação dessa técnica com a avaliação das trocas gasosas possibilita a compreensão do metabolismo fotossintético, associando reações fotoquímicas e bioquímicas da fotossíntese (MARTINAZZO et al., 2013).

Diante do exposto, as hipóteses deste trabalho são de que as misturas entre gramíneas e leguminosas afetam a mineralização de nutrientes, sendo esta mais lenta do que aquela que ocorre com os adubos verdes compostos por leguminosas puras e mais rápidas do que a que ocorre quando se emprega gramínea pura. Em conjunto, a velocidade de mineralização influenciará na quantidade de nutrientes disponíveis na solução do solo, no crescimento, acúmulo de matéria seca e nutrientes e produção de plantas em dois cultivos sequenciais de brócolis e de braquiária.

Para testar essa hipótese um experimento foi elaborado com o objetivo de estudar a decomposição da massa e mineralização de nutrientes de adubos verdes compostos por leguminosa pura e em mistura com gramínea em condições tropicais ao longo de 160 dias, em casa de vegetação. Foi possível observar que as características químicas dos adubos verdes influenciam na decomposição da massa e mineralização dos nutrientes, principalmente o teor de N, lignina e lignina/N e que estas características são alteradas de acordo com a mistura entre gramínea e leguminosa. Os adubos verdes com maiores proporções de leguminosa apresentaram a maior velocidade e taxa de mineralização de N e K, principalmente (Capítulo 1).

Em um experimento paralelo investigou-se como a mineralização de nutrientes dos diferentes adubos verdes influencia a concentração de nutrientes da solução do solo ao longo do desenvolvimento de dois cultivos sequenciais de brócolis. Também foi estudado como o crescimento e desenvolvimento destas plantas são afetadas e se existe efeito residual dos diferentes adubos verdes no cultivo sucessivo de brócolis-brócolis-

braquiária. Foi constatado que as diferentes fontes de fertilização alteraram a quantidade de nutrientes na solução do solo, principalmente N e, em consequência, houve maior acúmulo de matéria seca, nutrientes e produção de plantas de brócolis fertilizadas com maiores proporções de leguminosa e que este efeito permanece no cultivo residual de brócolis e braquiária (Capítulo 2).

Aos 40 dias após o transplante das mudas de brócolis avaliaram-se os impactos das misturas de gramínea e leguminosa nas trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e atividade bioquímica em folhas de brócolis. Neste trabalho verificou-se que a taxa de transporte de elétrons, o coeficiente de extinção fotoquímico e o rendimento quântico do fotossistema II foi maior em plantas fertilizadas com leguminosa pura sem, contudo, observar-se alterações na taxa fotossintética. Verificou-se ainda maiores conteúdos de glicose, malato e proteína e menor conteúdo de amido em folhas de brócolis (Capítulo 3).

O Capítulo 4 trata da avaliação da eficiência nutricional de plantas de brócolis fertilizado com adubos verdes com diferentes proporções de gramínea e leguminosa e seu efeito residual nos cultivos subsequentes de brócolis e braquiária. Verificou-se que as maiores proporções de leguminosa na mistura levaram a maior eficiência agrônômica, fisiológica e de recuperação de todos os nutrientes no primeiro cultivo de brócolis com efeito similar nos cultivos residuais.

Tomados em conjunto, os resultados obtidos sugerem que adubos verdes compostos com as maiores proporções de leguminosa são os mais indicados quando se objetiva a rápida mineralização e disponibilidade de nutrientes para a cultura principal. Por outro lado, adubos verdes com maior proporção de milho são indicados para proteção do solo contra erosão uma vez que sua massa permanece por mais tempo sobre o solo em função de uma decomposição da massa e mineralização de nutrientes mais lenta. Uma discussão pormenorizada com mais detalhes pode ser encontrada no Capítulo 5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENINCASA, P. et al. Actual N availability from winter catch crops used for green manuring in maize cultivation. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 34, n. 7, p. 705–723, 2010.
- BENINCASA, P. et al. Early interspecific interference in the wheat/faba bean (*Triticum aestivum*/*Vicia faba* ssp. *minor*) on rapeseed/squarrosun clover (*Brassica napus* var. *oleirifera*/*Trifolium squarrosum*) intercrops. **Italian Journal of Agronomy**, v. 7, p. 171–177, 2012.
- BRENNAN, E. B.; BOYD, N. S.; SMITH, R. F. Winter cover crop seeding rate and variety effects during eight years of organic vegetables : III. Cover crop residue quality and nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 171–182, 2013.
- CAMPIGLIA, E. et al. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 94–102, 2010.
- CAMPIGLIA, E.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato. (*Solanum lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 3, p. 588–598, 2011.
- CONSTANTIN, J. et al. Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. **Plant and Soil**, v. 341, n. 1–2, p. 137–154, 2011.
- CORRE-HELLOU, G. et al. The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. **Field Crops Research**, v. 122, n. 3, p. 264–272, jun. 2011.
- CREWS, T. .; PEOPLES, M. . Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 102, n. 3, p. 279–297, 2004.
- DINIZ, E. R. et al. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600–606, 2017.
- FAGERIA, N. K. Optimizing nutrient use efficiency in crop production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 62, p. 6–16, 1998.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; LI, Y. C. Nutrient uptake and use efficiency by tropical legume cover crops at varying pH of an oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 2, p. 294–311, 2014.
- FAGERIA, N. K.; MORAIS, D.; SANTOS, A. B. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, p. 1696–1711, 2010.
- FILLERY, I. R. P. The fate of biologically fixed nitrogen in legume-based dryland farming systems: a review. **Australian Journal of Crop Science**, v. 41, p. 361–381, 2001.
- GABRIEL, J. L.; MUÑOZ-CARPENA, R.; QUEMADA, M. The role of cover crops in irrigated systems: Water balance, nitrate leaching and soil mineral nitrogen accumulation.

Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 155, n. 3, p. 50–61, 2012.

HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 255–266, 2004.

HAKEEM, K. R. et al. Physiological and Molecular Analysis of Applied Nitrogen in Rice Genotypes. **Rice Science**, v. 19, n. 3, p. 213–222, 2012.

KRAMBERGER, B. et al. Environmental advantages of binary mixtures of *Trifolium incarnatum* and *Lolium multiflorum* over individual pure stands. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 1, p. 22–28, 2013.

KRAPP, A. Plant nitrogen assimilation and its regulation: A complex puzzle with missing pieces. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 25, p. 115–122, 2015.

LADHA, J. K. et al. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. **Scientific Reports**, v. 6, n. October 2015, p. 19355, 2016.

MARIOTTI, M. et al. Nitrogen leaching and residual effect of barley / field bean intercropping. v. 61, n. 2, p. 60–65, 2015.

MARTINAZZO, E. G. et al. Photosynthetic activity in japanese plum under water deficit and flooding. **Ciência Rural**, v. 43, p. 35–41, 2013.

MATOS, E. D. S. et al. Green manure in coffee systems in the region of zona da mata, minas gerais: Characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2027–2035, 2008.

MURAMOTO, J. et al. Nitrogen contribution of legume/cereal mixed cover crops and organic fertilizers to an organic broccoli crop. **HortScience**, v. 46, n. 8, p. 1154–1162, 2011.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3983–3998, 2013.

NACRY, P.; BOUGUYON, E.; GOJON, A. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanisms ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. **Plant and Soil**, v. 370, p. 1–29, 2013.

ODHIAMBO, J. J. O. Potential use of green manure legume cover crops in smallholder maize production systems in Limpopo province, South Africa. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 1, p. 107–112, 2011.

OITA, A. et al. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. **Nature Geoscience**, v. 9, n. January, p. 6–10, 2016.

PALM, C. A. et al. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 27–42, jan. 2001.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. I, p. 83–88, 1991.

PÉREZ, D. V.; RIGO, M. M.; MARQUES, M. C. Fase Líquida: a solução do solo. In: **Recurso solo: propriedades e usos**. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 222–249.

SUMMERS, C. F. et al. Single season effects of mixed-species cover crops on tomato health (cultivar Celebrity) in multi-state field trials. **Applied Soil Ecology**, v. 77, p. 51–58, 2014.

THOREN, D.; THOREN, P.; SCHMIDHALTER, U. Influence of ambient light and temperature on laser-induced chlorophyll fluorescence measurements. **European Journal of Agronomy**, v. 32, p. 169–176, 2010.

THORUP-KRISTENSEN, K.; DRESBØLL, D. B.; KRISTENSEN, H. L. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. **European Journal of Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 66–82, 2012.

TOSTI, G. et al. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 136–146, 2012.

TOSTI, G. et al. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p. 34–39, 2014.

TOSTI, G.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Competition and Facilitation in Hairy vetch-Barley intercrops. **Italian Journal of Agronomy**, v. 3, p. 239–247, 2010.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 918–926, 2000.

VAHDAT, E.; NOURBAKHSH, F.; BASIRI, M. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 243–246, 2011.

VARGAS, T. DE O. et al. Green manure-15N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209–213, 2017.

WANG, R. et al. Microarray analysis of the nitrate response in Arabidopsis roots and shoots reveals over 1,000 rapidly responding genes and new linkages to glucose, trehalose-6-phosphate, iron, and sulfate metabolism. **Plant physiology**, v. 132, p. 556–567, 2003.

XAVIER, F. A. D. S. et al. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 165, p. 173–183, 2013.

Capítulo 1: Decomposição e mineralização de nutrientes de adubos verdes com diferentes proporções de gramínea: leguminosa

RESUMO: Este estudo avaliou a decomposição da massa e mineralização de nutrientes de adubos verdes compostos por leguminosa pura e em mistura com gramínea em condições tropicais. O experimento em vaso foi conduzido no período de junho a novembro de 2016, em casa de vegetação. Os tratamentos foram baseados na proporção de feijão-de-porco (FP) e milheto (M) fornecendo a mesma quantidade total de N: 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com três repetições, em delineamento em blocos casualizados. Foram feitas coletas aos 0, 40, 80, 120 e 160 dias após a aplicação dos tratamentos. Após coleta, as amostras foram secas e moídas para determinação dos teores de C e de N, K, Ca, Mg, S, celulose, hemicelulose e lignina e calculadas as relações C/N, C/S e lignina/N na matéria seca, determinada a matéria seca remanescente não decomposta e a taxa de mineralização de nutrientes dos adubos verdes. As características químicas variaram de acordo com as misturas de leguminosa e gramínea. Em 100FP houve maior teor de N, menores teores de celulose, hemicelulose, lignina, relação C/N e lignina/N, e resultados opostos foram encontrados em 100M. O processo de mineralização de N foi positivamente correlacionado pelas concentrações de N total (0,76, $p < 0,01$) e negativamente influenciado pelo teor de lignina (-0,91, $p < 0,001$) e as relações C/N (-0,84, $p < 0,001$) e lignina/N (-0,94, $p < 0,001$). Quanto maior a proporção de feijão-de-porco na mistura, maiores as taxas de decomposição da massa e mineralização de N, Ca, Mg e S. Os teores de N e de lignina da massa e as relações C/N e lignina/N são os fatores mais importantes para predizer a mineralização de N de adubos verdes em condições tropicais.

Palavras-chave: *Canavalia ensiformis*, *Pennisetum glaucum*, celulose, lignina, relação C/N

ABSTRACT: This study evaluated the mass decomposition and nutrient mineralization of green manures composed by different mixtures of pure legume and grass in tropical conditions. The experiment was carried out in pots from June to November 2016, in a greenhouse. The treatments were based on the proportion of jack bean (JB) and millet (M) providing the same total amount of N: 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M, 100M, with three replications, in a randomized complete block design. Samples were collected at 0, 40, 80, 120 and 160 days after application of the treatments. After collection, the samples were dried and ground to determine the content of C, N, K, Ca,

Mg, S, cellulose, hemicellulose and lignin contents and, then calculated the C/N, C/S and lignin/N ratios, determined the remaining non-decomposed dry matter and the rate of mineralization of nutrients of green manures. The chemical characteristics varied according to the legume and grass mixtures. In 100JB there was higher N content, lower contents of cellulose, hemicellulose, lignin, C/N and lignin/N ratio, and the opposite results were found in 100M. The N mineralization process was positively correlated by total N concentrations (0.76, $p < 0.01$) and negatively influenced by lignin content (-0.91, $p < 0.001$) and C/N (-0.84, $p < 0.001$) and lignin/N (-0.94, $p < 0.001$). The higher proportion of jack bean in the treatments, the higher the rates of mass decomposition and mineralization of N, Ca, Mg and S. The N and lignin contents of the mass and C/N and lignin/N ratios are the most important factors to predict the N mineralization of green manures under tropical conditions.

Keywords: *Canavalia ensiformis*, *Pennisetum glaucum*, cellulose, lignin, hemicellulose, C/N ratio

1. INTRODUÇÃO

O fornecimento de nutrientes derivados da adubação verde ocorre a partir da mineralização dos nutrientes provenientes da decomposição de sua massa quando cortada ou roçada (TEI; NICOLA; BENINCASA, 2017). Os processos de decomposição da massa e mineralização do nitrogênio são influenciados pelas características químicas da biomassa (RADICETTI et al., 2017), como o teor de nitrogênio e relações C/N, principalmente nas primeiras semanas de decomposição (TRINSOUTROT et al., 2000). Em longo prazo, a mineralização de C e N é afetada pela concentração de componentes mais recalcitrantes, tais como celulose (HADAS et al., 2004), lignina e a relação lignina/N (VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011).

A massa dos adubos verdes é considerada de maior qualidade se tiver relação C/N em torno de 25 e teores de lignina abaixo de 15% (PALM et al., 2001). Tais características aceleram a decomposição e é, portanto, mais provável que resultem na mineralização líquida de N, o qual poderá ser disponibilizado às plantas (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; TOSTI et al., 2012). Por outro lado, se a biomassa tiver relação C/N maior do que 25, ocorrerá imobilização de N pela biomassa microbiana, diminuindo a sua disponibilidade para os cultivos sequenciais (GABRIEL; QUEMADA, 2011). Portanto, em um ambiente específico, é importante a escolha das espécies, devido à variação na qualidade da massa no momento do corte (RADICETTI et al., 2017; WANG; SAINJU, 2014).

Leguminosas são mais utilizadas para adubação verde, pois acumulam grandes quantidades de N na sua massa (CAMPIGLIA et al., 2010; CREWS; PEOPLES, 2004). Além disso, as leguminosas fornecem biomassa com baixa relação C/N, levando à rápida mineralização de N após a incorporação e a efeitos positivos na nutrição nitrogenada já nos estágios iniciais de crescimento da cultura principal (RADICETTI et al., 2017). Entretanto, a mineralização muito rápida das leguminosas pode prejudicar as espécies de ciclo mais longo ou o cultivo subsequente, que pode apresentar deficiência de N (GASKELL; SMITH, 2007).

Espécies não-leguminosas são utilizadas principalmente para prevenir a erosão do solo, capturar e reduzir a lixiviação de N para o lençol freático (CONSTANTIN et al., 2011). No entanto, a alta relação C/N da massa leva a taxas baixas de mineralização, o que geralmente resulta em imobilização de N no solo. Por isso, essas espécies podem causar deficiência de N na cultura principal durante os estágios iniciais de crescimento (CAMPIGLIA et al., 2014a, 2014b).

O uso de misturas de leguminosas e não-leguminosas leva à modificação da composição da massa que será adicionada no solo, principalmente sua relação C/N, lignina e celulose (TOSTI; BENINCASA; GUIDUCCI, 2010), o que pode favorecer uma mineralização de N mais equilibrada ao longo do tempo, fornecendo quantidades necessárias para satisfazer as necessidades do cultivo subsequente (TOSTI et al., 2012), acarretando em aumento da produtividade e/ou da produção de serviços ambientais tais como a redução na lixiviação de N e acúmulo de C no solo (KRAMBERGER et al., 2013; SUMMERS et al., 2014; TOSTI et al., 2014).

Estudos com espécies de leguminosas e gramíneas de verão pura e em misturas e cultivadas em condições tropicais são escassos. Com isso, o objetivo do estudo foi avaliar a decomposição da massa e a mineralização de nutrientes provenientes dos adubos verdes feijão-de-porco e milheto puros e em misturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil, localizada a 20°45'14" S e 42°52'53" W, a 650 m de altitude, no período de junho a novembro de 2016. A temperatura e a umidade relativa média dentro da casa de vegetação foi de 25,7 °C e 59,7%, respectivamente.

Utilizou-se feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*, (L.) DC) como espécie leguminosa e milheto (*Penisetum glaucum*, (L.) R. Br.) como espécie gramínea. Os

adubos verdes foram cultivados no campo, com o corte da parte aérea das plantas aos 60 e 57 dias após a semeadura, respectivamente seguido de fragmentação em pedaços de 8 cm. A massa foi seca e amostras foram retiradas, colocadas em estufa a 65 °C até massa constante para a determinação da matéria seca. Posteriormente as amostras foram trituras e determinados o teor de N-total pelo método Kjeldahl (TEDESCO, 1995). Para os demais nutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e posterior determinação dos teores de K, P, Ca, Mg e S (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milho (M) puro e em misturas, totalizando cinco tratamentos: 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com três repetições, sendo 100, 75, 50, 25 e 0 (zero) o percentual de N em cada tratamento. O feijão-de-porco apresentava 3,3% de N e o milho 1,2% de N e em função disso calculou-se a quantidade de massa de cada tratamento (Tabela 1), sendo que a quantidade total de N foi a mesma em todos os tratamentos (1,5 gramas/vaso).

Tabela 1: Matéria seca do feijão-de-porco (MSFP), de milho (MSM), total (MST) e quantidade de N (N) depositada em cada vaso (12 L) de acordo com o tratamento.

Tratamento	MSFP (N) (g/vaso)	MSM (N) (g/vaso)	MST (N) (g/vaso)
100FP	42,40 (1,50)	0,00 (0,00)	42,40 (1,50)
75FP25M	31,87 (1,13)	28,93 (0,37)	60,80 (1,50)
50FP50M	21,20 (0,75)	57,86 (0,75)	79,06 (1,50)
25FP75M	10,60 (0,38)	86,46 (1,12)	97,06 (1,50)
100M	0,00 (0,00)	116,00 (1,50)	116,00 (1,50)

100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M). O valor entre parênteses se refere a quantidade de N adicionada ao vaso.

A parcela experimental consistiu de vasos de 12 L, os quais foram preenchidos com solo (Tabela 2). Os adubos verdes foram aplicados sobre o solo na mesma proporção caule: folha obtidos no campo e cobertos com tela de náilon com malha de 4 mm. Efetuou-se irrigação manual de acordo com a observação visual, com sistema aberto, sem recolhimento da água drenada.

Tabela 2: Análise química do solo.

pH	MO dag kg ⁻¹	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-Rem mg/L
							cmol _c /dm ³					
6,09	2,28	19,5	186	3,64	0,77	0,00	4,3	4,89	4,89	9,19	53,2	30

A decomposição do adubo verde foi avaliada pela redução de massa remanescente na superfície do solo ao longo do tempo. As amostras dos tratamentos foram coletadas aos 0; 40; 80; 120 e 160 dias após a instalação do experimento. Após a coleta, as amostras foram limpas, retirando-se partículas de solo aderidas a massa e colocadas para secar a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar até massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas e moídas para análises posteriores.

O teor total de N foi analisado pelo método Kjeldahl. Os teores dos demais nutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinados os teores de P por espectrofotômetro, K por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e S por turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989) e teor de carbono pelo método Walkley-Black com calor externo (MENDONÇA; MATOS, 2005), sendo calculada a relação C/N e C/S. Os teores de lignina, celulose e hemicelulose foram determinados seguindo o método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970). Os nutrientes mineralizados foram calculados pela diferença entre a quantidade de nutrientes na matéria seca inicial e a final. A correlação linear de Pearson entre as variáveis foi realizada no programa OriginPro 7.0®.

A constante de decomposição da massa e da mineralização de nutrientes (k) foi estimada usando a regressão exponencial negativa de primeira ordem: $MSR_t = M_0 \times \exp(-kt)$ (Equação 1), onde MSR_t é a matéria seca remanescente no tempo t e M_0 é matéria seca inicial (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979). A partir dos valores da constante de decomposição da massa e do N em cada compartimento, calculou-se o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) dos nutrientes e da massa do material, pela fórmula $t_{1/2} = \ln 0,5/k$ (PAUL; CLARK, 1996).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância em parcela subdivida no tempo e quando a interação foi significativa efetuou-se a análise de regressão com auxílio dos programas SAS 9.0 e OriginPro 7.0®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição inicial dos adubos verdes variou de acordo com as misturas entre feijão-de-porco e milho (Tabela 3). O adubo verde 100FP apresentou os maiores teores de N e Ca, os quais reduziram com o aumento da proporção de milho. Os teores de K, Mg e S foram semelhantes entre os adubos verdes (Tabela 3). A relação C/N foi maior no milho puro (100M) e menor no 100FP, enquanto que nas misturas as relações C/N

situaram-se em valores intermediários ao do feijão-de-porco e do milho puros. A relação C/S foi semelhante entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3: Características químicas iniciais dos diferentes adubos verdes. Carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N (C/N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), relação C/S, celulose (Cel), hemicelulose (Hem), lignina (Lig), relação lig/N.

Tratamento	C	N	C/N	K	Ca	Mg	S	C/S	Cel	Hem	Lig	Lig/N
	%			g/kg					%			
100FP	38,5	3,3	11,8	17,7	4,5	1,4	2,3	167,3	17,8	20,9	6,9	2,1
75FP25M	38,4	2,2	17,5	19,4	3,6	1,9	2,6	147,6	27,4	28,5	8,2	3,6
50FP50M	38,4	1,8	20,6	15,6	2,4	1,8	2,4	160,0	23,8	28,0	9,8	4,7
25FP75M	38,8	1,7	22,0	15,0	1,8	1,9	2,3	168,7	29,9	30,8	10,2	5,7
100M	39,4	1,3	28,4	18,4	1,5	2,2	2,6	151,5	27,1	30,3	18,7	12,8

100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

A relação C/N do tratamento 25FP75M está próximo do valor considerado ideal para que se obtenha equilíbrio entre mineralização e imobilização, que é de 25 (HANDAYANTO; GILLER; CADISCH, 1997). A relação C/N nos tratamentos 100FP, 75FP25M e 50FP50M e 100M estão abaixo e acima do ideal, respectivamente. Adubos verdes com baixa relação C/N podem levar à perda de N por lixiviação ou volatilização, pois a quantidade de N contido no material em decomposição pode ser maior do que o requerido pelos microrganismos e pelas culturas (CONGREVES; VAN EERD, 2015). Já em adubos verdes com alta relação C/N, como o 100M, há decomposição lenta da massa e o requerimento de N pelos microrganismos pode ser maior que o N fornecido pelo AV e, conseqüentemente, o N do solo é imobilizado em biomassa microbiana ou na MOS, sendo prejudicial do ponto de vista agrônomo (CONGREVES; VAN EERD, 2015). Adubos verdes com composição similar à apresentada em 50FP50M, 25FP75M são propícios para criar uma cobertura de proteção contra a erosão e evaporação em sistemas de plantio direto, mas também proporcionariam menos nutrientes disponíveis para as culturas imediatamente subsequentes (HIEL et al., 2016).

A relação C/S de todos adubos verdes foi menor de 200, o que favorece a mineralização de S (VALADARES et al., 2016). Mas, assim como a do N, a mineralização do S é influenciada pela composição química dos adubos verdes e do solo. Além disso, o S mineralizado pode não estar em sincronia com a demanda da cultura e o S mineralizado pode ser absorvido pelos microrganismos do solo como fonte de energia

ou precursores metabólicos. Após esse processo os íons em excesso são disponibilizados na solução do solo e podem ser absorvidos pelas plantas (VALADARES et al., 2016).

Os teores iniciais de celulose, hemicelulose, lignina e lignina/N foram menores no tratamento 100FP e, de maneira geral, aumentaram à medida que se diminuiu a quantidade de leguminosa na mistura (Tabela 3).

O maior teor de N, menor relação C/N, celulose, hemicelulose e lignina no 100FP resultou em rápida mineralização de N durante a decomposição da massa (Figura 1) e está de acordo com pesquisas anteriores (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; GIACOMINI et al., 2003; TOSTI et al., 2012). Isso ocorre porque feijão-de-porco puro (100FP) têm menores proporções de compostos de difícil decomposição pelos microrganismos como a lignina. A lignina é decomposta por microrganismos especializados, predominantemente fungos, capazes de sintetizar enzimas extracelulares que quebram essas estruturas em formas biologicamente utilizáveis (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979), por isso a degradação da lignina é mais lenta que a da celulose e hemicelulose. Assim, quanto maior o teor de lignina e lignina/N, menor é a decomposição da matéria seca e a mineralização do N, como verificado neste trabalho nos adubos verdes com maiores proporções de milho (Figura 1).

Houve correlação positiva entre N mineralizado (Nmin) e teor de N dos adubos verdes (0,767, $p < 0,01$) e correlação negativa entre Nmin e C/N, lignina e lignina/N (-0,841, -0,919, -0,944, $p < 0,001$) (Tabela 4). Entretanto, houve menor correlação do Nmin entre hemicelulose (-0,587, $p < 0,05$) e não houve correlação com a celulose (Tabela 4).

Tabela 4: Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as características iniciais dos adubos verdes e entre estas e a mineralização líquida de N (Nmin).

	Nmin	N (%)	C/N	Cel	Hem	Lig	Lig/N
N min							
N (%)	0,767 **						
C/N	-0,841 ***	-0,949 ***					
Cel	-0,247	-0,633 *	0,527 *				
Hem	-0,587 *	-0,902 ***	0,758 **	0,538 *			
Lig	-0,919 ***	-0,770 ***	0,863 ***	0,162	0,543 *		
Lig/N	-0,944 ***	-0,801 ***	0,895 ***	0,202	0,575 *	0,990***	

N(%): Porcentagem inicial de Nitrogênio; C/N: relação Carbono/Nitrogênio; Cel: Celulose; Hem: Hemicelulose; Lig: Lignina. *, ** e *** representam significância da correlação a $p < 0,05$, 0,01 e 0,001, respectivamente.

O processo de mineralização de N dos diferentes adubos verdes foi correlacionado positivamente pelas concentrações de N total na massa e negativamente pelos teores de hemicelulose, lignina e pelas relações C/N e lignina/N (Tabela 4), sendo estes resultados

semelhantes à estudos anteriores (AUSTIN; BALLARÉ, 2010; HALDE; ENTZ, 2016; TOSTI et al., 2012; VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011). A relação C/N influencia a mineralização de N pois em C/N altas como no milho puro (100M), há uma limitação de N aos microrganismos do solo, os quais geralmente são fungos decompositores que promovem uma baixa mineralização de nutrientes e incremento no sequestro de C do solo. Por outro lado, adubos verdes com baixas relações C/N, como nos adubos verdes 100FP e 75FP25M promovem uma via de decomposição bacteriana com rápida mineralização de nutrientes e aumento da respiração de carbono (CHAUVIN et al., 2015). A maior relação entre N_{min} e lignina/N do que com C/N decorre do fato das moléculas contendo N poderem se ligar à lignina (REEVES, 1993; VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011). Estudo realizado com oito espécies (gramíneas e leguminosas) mostrou que a relação lignina/N descreveu 94,9% das variações do N mineralizado no solo (VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011). Isso ocorre porque a lignina forma uma barreira estrutural nos tecidos em decomposição que impede o acesso de enzimas à maior parte dos compostos lábeis de carbono, ou seja, há uma resistência à degradação microbiana e com isso diminui a velocidade de mineralização de N (AUSTIN; BALLARÉ, 2010). Portanto, a composição química inicial dos adubos verdes influencia diretamente na mineralização de N e esse efeito pode ser aumentado em situações em que os resíduos de plantas não são incorporados no solo, situação neste trabalho e já observado anteriormente por Redin et al. (2014). Por isso, nos adubos verdes com maiores proporções de milho houve menor mineralização de N e maior tempo de permanência da massa sobre o solo (tempo de meia vida) (Tabela 5) devido ao maior teor de lignina, lignina/N e C/N, sendo esta característica importante para preservação da umidade do solo e proteção do solo contra a erosão. Por outro lado, a utilização do feijão-de-porco puro como adubo verde resultou em maior mineralização de N e aumento do teor e disponibilidade de N nos solos, com o inconveniente da sua rápida decomposição, o que propiciará pouca cobertura ao solo.

Para a mesma quantidade de N adicionado nos vasos, as misturas de leguminosas e gramíneas apresentaram diferentes cinéticas de decomposição de suas massas e mineralização de nutrientes (Figura 2). A decomposição da massa e mineralização do N foi mais rápida nos adubos verdes 100FP e 75FP25M (Figura 2A e 2B). O tempo de meia vida da decomposição da massa e de mineralização do N do adubo verde foram menores no 100FP e aumentaram com o aumento da proporção da gramínea na mistura (Tabela 5).

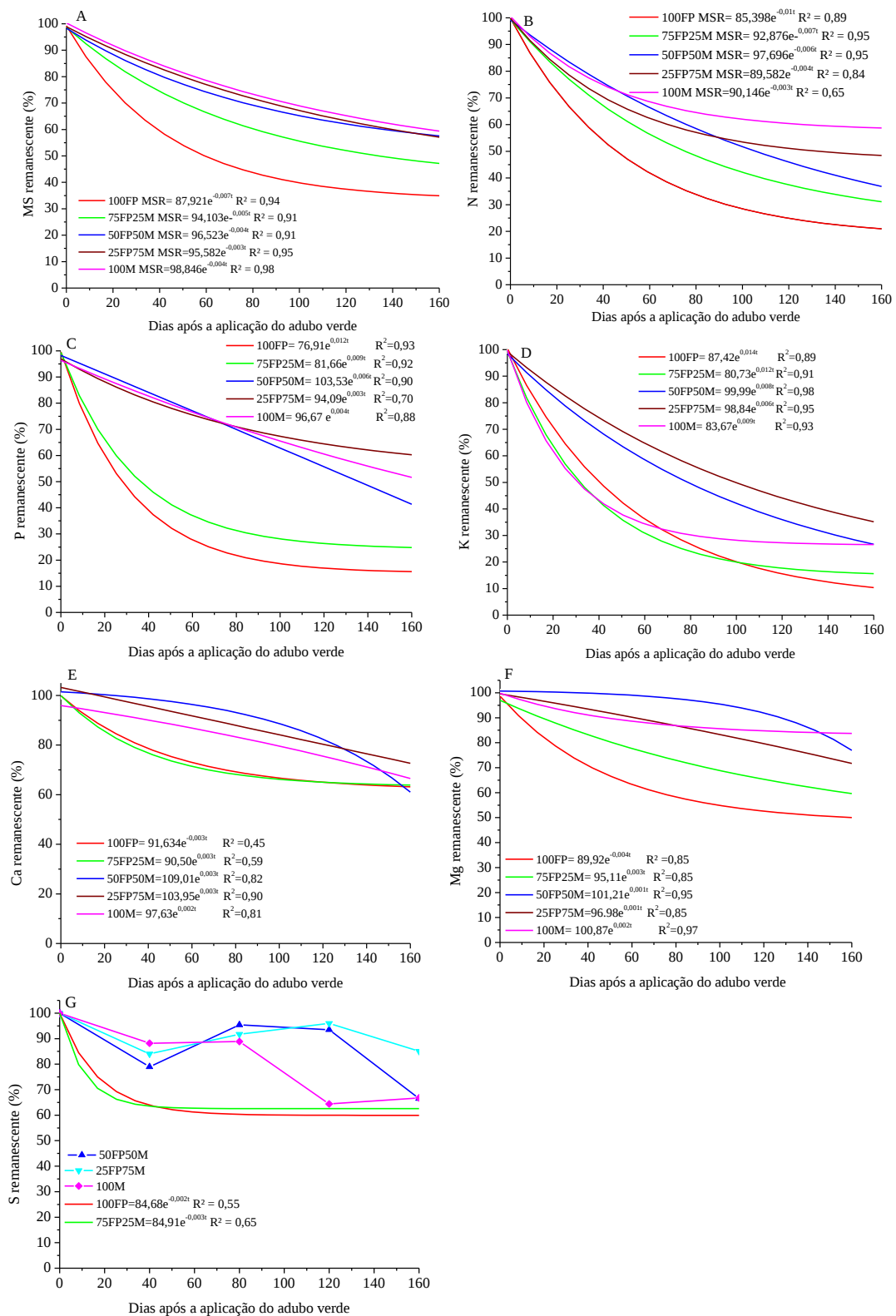


Figura 1: Matéria seca (MS) (A) e N (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e S (F) remanescente na massa dos adubos verdes aos 0, 40, 80, 120 e 160 dias após a aplicação nos vasos. 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

Tabela 5: Constantes de decomposição (k (g dia⁻¹)) e tempos de meia-vida ($t_{1/2}$ (dias)) da matéria seca, N, K, Ca, Mg e S remanescente na massa de adubos verdes compostos por diferentes proporções de leguminosa e gramínea.

Trat	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$	k	$t_{1/2}$
	Matéria seca		Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio		Enxofre	
100FP	0,007	99	0,010	69	0,012	57	0,014	49	0,003	231	0,004	173	0,002	347
75FP25M	0,005	139	0,007	99	0,009	77	0,012	57	0,003	231	0,003	231	0,003	231
50FP50M	0,004	173	0,006	116	0,006	116	0,008	86	0,003	231	0,001	693		
25FP75M	0,003	231	0,004	173	0,003	231	0,006	115	0,002	347	0,001	693		
100M	0,004	173	0,003	231	0,003	231	0,009	77	0,002	347	0,002	347		

100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

O aumento da proporção das gramíneas na mistura resultou em maior tempo de meia vida e menores taxas de decomposição da massa e de mineralização N (Tabela 5). Com isso, nas maiores proporções de gramíneas a decomposição da massa foi mais lenta, com maior permanência da massa sobre o solo e menor mineralização de N. Por outro lado, a leguminosa pura ou em maiores proporções resultou em rápida mineralização de N e pouca cobertura do solo, o que já era esperado nessa espécie (ELSAID; SILVA, 2017; RADICETTI et al., 2017). Sob as mesmas condições ambientais, como nesse experimento, o processo de decomposição e mineralização é influenciado por características do próprio material vegetal, como a relação C/N, lignina/N e teor de lignina (AUSTIN; BALLARÉ, 2010; HIEL et al., 2016; VAHDAT; NOURBAKSH; BASIRI, 2011). Com base nisso, observa-se que há uma relação inversa entre estes fatores e a mineralização de N e consequentemente a taxa de mineralização e o $t_{1/2}$ dos adubos verdes. A reduzida taxa de mineralização de N nas maiores proporções de milho (27FP75M, 100M), ocasiona deficiência e menor crescimento das plantas de brócolis (Capítulo 2), sendo observado comportamento semelhante em plantas de pepino e tomate adubadas com aveia (CAMPIGLIA et al., 2014a, 2014b). Observou-se menor k e maior $t_{1/2}$ no milho (100M) do que os resultados obtidos por TEIXEIRA et al. (2012) de $k=0,0066$ e $0,0099$ e $t_{1/2}=105$ e 70 dias, respectivamente para decomposição da massa e $k=0,0067$ e $0,0096$ e $t_{1/2}=103$ e 72 dias para mineralização de N em duas cultivares de milho, ENA 2 e BRS 1501, respectivamente. Isso ocorreu possivelmente devido a quantidade de material avaliado no referido trabalho, que foi 50 g de matéria fresca e o tamanho das partículas que foi de 4 cm, enquanto que neste trabalho foram utilizadas 116 g de matéria seca e o tamanho das partículas foi de 8 cm. Quanto menor a quantidade de massa sobre a superfície do solo, maior proporcionalmente o contato com o solo e maior

a quantidade de microrganismos atuando, o que acelera o processo de decomposição (DINIZ et al., 2014; RIUTTA et al., 2012).

O fósforo apresentou taxa de mineralização mais rápida e com menores $t_{1/2}$ que o N nos adubos verdes 100FP, 75FP25M e 50FP50M (Tabela 5). Ao final dos 160 dias após a aplicação dos adubos verdes, remanesceram sobre o solo 13, 19, 37, 51 e 47% do P no 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M e 100M, respectivamente (Figura 1). A rápida mineralização de P está ligada à perda de P solúvel acumulado nos vacúolos dos tecidos vegetais (BUCHANAN; KING, 1993) e também estão de acordo com os menores teores de N encontrados nos AV ($100FP < 75FP25M < 50FP50M < 25FP75M < 100M$), demonstrando que os fatores e mecanismos responsáveis pela decomposição da massa interferem diretamente na mineralização de P. Assim, quanto maior quantidade de massa adicionada, maior relação C/N, teor de lignina nos adubos verdes compostos por milho acarretam em uma diminuição da velocidade de decomposição da massa quando comparada com os demais adubos verdes, principalmente nas maiores proporções de feijão-de-porco (100FP e 75FP25M). Em contrapartida, a menor relação C/N, maior teor de N e menor teor de lignina, além de aumentar a velocidade de decomposição da massa, propicia maior contato entre as folhas e o solo, culminando em maior área exposta para ação dos organismos decompositores, o que favorece uma maior taxa de decomposição e maior mineralização de P dos adubos verdes (GAMA- RODRIGUES et al., 2007).

O potássio foi mineralizado de forma mais rápida no 100FP, 75FP25M e 100M (Figura 2C). O tempo de meia vida ($t_{1/2}$) do K variou de 49 a 115 dias em função dos adubos verdes, sendo o menor tempo no 100FP e o maior no 25FP75M (Tabela 5).

A rápida liberação do K ocorre por que este elemento não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal (TAIZ et al., 2017) e por isso não se esperava diferença entre os adubos verdes e com $t_{1/2}$ de 115 dias obtidos no 25FP75M. O K forma ligações de fácil reversibilidade com complexos orgânicos e sua mineralização é atribuída à remoção de fração solúvel pela água da chuva ou irrigação e à facilidade de decomposição dessa fração pela população microbiana, mesmo quando os resíduos vegetais permanecem na superfície do solo (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2003) como ocorreu neste trabalho. Isso se torna importante principalmente em culturas de rápido crescimento, por exemplo, as hortaliças. A rápida liberação de K no feijão-de-porco e no milho puro está de acordo com outros trabalhos nos quais foram encontrados tempos de meia vida semelhantes (PEREIRA; SOARES; MIRANDA, 2016; PERIN et al., 2010; TORRES; PEREIRA, 2014), todavia, as espécies gramíneas, neste caso o

milheto, acumulam mais K na sua massa (PERIN et al., 2010). Entretanto, menores tempo de meia vida do K, de oito dias para o milheto, 21 dias para crotalária e 15 para a mistura de ambos foi observado em condições de campo (SORATTO et al., 2012) diferindo dos obtidos neste trabalho. O menor tempo de meia vida do trabalho citado pode ter ocorrido devido ao alto índice de precipitação ocorrido logo após o manejo dos adubos verdes, o que acelerou o processo de decomposição e liberação de K das células vegetais.

As taxas de mineralização de Ca e Mg foram menores (Figura 2D e 2E, Tabela 5) e maiores os valores de tempo de meia vida, os quais variaram de 231 a 347 dias para Ca e 173 a 693 dias para Mg (Tabela 5).

A menor taxa de mineralização de Ca do tecido vegetal é característica intrínseca desse nutriente. O cálcio é um dos nutrientes constituintes da lamela média da parede celular e possui as funções de componente da parede celular e manutenção da estrutura das membranas (TAIZ et al., 2017), formando um dos componentes mais recalcitrantes dos tecidos vegetais. Entretanto, o mesmo não é esperado para o Mg, visto este ser um elemento que participa de moléculas solúveis e compostos iônicos e assim ser de fácil mineralização. Em outros trabalhos que utilizaram a mesma quantidade de massa e em condições de campo, obteve-se tempo de meia vida menores do que este estudo. Para o feijão-de-porco, encontrou-se $t_{1/2}$ de 80 e 41 dias para Ca e Mg, respectivamente (PEREIRA; SOARES; MIRANDA, 2016) e para o milheto variando de 30-38 e 8-30 dias (Ca e Mg, respectivamente) (COSTA et al., 2016; PERIN et al., 2010; SORATTO et al., 2012). O maior $t_{1/2}$ do Ca e Mg obtidos neste estudo, os quais chegaram a 347 e 693 dias, podem ter ocorrido devido a massa dos adubos verdes não ter sido incorporada, o que limitou o contato desta com o solo, diminuindo as taxas de mineralização e aumentando os tempos de meia vida. Ainda assim, não era esperado esse $t_{1/2}$ longo obtido nas misturas e no milheto puro.

Para a mesma quantidade de N adicionada ao solo, as misturas de leguminosas e gramíneas levaram à modificação da composição química da massa, na sua decomposição e mineralização de N, como relatado por outros autores em condições temperadas (HWANG et al., 2015; TOSTI; BENINCASA; GUIDUCCI, 2010). A leguminosa feijão-de-porco apresentou maior velocidade de decomposição e mineralização de N, K, Ca, Mg e S, o que significa rápida disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente (RADICETTI et al., 2017). Estas características são desejáveis em condições de campo onde não existe restrição de água, pois as plantas respondem principalmente à quantidade de nutrientes disponíveis no solo. Já com o milheto, a maior persistência da massa sobre

o solo pode ser favorável em condições de campo quando se apresenta alto estresse hídrico e altas temperaturas, porque nesta situação a produção da cultura é afetada principalmente pela temperatura e a disponibilidade de água do solo, neste caso, os resíduos da massa conservam a umidade do solo por mais tempo e reduzem a temperatura do solo (ADEKIYA et al., 2017; REESE et al., 2014).

Os adubos verdes quando aplicados de forma isolada apresentaram cinética de decomposição e mineralização de N mais rápida ou mais lenta no caso da leguminosa e gramínea, respectivamente. Por isso, as misturas são alternativas interessantes do ponto de vista agrônomo, devido as suas características intermediárias, sendo capazes de fornecer N de forma mais estável para a cultura principal e evitar as perdas de N (TOSTI et al., 2014). Assim, dependendo do objetivo (rápida mineralização de N ou maior proteção do solo) e das condições climáticas, deve-se escolher a mistura de adubos verdes a ser utilizada.

4. CONCLUSÕES

A decomposição da massa e mineralização de N dos adubos verdes é influenciada pela sua composição química, as quais são alteradas pelas misturas de leguminosa e gramínea.

Maior teor de N e menor teor de lignina e relações C/N e lignina/N promovem maior velocidade de decomposição da matéria seca e mineralização de N e por isso são os principais fatores que afetam a mineralização do N.

A mineralização do P é mais rápida que a de N nos adubos verdes acima de 50% de feijão-de-porco na mistura e a mineralização de K é mais rápida nas leguminosas, na mistura 75FP25M e gramínea pura.

A velocidade de decomposição da massa é mais rápida nos adubos verdes com maior proporção de leguminosa, mais lenta naquelas com gramínea e intermediária nas misturas sob condições tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEKIYA, A. O. et al. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and soil properties to different mulch materials in different cropping seasons. **Scientia Horticulturae**, v. 217, p. 209–216, 2017.
- AUSTIN, A. T.; BALLARÉ, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 10, p. 4218–4622, 2010.
- BRENNAN, E. B.; BOYD, N. S.; SMITH, R. F. Winter cover crop seeding rate and variety effects during eight years of organic vegetables : III. Cover crop residue quality and nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 171–182, 2013.
- CAMPIGLIA, E. et al. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 94–102, 2010.
- CAMPIGLIA, E. et al. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). **Soil & Tillage Research**, v. 139, p. 1–7, 2014a.
- CAMPIGLIA, E. et al. Do cover crop species and residue management play a leading role in pepper productivity? **Scientia Horticulturae**, v. 166, p. 97–104, 2014b.
- CHAUVIN, C. et al. Biochemical characteristics of cover crop litter affect the soil food web , organic matter decomposition , and regulation of plant-parasitic nematodes in a banana fi eld soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 131–140, 2015.
- CONGREVES, K. A.; VAN EERD, L. L. Nitrogen cycling and management in intensive horticultural systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 102, n. 3, p. 299–318, 2015.
- CONSTANTIN, J. et al. Cumulative effects of catch crops on nitrogen uptake, leaching and net mineralization. **Plant and Soil**, v. 341, n. 1–2, p. 137–154, 2011.
- COSTA, C. H. M. et al. Taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa de milho, capim colônia e capim-braquiária. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 5, p. 1191–1203, 2016.
- CREWS, T. .; PEOPLES, M. . Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 102, n. 3, p. 279–297, 2004.
- DINIZ, E. R. et al. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Cientifica**, p. 51–59, 2014.
- ELSAID, E.; SANTOS, R. H. S. Potential of sun hemp residue to provide potato with adequate nitrogen. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 6, p. 851–860, 2017.
- GABRIEL, J. L.; QUEMADA, M. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system : Yield, N uptake and fertiliser fate. **European Journal of Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 133–143, 2011.
- GASKELL, M.; SMITH, R. Nitrogen sources for organic vegetable crops. **HorTechonology**, v. 4461, n. December, p. 431–441, 2007.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 27, n. 4, p. 325–334, 2003.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. . **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Washington: U.S. Agricultural Research Service, 1970.

HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 255–266, 2004.

HALDE, C.; ENTZ, M. H. Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, p. 59–71, 2016.

HANDAYANTO, E.; GILLER, K. E.; CADISCH, G. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 9–10, p. 1417–1426, 1997.

HIEL, M.-P. et al. Crop residue management in arable cropping systems under temperate climate. Part 1: Soil biological and chemical (phosphorus and nitrogen) properties. A review. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment Journal**, v. 20, p. 245–256, 2016.

HWANG, Y. H. et al. Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. **Field Crops Research**, v. 183, p. 138–146, 2015.

KRAMBERGER, B. et al. Environmental advantages of binary mixtures of *Trifolium incarnatum* and *Lolium multiflorum* over individual pure stands. **Plant, Soil and Environment**, v. 59, n. 1, p. 22–28, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. 1. ed. Viçosa: UFV, 2005.

PALM, C. A. et al. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 83, n. 1–2, p. 27–42, jan. 2001.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. I, p. 83–88, 1991.

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

PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; MIRANDA, F. R. DE. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. **Ciênc. rural**, v. 46, n. 6, p. 970–975, 2016.

PERIN, A. et al. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milheto solteiros

e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 274–281, 2010.

RADICETTI, E. et al. How winter cover crops and tillage intensities affect nitrogen availability in eggplant. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 2, p. 177–194, 2017.

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 65–75, 2014.

REESE, C. L. et al. Winter cover crops impact on corn production in semiarid regions. **Agronomy, Soils and Environmental Quality**, v. 106, n. 4, p. 1479–1488, 2014.

REEVES, J. . Chemical studies on the composition of fiber fractions and lignin determinations. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 120–128, 1993.

RIUTTA, T. et al. Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 124–131, 2012.

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

SORATTO, R. P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1462–1470, 2012.

SUMMERS, C. F. et al. Single season effects of mixed-species cover crops on tomato health (cultivar Celebrity) in multi-state field trials. **Applied Soil Ecology**, v. 77, p. 51–58, 2014.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEI, F.; NICOLA, S.; BENINCASA, P. Advances in research on fertilization management of vegetable crops. In: **Advances in Olericulture**. Grugliasco: Springer, 2017. p. 109–148.

TEIXEIRA, M. B. et al. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA**, v. 30, n. 1, p. 55–64, 2012.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Produção e decomposição de resíduos culturais antecedendo milho e soja num Latossolo no Cerrado mineiro. **Comunicata Scientiae**, v. 5, p. 419–426, 2014.

TOSTI, G. et al. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 136–146, 2012.

TOSTI, G. et al. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p. 34–39, 2014.

TOSTI, G.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Competition and facilitation in hairy

vetch-barley intercrops. **Italian Journal of Agronomy**, v. 3, p. 239–247, 2010.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 918–926, 2000.

VAHDAT, E.; NOURBAKHS, F.; BASIRI, M. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 243–246, 2011.

VALADARES, R. V. et al. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In: **Organic Fertilizers - From Basic Concepts to Applied Outcomes**. London: InTech, 2016. p. 51–84.

WANG, J.; SAINJU, U. M. Soil carbon and nitrogen fractions and crop yields affected by residue placement and crop types. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. 1–11, 2014.

Capítulo 2: Efeito residual de adubos verdes com diferentes proporções gramínea: leguminosa no cultivo sequencial de brócolis e braquiária

RESUMO: Entre as alternativas para substituir ou complementar a adubação mineral se encontra a adubação verde, sobressaindo as espécies de leguminosas e gramíneas. O objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição dos nutrientes dos adubos verdes leguminosas pura e em mistura com gramínea ao cultivo de brócolis, na composição química da solução do solo e seu efeito residual em cultivos subsequentes. O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milho (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. Avaliou-se a área do dossel, acúmulo de matéria seca e nutrientes em dois cultivos sequenciais de brócolis e braquiária e a quantidade de nutrientes na solução do solo. A composição química da solução do solo varia de acordo com os adubos verdes. Houve maior crescimento, acúmulo de matéria seca e de nutrientes na parte aérea das plantas de brócolis nas maiores proporções de feijão-de-porco, assim como maior disponibilidade de nutrientes na solução do solo e efeito residual destes tratamentos no cultivo subsequente de brócolis e braquiária, devido a maior mineralização de nutrientes, principalmente N. Os adubos verdes com maiores proporções de leguminosa influenciam positivamente a produção, o acúmulo de matéria seca e nutrientes em brócolis e têm efeito residual nos cultivos subsequentes.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *italica*, *Brachiaria decumbens*, efeito residual, nutrientes, solução do solo

ABSTRACT: Among the alternatives to replace or supplement the mineral fertilization is green manuring, mainly with leguminous and grass species. The objective of this study was to evaluate the contribution of nutrients from green manure legumes in pure and mixed stands with grass to broccoli crop, chemical composition of soil solution and its residual effect on subsequent crops. The experiment was designed in a complete randomized block design, composed by the mass of jack bean (JB) and millet (M) in pure and mixed stands and one control, totaling six treatments: Control, 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M, 100M, with four replicates. We evaluated the canopy area, accumulation of dry matter and nutrients in two sequential broccoli and brachiaria crop and the amount of nutrients in the soil solution. There was higher growth, accumulation of dry matter and nutrients in the aboveground biomass of broccoli plants in the highest

proportions of jack beans, as well as greater availability of nutrients in the soil solution and residual effect of these treatments on the subsequent broccoli and brachiaria crops, due to the higher mineralization of nutrients, mainly N. Green manures with higher proportions of legume positively influence the production, accumulation of dry matter and nutrients in broccoli and have residual effect on the subsequent crops.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*, *Brachiaria decumbens*, residual effect, nutrients, soil solution

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas de rotação de culturas, as gramíneas são utilizadas principalmente para evitar a erosão do solo, absorver o N inorgânico residual e reduzir a lixiviação de nitrato (MÖLLER; STINNER; LEITHOLD, 2008), enquanto as leguminosas são usadas principalmente para fornecer N ao agroecossistema após a fixação biológica (RADICETTI et al., 2017). No entanto, em comparação com os fertilizantes minerais nitrogenados, a eficácia do suprimento de N para a cultura principal pode ser baixa devido à falta de sincronia entre a mineralização de N pelos adubos verdes e a demanda de N da cultura principal. Isso pode ocorrer quando o N é fornecido tarde demais, devido às baixas taxas de mineralização, ou se o N é disponibilizado muito cedo, quando as taxas de mineralização são altas em relação à demanda da cultura principal. Em ambos os casos, há pouca eficiência de uso de N (DINIZ et al., 2007, 2017b) e há o risco de perder grandes quantidades de N no ambiente (GASKELL; SMITH, 2007).

Além disso, somente uma parte do N fornecido pelos adubos verdes será utilizada pelo primeiro cultivo após a aplicação do adubo verde (DINIZ et al., 2017a; GRANT et al., 2016; VARGAS et al., 2017), sendo que o restante pode permanecer na fração de biomassa microbiana do solo e na matéria orgânica do solo. No entanto, um estudo com N¹⁵ mostrou que até 73% do N foi recuperado em cinco cultivos subsequentes após a incorporação da cobertura (CREWS; PEOPLES, 2005). Portanto, os adubos verdes fornecem parte dos nutrientes, entre eles o N para o crescimento imediato das culturas comerciais, mas também podem servir como fonte de N para o crescimento das culturas subsequentes (GRANT et al., 2016). Já foi demonstrado, por exemplo, o efeito residual de *Crotalaria juncea* na produtividade de abobrinha e milho, cultivados sem adubação em sucessão à cultura do brócolis (DINIZ et al., 2017a). Assim, os diferentes adubos verdes alteram a disponibilidade de nutrientes para as culturas ao longo do tempo.

Uma das maneiras de avaliar a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas é através da análise química da solução do solo, sendo que os extratores de cápsula cerâmica porosa vêm sendo utilizados por pesquisadores e agricultores que monitoram a fertirrigação. No entanto, a solução do solo tem composição variável ao longo do tempo e espaço, pois existe uma série de processos dinâmicos entre as diferentes fases do solo (sólida, líquida e gasosa). Além disso, há a interação destes processos com a planta, envolvendo a absorção de nutrientes pelas raízes e seu subsequente transporte para a parte aérea (PÉREZ; RIGO; MARQUES, 2015).

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição dos nutrientes de adubos verdes com diferentes proporções gramínea: leguminosa no cultivo de brócolis, na composição química da solução do solo e seu efeito residual em cultivos subsequentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos Gerais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil, localizada a 20°45'14" S e 42°52'53" W, a 650 m de altitude, no período de junho de 2016 a abril de 2017. Os dados meteorológicos obtidos dentro da casa de vegetação estão na Figura 1.

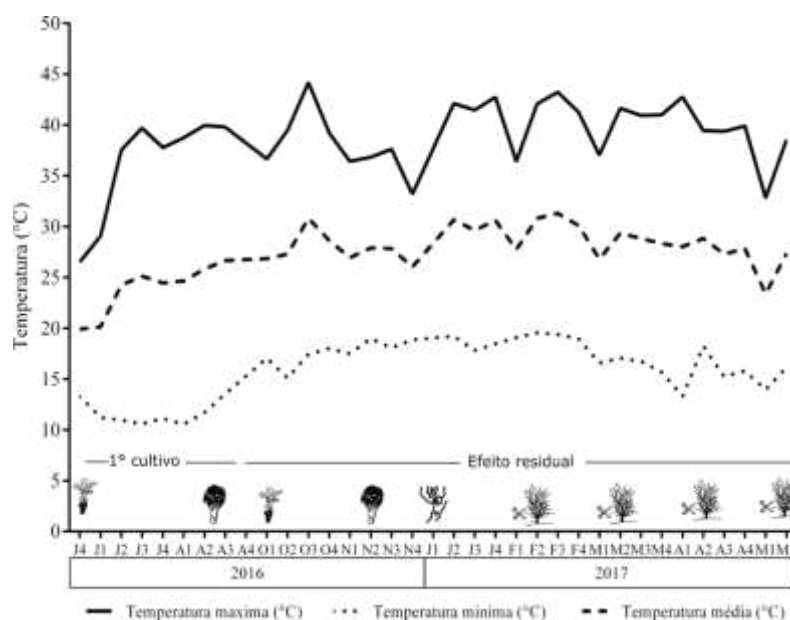


Figura 1: Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa dentro da estufa e brilho solar ocorridos durante todo o experimento. M- Maio; J- Junho e Julho; A - Agosto; O - Outubro; N - Novembro; D - Dezembro; J - Janeiro; F - Fevereiro; M- Março; A- Abril; 1,2,3,4 - refere-se a semana.

O experimento foi sequenciado da seguinte forma: Aplicação dos adubos verdes nos vasos seguido de transplante do primeiro cultivo de brócolis (junho/2016), transplante do segundo cultivo de brócolis nos mesmos vasos, sem adubação adicional (setembro/2016) e semeadura da braquiária, sem adubação (janeiro/2017) com quatro cortes (fevereiro, março, abril e maio/2017) (Figura 1).

Utilizou-se feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*, (L.) DC) como espécie leguminosa e milheto (*Penisetum glaucum*, (L.) R. Br.) como espécie gramínea. O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milheto (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. A quantidade total de N aplicada foi a mesma em todos os tratamentos (9 g/vaso). A testemunha caracterizou-se pelo mesmo solo utilizado nos demais tratamentos, sem adubação. O feijão-de-porco apresentava 3,3% de N e o milheto 1,2% de N e em função disso calculou-se a quantidade de massa de cada espécie nos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1: Matéria seca de feijão-de-porco (MSFP), de milheto (MSN) e total (MST) de cada adubo verde depositada em cada vaso de acordo com o tratamento.

Tratamento	MSFP (N) (g/vaso)	MSN (N) (g/vaso)	MST (N) (g/vaso)
100FP	272,73 (9,0) ¹	0,00 (0,0)	272,73 (9,0)
75FP25M	204,55 (6,7)	187,50 (2,3)	392,05 (9,0)
50FP50M	136,36 (4,5)	375,00 (4,5)	511,36 (9,0)
25FP75M	68,18 (2,3)	562,50 (6,7)	630,68 (9,0)
100M	0,00 (0,0)	745,71 (9,0)	745,71 (9,0)

100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milheto (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milheto (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milheto (25FP75M); 100% milheto (100M). ¹Valor referente a quantidade de nitrogênio adicionada em cada vaso.

A parcela experimental consistiu de vasos de 70 L, os quais foram preenchidos com solo oriundo de área agrícola (Tabela 2). Os adubos verdes foram aplicados sobre o solo no mesmo dia do transplante das mudas de brócolis na mesma proporção caule: folha obtidos no cultivo. Efetuou-se irrigação manual de acordo com a demanda da cultura, com recolhimento e retorno da água drenada.

Tabela 2: Análise química inicial do solo.

pH	MO dag kg ⁻¹	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-Rem mg/L
				cmolc/dm ³								
6,09	2,28	19,5	186	3,64	0,77	0,00	4,3	4,89	4,89	9,19	53,2	30

2.2 Produção dos adubos verdes

O feijão-de-porco foi cultivado, conduzido e adubado de acordo com Chieza et al., (2011). A semeadura foi realizada em janeiro de 2016. As plantas foram irrigadas diariamente de acordo com a necessidade da cultura, fazendo o retorno da água drenada ao vaso. Efetuou-se o corte da parte aérea das plantas aos 57 dias após a semeadura e deixadas para secar para posterior utilização da matéria seca.

O milho foi produzido em campo e semeado em novembro de 2015, utilizando-se 30 sementes por metro linear, com 50 cm entre linhas. Transcorridos 57 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas ao nível do solo, cortadas em pedaços de 8 cm e deixados para secar.

Amostras de milho e feijão-de-porco foram retiradas, colocadas em estufa a 65 °C até massa constante para a determinação da matéria seca da parte aérea. Posteriormente as amostras foram trituradas e o N-total determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO, 1995).

2.3 Avaliação da mineralização de nutrientes dos adubos verdes

Foram determinadas as quantidades de matéria seca remanescente dos adubos verdes, e os macronutrientes mineralizados (N, P, K, Ca, Mg e S) nos vasos ao longo dos cultivos de brócolis. A metodologia de obtenção destes resultados encontra-se no capítulo 1. Os dados obtidos no capítulo 1 foram multiplicados por 6,4 (número de vezes que a área do vaso com cultivo de brócolis foi maior em relação ao experimento de mineralização).

2.4 Nutrientes na solução do solo

Em cada vaso foram instalados dois lisímetros de ½”, na profundidade de 0-10 cm. A coleta de solução do solo foi realizada aos 1, 8, 15, 40, 54 e 60 e 1, 8, 45 e 55 dias após o transplante das mudas de brócolis no primeiro e segundo cultivo de brócolis, respectivamente. Para as coletas, o solo foi irrigado até a capacidade de campo e nos extratores de solução foi aplicada pressão de -70 Kpa, com o auxílio de seringa descartável de 60 mL. Após seis horas, foram coletadas as amostras de solução do solo e armazenadas a 4 °C.

Foram obtidos os valores de pH e condutividade elétrica da solução através de peagâmetro e condutivímetro, respectivamente. A quantificação de nitrato e amônio da solução do solo foi feita pelo método Kjeldhal (TEDESCO, 1995), utilizando-se 10 mL

de amostra de solução do solo. Para determinação dos teores de K, Ca e Mg utilizaram-se 2, 0,5 e 0,2 mL de amostra, respectivamente, sendo adicionado água para completar 25 mL de solução de leitura. A leitura da quantidade de K presente na solução do solo foi feita em fotômetro de chama e de Ca e Mg em espectrofotômetro de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). Não foi detectada a presença de P e S na solução do solo com a metodologia utilizada.

2.5 Crescimento e produção do primeiro cultivo de brócolis

Sementes do cultivar de brócolis de cabeça única BRO 68[®] foram semeadas no dia 10/05/2016 e transplantadas 33 dias após a semeadura. A irrigação foi realizada manualmente conforme a necessidade da cultura, em sistema fechado, com recuperação da água drenada. Avaliou-se o crescimento através da área do dossel (AD) (calculado a partir da medida superior do dossel no sentido longitudinal e transversal à linha dos vasos) pois é um método não destrutivo que tem alta correlação com a produção de matéria seca (DINIZ et al., 2008). A frequência das coletas de dados foi semanal, iniciando-se nas datas de transplante e prosseguindo até a colheita. Ao final do cultivo (17/08/2017) foi realizada a colheita e determinados a matéria fresca dos diferentes órgãos da planta (inflorescência, limbo foliar, pecíolo e caule). Amostras dos órgãos foram acondicionadas em sacos de papel, colocados em estufa a 65 °C até massa constante e pesadas para determinação da matéria seca. A produção (g/planta) foi avaliada pela matéria fresca da inflorescência de brócolis cortada a 2,5 cm abaixo da haste mais baixa e determinado o diâmetro da inflorescência.

2.6 Produção de brócolis e braquiária sob efeito residual dos adubos verdes

A avaliação do efeito residual dos adubos verdes foi realizada por meio de cultivo subsequente de brócolis e braquiária nos mesmos vasos, sem adubação. O transplante das mudas do segundo cultivo de brócolis foi feito no dia 25/09/2016 e seguiu-se os mesmos procedimentos do primeiro cultivo. A colheita final foi efetuada em 15/11/2016 e determinada a produção e a matéria seca do limbo foliar, pecíolo, caule e inflorescência, como descrito no item 2.1.

A semeadura da *Brachiaria brizantha* foi realizada no dia 05/01/2017 nos mesmos vasos e tratamentos dos cultivos anteriores de brócolis. Foram feitos quatro cortes nas plantas (13/02, 13/03, 14/04 e 24/05/2017). A parte aérea das plantas foi cortada a 3 cm do solo, pesada e colocada em estufa a 65 °C até massa constante para determinação da

matéria seca. Após, foram trituradas e analisadas quanto ao teor de N pelo método Kjeldhal (TEDESCO, 1995). Os valores de matéria seca e teor total de N obtidos nas diferentes coletas foram somados para obtenção do valor total.

2.7 Acúmulo de nutrientes nas plantas

Após secagem em estufa, as amostras de brócolis e braquiária foram moídas em moinho tipo Willey, sendo o teor total de N determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Nas plantas de brócolis, também foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O acúmulo de nutrientes na matéria seca foi obtido pelo produto da massa pelo teor dos nutrientes.

2.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e a comparação de médias dos adubos verdes com a testemunha através do teste de Dunnett ($p < 0,05$), com auxílio do programa estatístico SAS 9.0. Também se realizou análise de regressão dos efeitos das proporções de leguminosa e gramínea. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes, no coeficiente de determinação e no fenômeno de estudo, utilizando-se o programa OriginPro 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mineralização de nutrientes dos adubos verdes

Houve diferença na mineralização de nutrientes em função dos adubos verdes. A quantidade mineralizada de N e Ca foi maior no 100FP e 75FP25M e a de K, Mg e S foi maior no 100M e 75FP25M (Figura 2). A quantidade de matéria seca decomposta foi maior no 100M e diminuiu à medida que aumenta a proporção de feijão-de-porco (Figura 2).

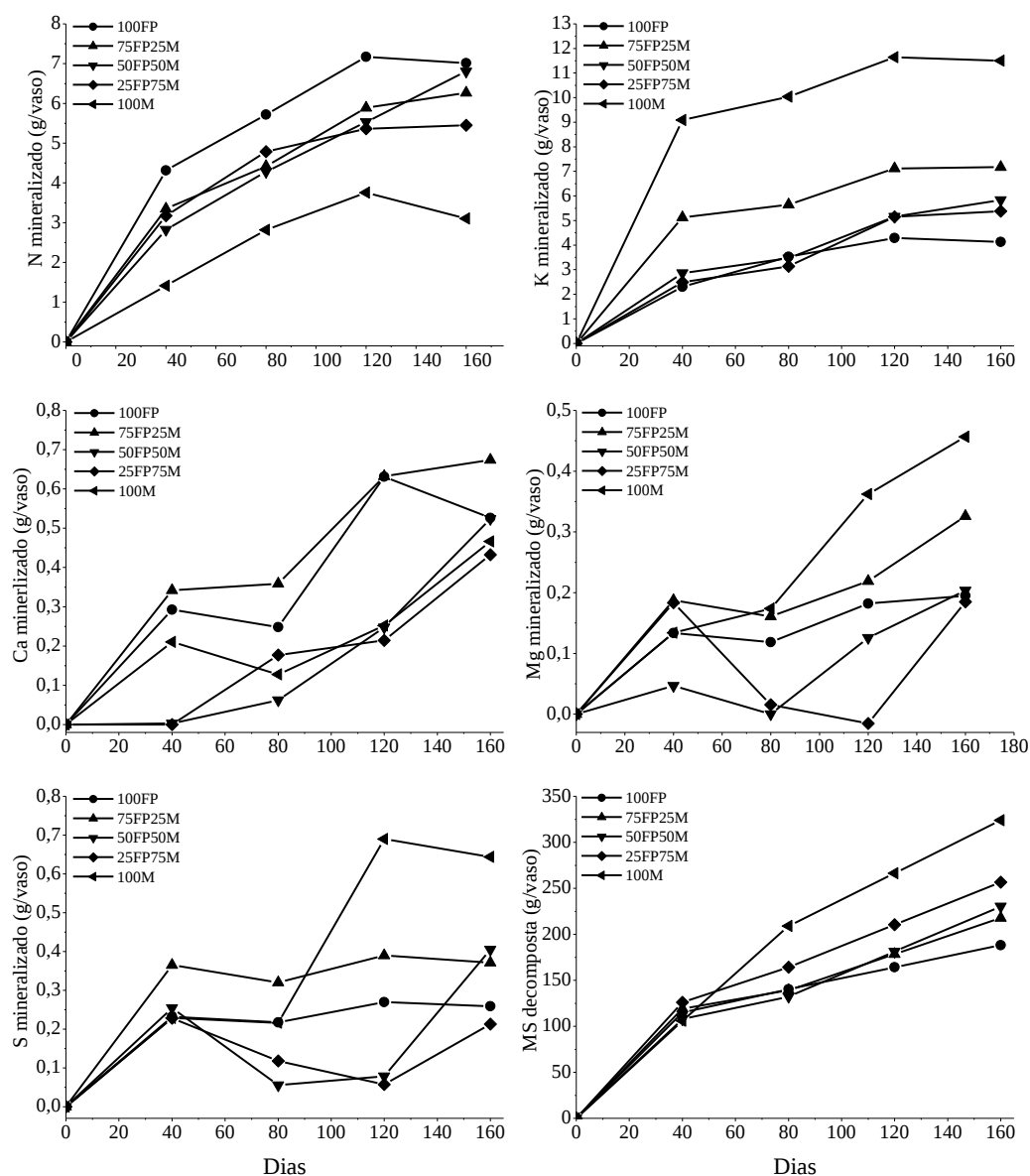


Figura 2: Quantidade de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) mineralizado e matéria seca (MS) decomposta dos adubos verdes em cada vaso com as plantas de brócolis.

A maior quantidade de N decomposta no adubo verde 100FP e 75FP25M se deve as características químicas desse adubo, como o alto teor de N, baixa relação C/N e lignina/N, as quais facilitam o processo de mineralização (AUSTIN; BALLARÉ, 2010; HALDE; ENTZ, 2016; TOSTI et al., 2012; VAHDAT; NOURBAKHSH; BASIRI, 2011). A maior quantidade de K mineralizado no milho puro está relacionado às ligações de fácil reversibilidade do K com complexos orgânicos. Maiores quantidades de K, Mg, S mineralizados e MS decomposta no 100M ocorreram devido a maior quantidade de massa adicionada aos vasos que foi de 745,71 g/vaso. Para mais detalhes sobre a mineralização de nutrientes consultar o capítulo 1 desta Tese.

3.2 Nutrientes, pH e CE na solução do solo

A concentração de nitrato (N-NO_3^-) foi maior do que amônio (N-NH_4^+) na solução do solo. Maior quantidade de nitrato em relação à testemunha foi determinada com 100FP aos 15 e 40 DAT. Com a maior proporção de feijão-de-porco houve quantidade mais elevada de nitrato na solução do solo aos 8, 15, 40 e 60 DAT (Figura 3A). Os teores de N-NH_4^+ na solução do solo reduziram-se ao longo dos dias, com um pequeno aumento no final do ciclo (60 DAT) (Figura 3B).

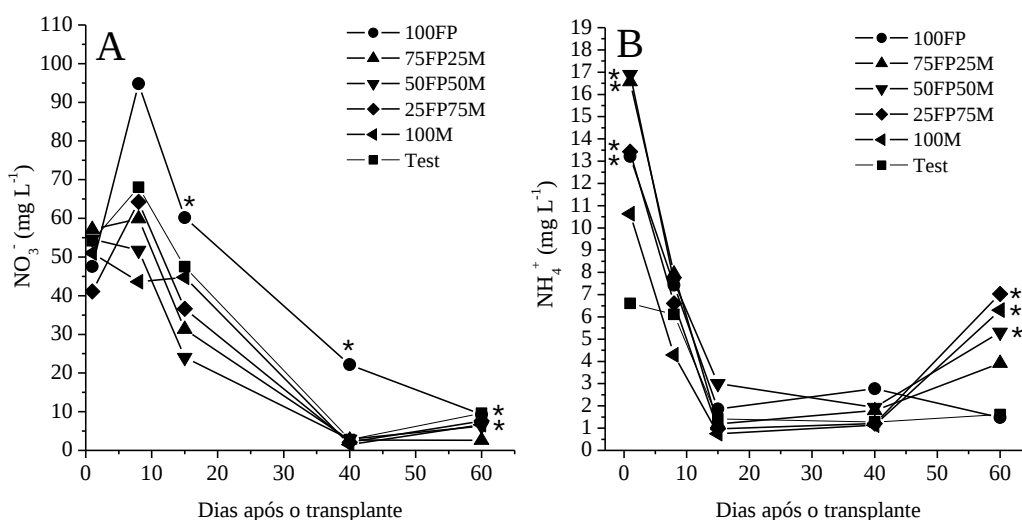


Figura 3: Concentração de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) na solução do solo ao longo dos dias após o transplante de brócolis e da aplicação do adubo verde. *Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0.05$). Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

A maior concentração de nitrato na solução do solo com as maiores proporções de feijão-de-porco se deve a maior mineralização de N oriundo da massa desses adubos verdes (Figura 2). A mineralização controla a concentração de nitrato na solução do solo, pois há pouca adsorção de nitrato na fase sólida (BASSIRIRAD, 2005). A concentração média de nitrato obtida neste trabalho com 75FP25M é similar ao obtido em estudo realizado no semiárido brasileiro com adubo verde de misturas de leguminosas (75%) e não leguminosas (25%) que foi de $34,6 \text{ mg L}^{-1}$ de nitrato na profundidade de 15 cm em sistema de plantio direto (PEREIRA FILHO et al., 2016).

A redução na concentração de amônio (NH_4^+) até os 40 DAT em todos os tratamentos ocorreu possivelmente devido ao processo de nitrificação (ZHANG et al., 2012) e/ou absorção pelas raízes das plantas em crescimento (KAISER et al., 2010). Também pode ter ocorrido adsorção de amônio nas cargas superficiais dos colóides do

solo, tanto em argilas quanto na matéria orgânica, passando da solução do solo para a fase sólida (GROHSKOPF et al., 2016).

No primeiro cultivo de brócolis, para a maioria dos tratamentos houve aumento na concentração dos nutrientes (N, K, Ca e Mg) na solução do solo aos 8 e 15 DAS (Figura 4A, C, E, G).

O aumento na concentração de nutrientes na solução do solo nos primeiros 15 DAT se deve à mineralização da maioria dos nutrientes dos adubos verdes, embora alguns nutrientes não tenham sofrido mineralização em quantidades suficientes para alterar a disponibilidade na solução do solo, como o Ca nos tratamentos 50FP50M e 100M. Após esse período há uma redução na concentração de nutrientes na solução do solo devido à absorção desses nutrientes pelas plantas, conforme também verificado por outros trabalhos (BOWEN; ZEBARTH; TOIVONEN, 1999). As quantidades de Ca e Mg obtidas neste trabalho são superiores às encontradas no estudo realizado no semiárido brasileiro com adubo verde de misturas de leguminosas (75%) e não leguminosas (25%) que foi de 34,9 e 5,22 mg L⁻¹ de Ca e Mg respectivamente, na profundidade de 15 cm em sistema de plantio direto (PEREIRA FILHO et al., 2016). Essas diferenças ocorreram devido ao sistema fechado e irrigação controlada do nosso trabalho, além das espécies serem diferentes, o que possivelmente gerou maior mineralização e disponibilidade de Ca e Mg na solução do solo.

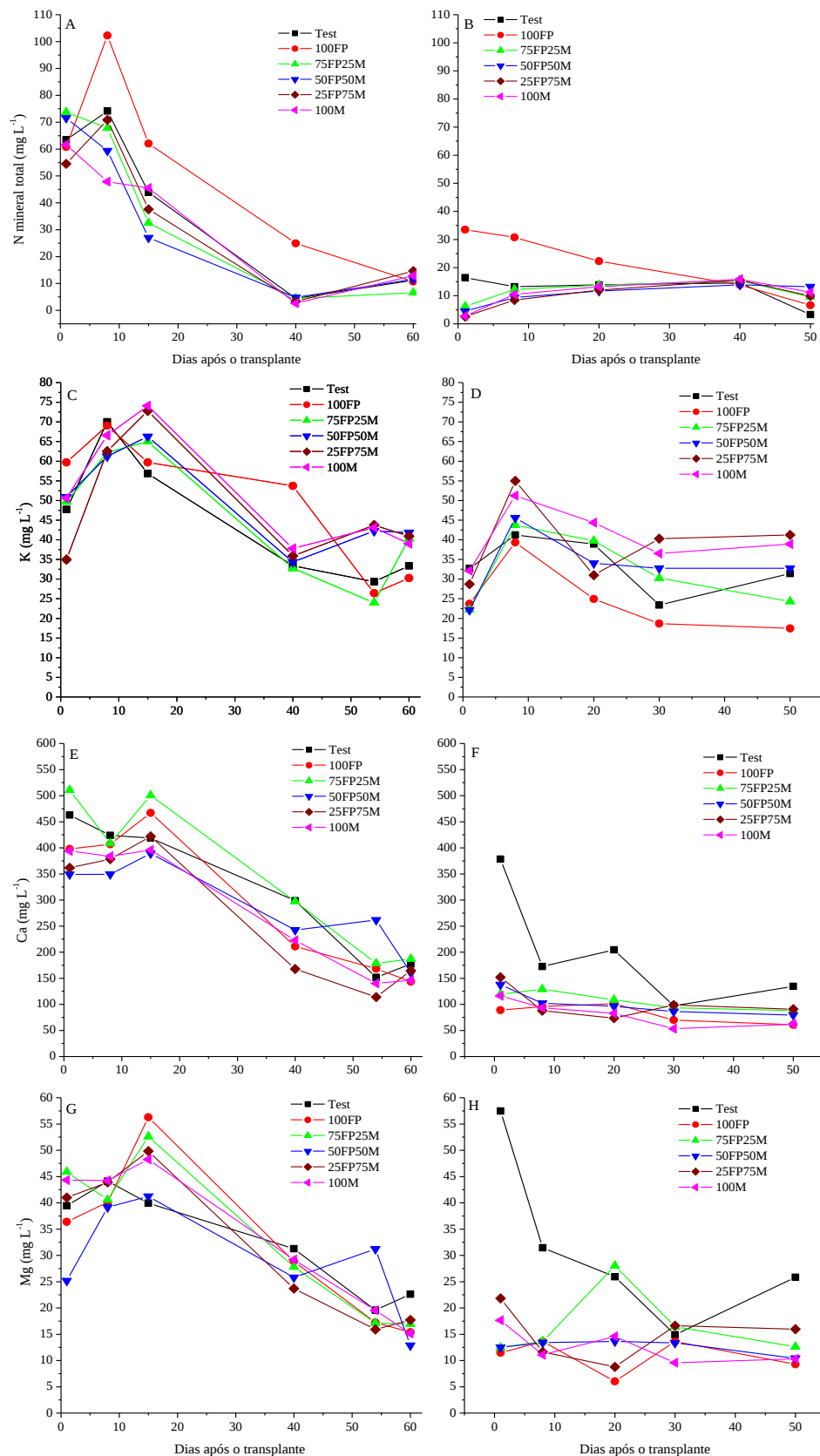


Figura 4: Concentração de nutrientes na solução do solo no primeiro cultivo de brócolis (esquerda) e no segundo cultivo (direita). Nitrogênio mineral total (A, B), potássio (C, D), cálcio (E, F), magnésio (G, H) sob os diferentes adubos verdes. Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

No primeiro cultivo de brócolis houve redução no valor de pH nos primeiros 15 dias após o transplante (DAT), principalmente nos tratamentos 100FP e 75FP25M, aumento aos 40 DAT e redução no final do ciclo (Figura 5A). A condutividade elétrica aumentou até 15 DAT (principalmente com 100FP) e reduziu após esse período (Figura 5C). Houve aumento do pH e redução da condutividade elétrica da solução do solo no segundo cultivo de brócolis (Figura 5B e 5D, respectivamente).

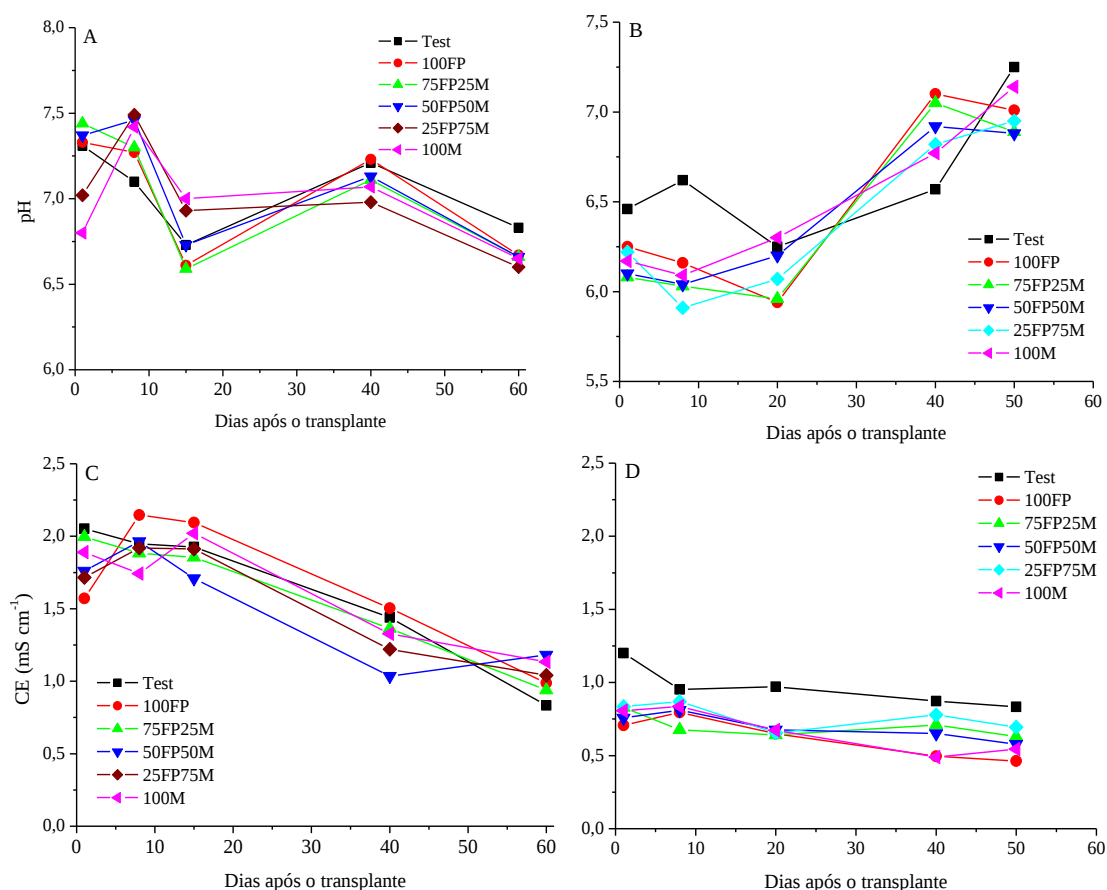


Figura 5: Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) da solução do solo coletada em diferentes dias após o transplante de brócolis no primeiro cultivo (A, C) e no segundo (B, D) sob os diferentes tratamentos. Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

A redução do pH da solução do solo pode ser atribuída ao aumento da decomposição da massa e mineralização do N dos adubos verdes. Os adubos verdes ao se decomporem possuem reação ácida, elevando a concentração de H^+ no meio (FARIA; SOARES; LEÃO, 2004). O NO_3^- , oriundo da nitrificação do amônio da massa dos adubos verdes, é um dos principais causadores da redução do pH devido a liberação de dois átomos de H^+ (MIRANDA et al., 2006). No presente trabalho foi verificado aumento no teor de NO_3^- nos primeiros dias após a aplicação dos adubos verdes (Figura 3). Além

disso, estudos com absorção de K^+ e NH_4^+ por plantas mostraram que a absorção desses elementos estimula a extrusão de H^+ e resulta em queda do pH da solução externa (FERNANDES et al., 2015). Esse processo de acidificação se torna mais significativo em condições de vaso, pois o ambiente é limitado e ocorre alta concentração de raízes (FERNANDES et al., 2015).

O aumento inicial da CE ocorreu devido à mineralização dos nutrientes dos adubos verdes, principalmente naqueles com maiores proporções de leguminosas, o que é justificado pelas maiores concentrações de N, K, Ca e Mg na solução do solo, pois a CE representa o somatório de sais na solução. Nesta pesquisa, embora as mudanças da CE tenham acompanhado as alterações do pH de modo inverso ao longo do tempo (quando houve aumento de pH, a CE diminuiu), possivelmente, estes fatores não são os únicos que influíram no comportamento dessas variáveis. Características físicas, químicas e biológicas solo podem influenciar nestes parâmetros, devido à variações no solo em função das quantidades de cátions, ânions e C (orgânico, inorgânico e solúvel) (CARMO et al., 2016). Assim, as diferentes proporções de leguminosa e gramínea possivelmente modificaram a população e diversidade microbiana do solo, que junto às diferenças nas concentrações de nutrientes, levaram a diferentes padrões no comportamento da CE e pH do solo, além da absorção dos nutrientes pelas raízes de plantas de brócolis ao longo do seu crescimento.

O aumento no pH no segundo cultivo pode ser atribuído à redução na concentração de nutrientes na solução do solo devido à maior absorção pelas plantas de brócolis do primeiro cultivo. Este efeito pode ser observado pela redução da CE da solução do solo no cultivo residual (Figura 5D). Com a menor disponibilidade de nutrientes na solução do solo no segundo cultivo (Figura 9) e menor absorção de nutrientes pela planta, verificados pela menor produção de matéria seca no segundo cultivo de brócolis, menos íons H^+ são liberados pela planta na solução do solo, diminuindo a acidificação e aumentando os valores de pH (FERNANDES et al., 2015).

3.3 Crescimento, acúmulo de matéria seca e produção de brócolis

Houve aumento crescente na área do dossel (AD) ao longo dos dias após o transplante do brócolis (Figura 6). Observa-se aumento na AD à medida que se aumenta a proporção de feijão-de-porco na mistura (Figura 7).

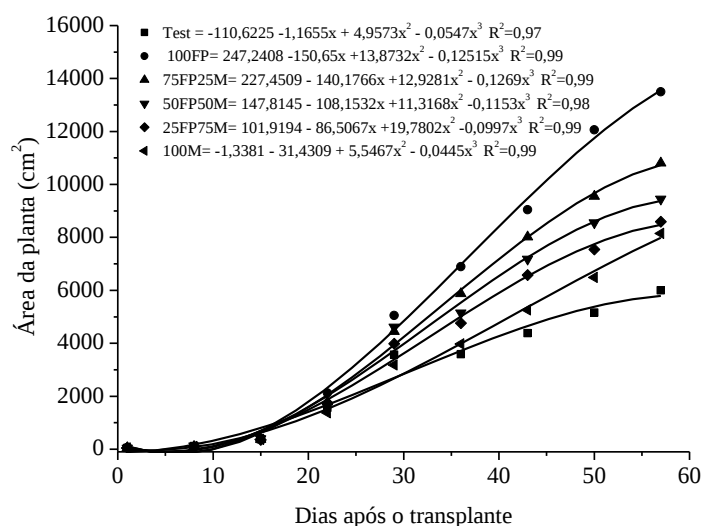


Figura 6: Área da planta ocupada pelas folhas de brócolis ao longo dos dias após o transplante de brócolis. Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

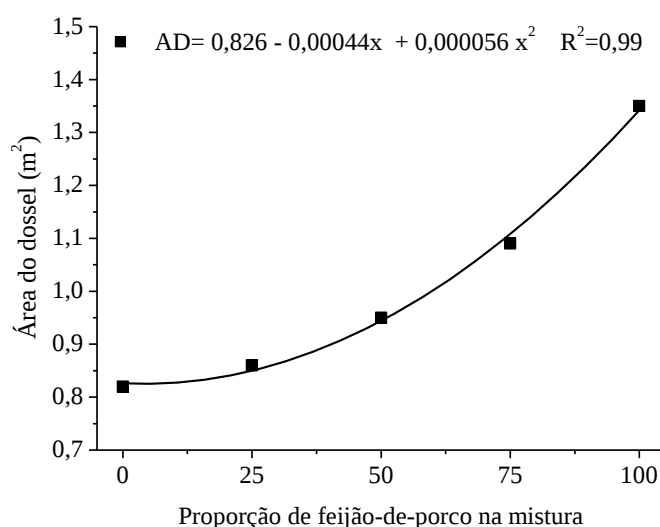


Figura 7: Efeito da proporção de feijão-de-porco na mistura com milho sobre a área da planta ocupada pelas folhas no momento da colheita.

As diferenças entre os efeitos dos adubos verdes estiveram presentes em várias datas de avaliação e se acentuaram com o crescimento do brócolis. Tal fato se deve às características próprias das brássicas, que após os 40 DAT atingem maior velocidade de crescimento e exigem maiores quantidades de nutrientes até o final do ciclo (CHARLO et al., 2007).

Os adubos verdes com maior proporção de feijão-de-porco (100FP e 75FP25M) resultaram em maior área da planta até a colheita, devido a maior mineralização de

nutrientes e disponibilidade na solução do solo, principalmente N. A maior área foliar, aqui expressas pela área da planta ocupada pelas folhas, é importante para maior produção de carboidratos que atenderão a demanda das folhas jovens e o início da formação das inflorescências (BALLIU et al., 2017) e resultarão em maiores produções, como verificado no presente experimento.

A área da planta de 1,35 m² obtida no 100FP é semelhante a obtida com a adubação de 3 t ha⁻¹ de adubo verde mucuna-cinza + 12 t ha⁻¹ de composto orgânico, totalizando 243,90 kg de N ha⁻¹ na cultivar “Legacy” que foi de 1,34 m² (DINIZ et al., 2015). Apesar das cultivares serem diferentes, é possível verificar que com a mesma dose de N (aproximadamente 200 kg ha⁻¹) somente com a adição de adubo verde atingiu-se área do dossel similar ao estudo com AV+composto, ou seja, para a mesma dose de N, o adubo verde feijão-de-porco foi capaz de suprir a necessidade de N para o crescimento das plantas de brócolis, efeito que vai se reduzindo conforme aumenta a proporção de milheto na mistura.

Houve efeito dos tratamentos sobre o acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos de brócolis (Tabela 3). A matéria seca no limbo foliar, pecíolo, inflorescência e total da planta e diâmetro da inflorescência nos tratamentos 100FP e 75FP25M foram superiores à testemunha. Quanto à matéria seca do caule somente com o 100FP foi superior à testemunha. A matéria seca das plantas adubadas com 100M não diferiu das daquelas da testemunha (Tabela 3). Quanto maior a proporção feijão-de-porco na mistura maior a produção de inflorescências de brócolis (Figura 8), ao ponto de que a produção e tamanho de inflorescência de brócolis adubados com 100FP e 75FP25M foram superiores às das plantas da testemunha (Tabela 3).

Tabela 3: Matéria seca no limbo foliar (LF), pecíolo (Pe), caule (Ca), inflorescência (Inflor), total e diâmetro da inflorescência (Diam) de brócolis do primeiro cultivo submetido aos diferentes tratamentos.

Tratamento	LF	Pe	Ca	Inflor	Total	Diam
	Matéria seca (g)					(cm)
Test ¹	40,7	17,3	15,9	9,3	83,4	10,1
100FP	84,5 *	44,3 *	28,3 *	50,3 *	207,3 *	17,1 *
75FP25M	73,6 *	36,0 *	24,4	35,4 *	169,4 *	15,8
50FP50M	58,5	31,0 *	21,6	25,7	136,8	14,6
25FP75M	56,4	29,4 *	21,4	21,3	128,5	12,3
100M	47,1	24,1	17,3	12,8	101,3	9,3
CV (%)	15,7	18,4	16,5	37,1	14,7	23,76
DMS	14,98	8,39	8,51	21,87	134,91	6,26

*Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). ¹ Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

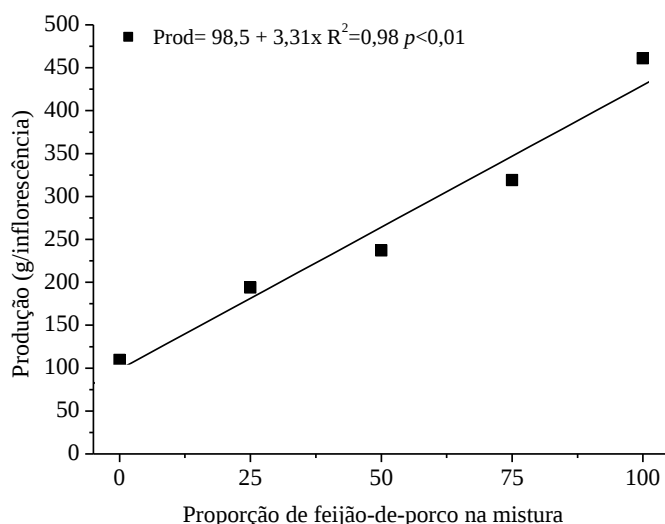


Figura 8: Efeito da proporção de feijão-de-porco na mistura com milho sobre a produção de inflorescências de brócolis no primeiro cultivo.

Efeitos positivos da aplicação isolada de leguminosas sobre o aumento da produção em brócolis já eram esperados e têm sido relatados em outros estudos (BALLIU et al., 2017; BRANCO et al., 2017; JOKELA; NAIR, 2016) e também em outras culturas, como batata (MOHAMED et al., 2017), trigo (XING et al., 2017), milho (N'DAYEGAMIYE et al., 2015), arroz (RAHMAN et al., 2014), tomate (BRANCO et al., 2017) e repolho (BALLIU et al., 2017; VARGAS et al., 2011).

Neste trabalho, onde a massa de milho e feijão-de-porco foram aplicadas no momento do transplante do brócolis, as misturas de adubos verdes 75FP25M, 50FP50M e 25FP75M, resultaram em matéria seca total e diâmetro de inflorescência maior que outro estudo onde utilizou-se a mistura de leguminosa e gramínea (centeio e ervilhaca)

aplicada entre 9 e 28 dias antes do transplante (NOKELA; NAIR, 2016). Naquele trabalho, se relata matéria seca total entre 156 e 258 g, porém, os diâmetros da inflorescência foram menores (entre 7,7 e 11,3 cm) (JOKELA; NAIR, 2016) que os obtidos neste trabalho, principalmente nos tratamentos com 75% e 50% da leguminosa. Isso sugere que além da proporção de leguminosa/gramínea, a data de aplicação dos adubos verdes pode influenciar no ganho de matéria seca e produção do brócolis (DINIZ et al., 2007).

O maior acúmulo de matéria seca nos órgãos de brócolis, diâmetro da inflorescência e produção nos tratamentos 100FP e 75FP25M, indica que houve maior sincronia entre a mineralização de N por estes adubos verdes e a demanda pela cultura, uma vez que a quantidade de N aplicada foi igual em todos os tratamentos. A adição da massa dos adubos verdes no solo no momento do transplante das mudas de brócolis resultou em maior sincronia entre a mineralização de N e a demanda pelo brócolis (DINIZ et al., 2007), principalmente nos tratamentos com maior proporção de leguminosas, obtendo-se maiores produções. Por outro lado, se houver mineralização de N e esta não estiver sincronizada com a demanda nutricional da cultura ou se estiver em excesso, o N pode ser facilmente perdido no ambiente, principalmente por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia (MANDAL et al., 2016), nitrificação e desnitrificação (LAN et al., 2014; MORSE; BERNHARDT, 2013) ou incorporadas às frações da matéria orgânica do solo.

Em brócolis ‘Marathon’ sob plantio direto manejado com crotalária e milho (35 kg ha⁻¹ de N) e diferentes doses de N (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹), não houve resposta à adubação nitrogenada, ou seja, somente a adubação verde, crotalária e milho, foram suficientes para atingir produção de inflorescência de 852 e 759 g/planta, respectivamente (BRANCO et al., 2017). Além da produção, houve maior acúmulo de matéria seca e maior diâmetro de inflorescência do que neste trabalho. A maior produção alcançada com uma menor dose de N, se atribui ao híbrido utilizado e às características das áreas de cultivo. O híbrido ‘Marathon’ tem como características maior diâmetro e peso de inflorescência do que o ‘BRO68’, segundo dados das empresas fornecedoras das sementes. O trabalho citado iniciou os experimentos em área com três anos de cultivo de plantas de cobertura (Branco et al., 2017). Assim, havia efeito residual dos cultivos anteriores, o que provavelmente levou à maior disponibilidade de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas de brócolis tanto na crotalária quanto no

milheto. Também há relato em estudo com adubo verde crotalária com efeito residual nos cultivos sucessivos de abóbora e milho (DINIZ et al., 2017a).

A fertilidade inicial do solo interfere no efeito da adubação verde, independente da espécie utilizada, leguminosa ou gramínea. O solo utilizado neste estudo é considerado de fertilidade média, sendo propício ao cultivo de hortaliças e por isso não foi necessário fazer correção de fertilidade. Ainda assim observou-se efeito positivo dos adubos verdes, principalmente no primeiro cultivo de brócolis. Entretanto, esse efeito foi menor do que o observado no estudo de Branco et al. (2017), pois o solo utilizado estava sendo fertilizado com adubo verde nos três anos anteriores ao cultivo de brócolis, resultando em maior teor de nutrientes e matéria orgânica no solo e por isso os resultados obtidos por esses autores são superiores aos nossos.

No primeiro cultivo de brócolis, o adubo verde leguminosa (100FP) foi suficiente para produzir inflorescências de 461 g/planta, valor maior do que a média do híbrido 'BRO 68', que é 350 g de acordo com dados da empresa e foi semelhante a outros estudos com o mesmo híbrido (AMBROSINI et al., 2015; LALLA et al., 2010). No entanto, os resultados sugerem que a partir de 50% de gramínea nas misturas não houve o suprimento suficiente para atender à demanda do brócolis. Isto possivelmente está relacionado com a menor quantidade de nutrientes mineralizados pelas misturas a partir de 50% de gramínea (Figura 2), uma vez que a quantidade total de N fornecido era a mesma. Devido ao baixo teor de N no milheto (1,2%), a quantidade inicial de massa necessária para fornecer 9 g/vaso de N com o 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M e 100M foi 44%, 88%, 132% e 174% maior que a requerida com o 100FP. Com isso, formou-se uma alta camada de massa sobre o solo e a parte superior não ficou em contato com o solo, o que provavelmente interferiu em sua mineralização, além do conhecido efeito de maior C/N e teores de compostos de decomposição mais difícil nas gramíneas.

A menor produção obtida com as misturas e com a gramínea pura, indica que estes adubos podem suprir apenas parcialmente a necessidade nutricional do brócolis e para melhorar seus efeitos é necessário adubação suplementar para obter rendimentos satisfatórios da cultura em sistema de produção orgânico (MURAMOTO et al., 2011). Isto já foi observado em experimento com produção de brócolis sob plantas de cobertura (aveia+ervilhaca+fava), no qual o rendimento da inflorescência aumentou linearmente com a adubação nitrogenada suplementar (farinha de sangue + farinha de penas) com doses de zero a 252 kg ha⁻¹ de N (MURAMOTO et al., 2011).

3.4 Acúmulo de nutrientes em plantas de brócolis

Houve efeito dos tratamentos sobre a quantidade de N acumulado nos órgãos e na fração da quantidade de N na inflorescência (Tabela 4). De maneira geral, o acúmulo de N acompanhou o acúmulo de MS, sendo que os adubos verdes 100FP e 75FP25M (exceto no caule) resultaram em valores superiores aos da testemunha (Tabela 4). O adubo verde 50FP50M resultou em acúmulos de matéria seca semelhante aos da testemunha, mas com maior acúmulo de N.

Tabela 4: Quantidade de N (gramas) no limbo foliar (LF), pecíolo (Pe), caule (Ca), inflorescência (In) e porcentagem da alocação de N na inflorescência (N inflor) em plantas de brócolis submetidas aos diferentes adubos verdes.

Tratamentos	LF	Pe	Ca	Inflor	N inflor (%)
	grama				
Test ¹	0,51	0,11	0,16	0,24	23,5
100FP	2,13 *	0,33 *	0,45 *	1,45 *	33,1 *
75FP25M	1,65 *	0,24 *	0,26	0,99 *	30,8 *
50FP50M	1,20	0,19	0,20	0,74 *	30,4 *
25FP75M	1,15	0,21	0,25	0,58	26,2
100M	0,48	0,12	0,19	0,39	26,8
CV (%)	31,03	30,34	41,91	35,64	19,26
DMS	0,60	0,11	0,20	0,56	10,02

*Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). ¹ Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

As inflorescências acumularam de 23 a 33% do N, proporções similares ao intervalo de 22 a 37% encontrado em outros trabalhos (CONVERSA; BONASIA; ELIA, 2013; MURAMOTO et al., 2011; RINCON et al., 1999). Esse percentual confirma a conclusão de que as inflorescências de brócolis são drenos de nitrogênio durante o desenvolvimento da inflorescência e exportação de nutrientes com a colheita (CECÍLIO FILHO; CARMONA; SCHIAVON JUNIOR, 2017; KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011; VÅGEN; AAMLID; SKJELVÅG, 2007).

Maiores proporções de feijão-de-porco na mistura resultaram em plantas com maior acúmulo de N nas folhas, pecíolo e inflorescência devido a maior mineralização deste nutriente e disponibilidade na solução do solo. As folhas e inflorescências acumularam mais N do que caule e pecíolo, pois ambas são fontes drenos em fases diferentes do desenvolvimento das plantas de brócolis. Durante a fase vegetativa, folhas jovens em desenvolvimento e raízes se comportam como drenos para absorver, assimilar e armazenar aminoácidos através da via de assimilação de nitrato. Estes aminoácidos

também são utilizados na síntese de proteínas e enzimas envolvidas em diferentes vias bioquímicas e fotossintética que governam o crescimento, arquitetura e desenvolvimento da planta. Mais tarde, durante a fase reprodutiva, o aumento da oferta de compostos nitrogenados é necessário para um ótimo crescimento da inflorescência. Nesta fase, a assimilação e remobilização de N se tornam críticas e as folhas agem como a fonte de N para os órgãos reprodutivos e de armazenamento, as inflorescências (KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011). Por isso, folhas e inflorescências têm maior teor (2,53 e 2,92%, respectivamente) e maior quantidade de N (CONVERSA; BONASIA; ELIA, 2013).

A quantidade de N obtida neste trabalho com o tratamento 100FP é maior do que com adubação de 9 t ha⁻¹ de adubo verde + 12 t ha⁻¹ de composto (377,7 kg ha⁻¹ de N) que foi de 1,20 g/planta aos 75 DAT em sistema semelhante (DINIZ et al., 2015). O maior acúmulo de N nas inflorescências obtidas neste trabalho pode ser atribuída a maior mineralização de N, visto que a taxa de decomposição da matéria seca e da mineralização do N é mais rápida em menores doses de adubos verde, principalmente nos primeiros dias após a aplicação (DINIZ et al., 2014).

Houve também maiores quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S nas plantas de brócolis cultivadas com maiores proporções de feijão-de-porco na mistura (Figura 9). De maneira geral, observa-se a seguinte ordem decrescente na quantidade dos macronutrientes nas plantas de brócolis: N>K>P>Ca>Mg>S (Figura 9).

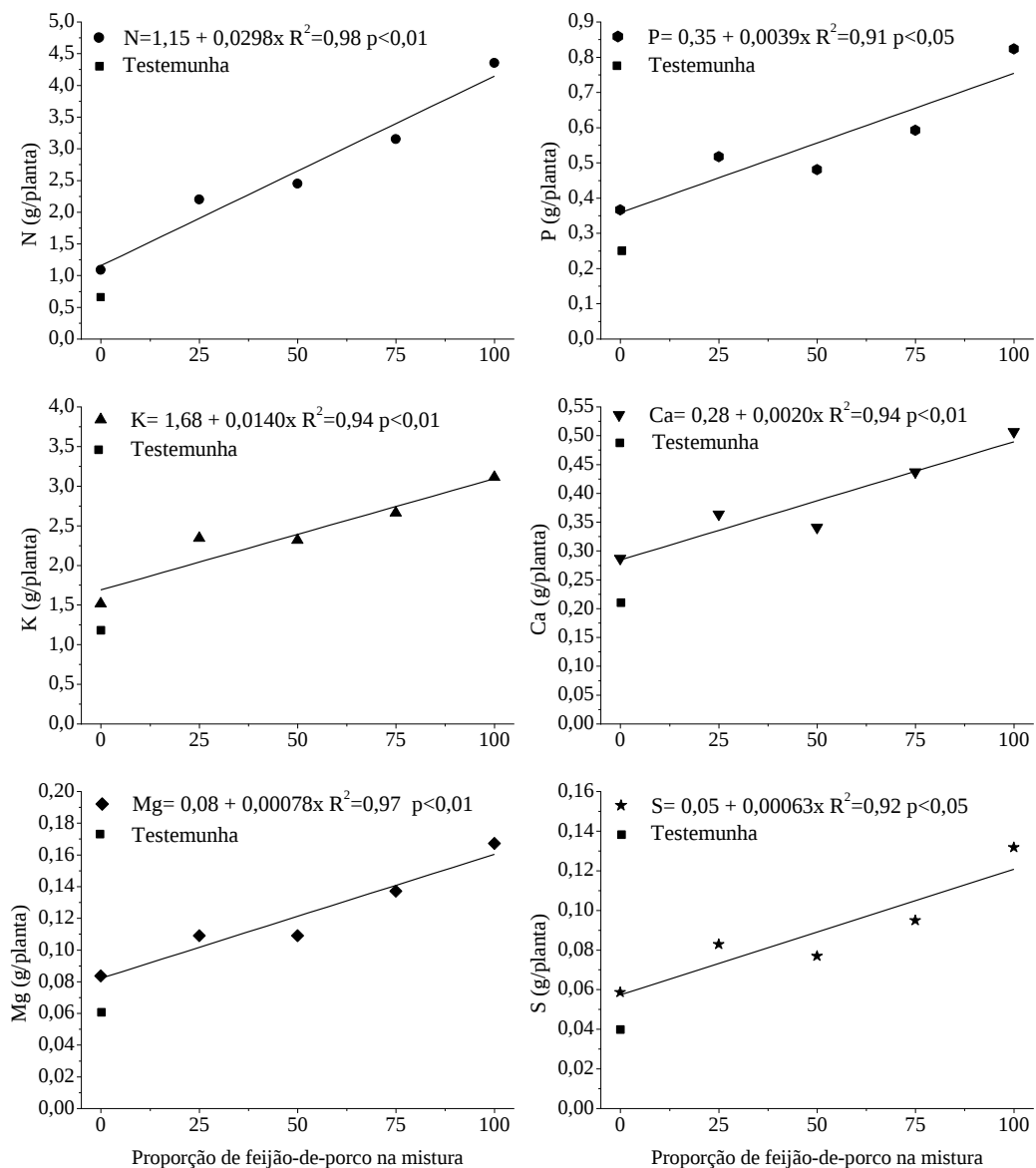


Figura 9: Efeito da proporção de feijão-de-porco na mistura com milheto sobre quantidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) acumuladas nas plantas de brócolis.

Adubos verdes com maior proporção de leguminosa promovem o maior acúmulo de nutrientes nas plantas de brócolis. Isso é atribuído à mineralização de nutrientes nesses adubos verdes, mas principalmente a de N, que influenciou na absorção dos demais nutrientes. Pois, embora a quantidade mineralizada de K tenha sido maior no milheto (Figura 3), a maior absorção de K pelas plantas de brócolis ocorreu no adubo verde com feijão-de-porco puro, pois com este adubo verde houve maior disponibilidade K^+ na solução do solo (Figura 4). A menor absorção do K quando da aplicação da gramínea pura possivelmente se deve à menor disponibilidade de outros nutrientes, menor sincronia entra a mineralização e a demanda pela cultura ou também pela interferência indireta dos demais nutrientes, principalmente N. Sendo o N o nutriente requerido em maior

quantidade e componente principal do crescimento das plantas, sua baixa disponibilidade causa redução no crescimento e na absorção dos outros macronutrientes (CARMONA et al., 2015). A menor taxa de mineralização de N nos tratamentos com maior proporção de gramínea, pode ter afetado o crescimento das raízes o que diminuiu a absorção e acúmulo dos demais nutrientes pelas plantas, entre eles o K (AVALHÃES et al., 2009; CARMONA et al., 2015).

O N e K foram os nutrientes mais acumulados em plantas de brócolis no tratamento com feijão-de-porco puro. Este acúmulo diminuiu à medida em que se aumentou a proporção de milho na mistura (Tabela 5, Figura 9). A quantidade de N obtida neste trabalho com o tratamento 100FP é semelhante à obtida com adubação de 9 t ha⁻¹ de adubo verde + 12 t ha⁻¹ de composto aplicados em vasos de 30 L em casa de vegetação que foi de 5,0 g/planta aos 75 DAT (DINIZ et al., 2015). Tanto as quantidades de N quanto de K foram semelhantes às obtidas em trabalho sobre o acúmulo de nutrientes em brócolis ‘Monaco’ cultivado no campo, de 4,37 e 3,34 g/planta com dose de 310 e 300 kg /ha de N e K, respectivamente (CECÍLIO FILHO et al., 2017). Isso evidencia o potencial dos adubos verdes, principalmente nas maiores proporções de feijão-de-porco, para a nutrição de brócolis. Além disso, menores doses de N utilizados nesse trabalho (200 kg ha⁻¹ de N) foram suficientes para atingir a mesma quantidade de N e K absorvidos com o uso de 377,7 (DINIZ et al., 2015) e 310 kg ha⁻¹ de N (CECÍLIO FILHO; CARMONA; SCHIAVON JUNIOR, 2017). Esses resultados indicam a necessidade de maior compreensão e ajuste das doses de N aplicadas via adubação orgânica.

O fósforo foi o terceiro nutriente mais absorvido pelo brócolis, com maiores quantidades nas maiores proporções de feijão-de-porco. Isso demonstra que a adubação verde com maiores proporções de leguminosas pode contribuir para a maior absorção do P pela cultura do brócolis (PERIN et al., 2010), pois o solo já tinha um bom suprimento de P (Tabela 1) e, mesmo assim, o P foi absorvido em maior quantidade em plantas de brócolis fertilizadas com 100FP. As quantidades presentes na massa seca do brócolis estão dentro da faixa recomendada para a cultura (TRANI; RAIJ, 1997) e superiores aos obtidos em outros estudos (CECÍLIO FILHO; CARMONA; SCHIAVON JUNIOR, 2017), contribuindo assim, para o aumento da produção em brássicas (ELAHI et al., 2015; ISLAM et al., 2010).

Por outro lado, independente do tratamento, as quantidades acumuladas de Ca, Mg e S estão abaixo do encontrado na literatura. Ainda assim, quanto maior a proporção de feijão-de-porco na mistura com milho (100FP e 75FP25M), maior a quantidade de

Ca, Mg e S em brócolis. Nas plantas cultivadas na testemunha (solo sem adubação verde) absorveram 0,20, 0,06 e 0,04 g/planta de Ca, Mg e S, respectivamente (Figura 9). Esses valores são em média 229, 251 e 281% menores do que os obtidos no 100FP e 75FP25M para Ca, Mg e S, respectivamente, demonstrando que houve efeito positivo da adubação verde sobre a absorção de Ca, Mg e S. Isso pode ter acontecido devido a maior mineralização de N, o qual também atuou de forma indireta na absorção desses nutrientes (CARMONA et al., 2015).

No tratamento com milho (100M), o acúmulo de nutrientes foi menor, se assemelhando à testemunha. Isso ocorreu porque os nutrientes não mineralizaram, sendo que 70, 35, 88, 89 e 88% do N, K, Ca, Mg e S, respectivamente, permaneceram na matéria seca do milho puro aos 80 DAT do brócolis. Isso se deve a menor qualidade da massa da gramínea, como a alta relação C/N, lignina/N e lignina, dificultando a mineralização de nutrientes pelos microrganismos e a disponibilidade para as culturas (GABRIEL; QUEMADA, 2011). Por isso, quando houver apenas gramíneas disponíveis para uso como adubo é importante a suplementação de nutrientes com adubação orgânica ou mineral, como discutido anteriormente.

3.5 Acúmulo de matéria seca e N em brócolis e braquiária sob efeito residual dos adubos verdes

Houve redução no ciclo total do brócolis de 60 para 52 dias no cultivo residual (Figura 10).

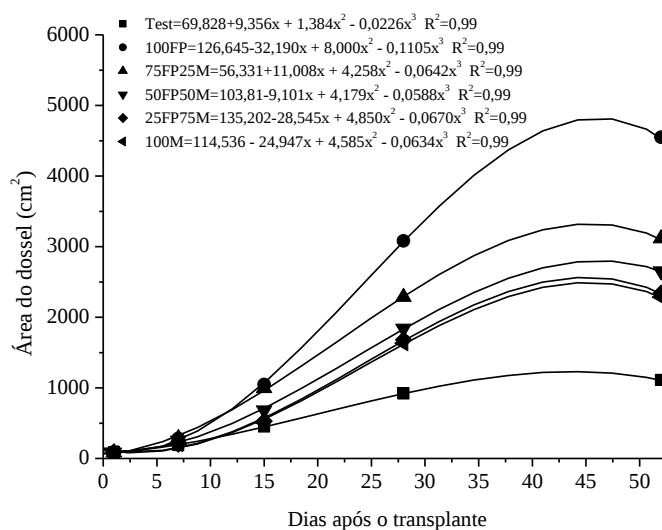


Figura 10: Área do dossel de plantas de brócolis sob efeito residual de diferentes tratamentos. Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

O menor ciclo no cultivo residual se deve ao efeito da temperatura, que é o principal fator que determina a data da iniciação floral no brócolis, afetando a duração do ciclo produtivo (KAŁUŻEWICZ et al., 2010). Durante o cultivo residual, as temperaturas foram crescentes do transplante até a colheita, com máximas acima de 40 °C após a aparição floral. As altas temperaturas aceleraram a abertura floral, pois a planta atingiu mais rápido a necessidade de soma térmica acumulada, que para o brócolis BRO68 é de 1.423,1 graus-dia no outo-inverno e de 1.172,8 graus-dia na primavera-verão nas condições do RS (TREVISAN, 2013), o que levou a diminuir o ciclo fenológico (KAŁUŻEWICZ et al., 2010).

Houve efeito residual dos adubos verdes sobre o crescimento do dossel, acúmulo de matéria seca e produção do brócolis. A área do dossel foi maior nas plantas com maiores proporções de feijão-de-porco (100FP e 75FP25M) e aumentou à medida que os dias passaram após o transplante (Figura 10).

De maneira geral, houve maior acúmulo de matéria seca em todos os órgãos, produção e diâmetro da inflorescência nas plantas cultivadas sob efeito residual dos adubos verdes 100FP e 75FP25M comparado com a testemunha (Tabela 6). A produção e diâmetro das inflorescências de plantas que foram cultivadas sob efeito residual dos adubos verdes 100FP, 75FP25M e 50FP50M foi maior do que a produção de plantas da testemunha (Tabela 8). Similarmente ao primeiro cultivo, sob efeito residual as plantas de brócolis acumularam mais matéria seca na inflorescência, no total da planta e produção à medida que se aumentou a proporção de feijão-porco na mistura (Figura 11).

Tabela 6: Matéria seca no limbo foliar (LF), pecíolo (Pe), caule (Ca), inflorescência (Inflor), total, produção e diâmetro de inflorescência (Diam) de plantas de brócolis do cultivo residual submetido aos diferentes tratamentos

Tratamento	LF	Pe	Ca	Inflor	Total	Diam Infl
	Matéria seca (g)					(cm)
Test ¹	12,9	4,2	6,3	0,4	23,8	0,77
100FP	42,3 *	19,5 *	21,9 *	17,9 *	98,8 *	12,8 *
75FP25M	32,8 *	14,3 *	15,8 *	15,7 *	70,6 *	10,0 *
50FP50M	28,8 *	11,3	10,6	14,1 *	59,2	9,4 *
25FP75M	24,4 *	9,9	9,0	5,4	46,3	5,2
100M	29,8 *	10,3	11,5	3,2	53,5	5,2
CV (%)	26,2	35,9	34,3	30,3	26,3	40,2

*Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). ¹ Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milheto (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milheto (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milheto (25FP75M); 100% milheto (100M).

No cultivo sucessivo de braquiária houve maior acúmulo de matéria seca no tratamento 25FP75M e 100M, sendo superior à testemunha (Figura 12) e de N com 100FP, 25FP75M e 100M (Figura 13). Na soma dos três cultivos (Brócolis + Brócolis Residual + Braquiária), houve maior acúmulo de MS nos tratamentos 100FP e 75FP25M (Figura 12) e de nitrogênio no 100FP, 75FP25M, 50FP50M e 25FP75M (Figura 13).

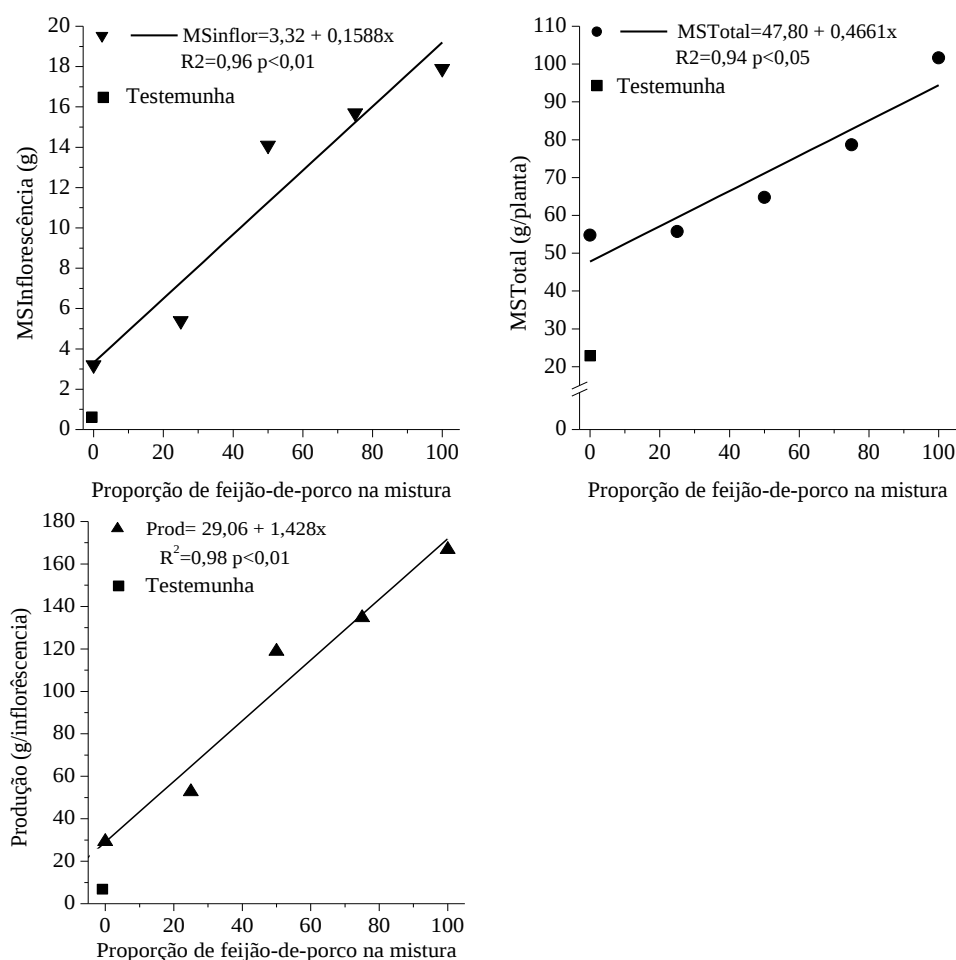


Figura 11: Efeito da proporção de feijão-de-porco na mistura com milho sobre a matéria seca da inflorescência, matéria seca total e produção de plantas de brócolis no cultivo residual.

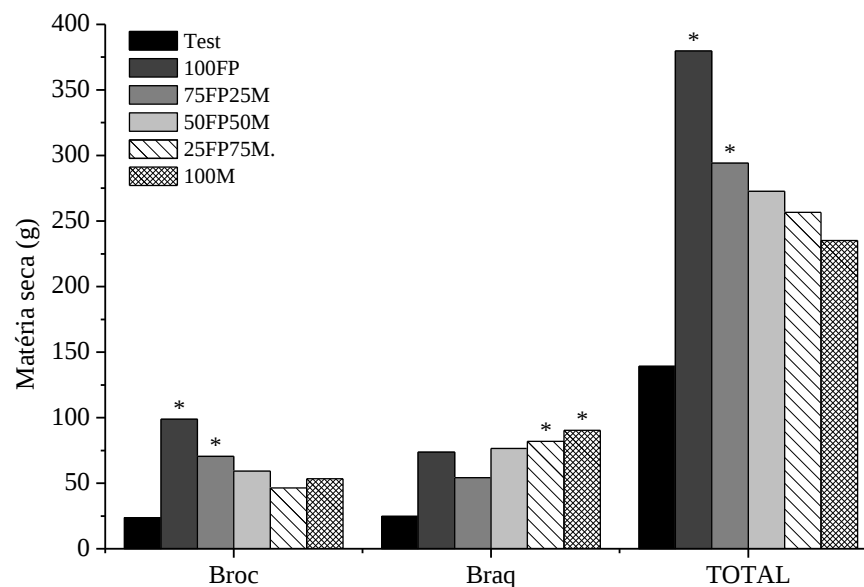


Figura 12: Matéria seca acumulada na parte aérea de plantas de brócolis (Broc) e braquiária (Braq) em cultivo residual sob os diferentes tratamentos. Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

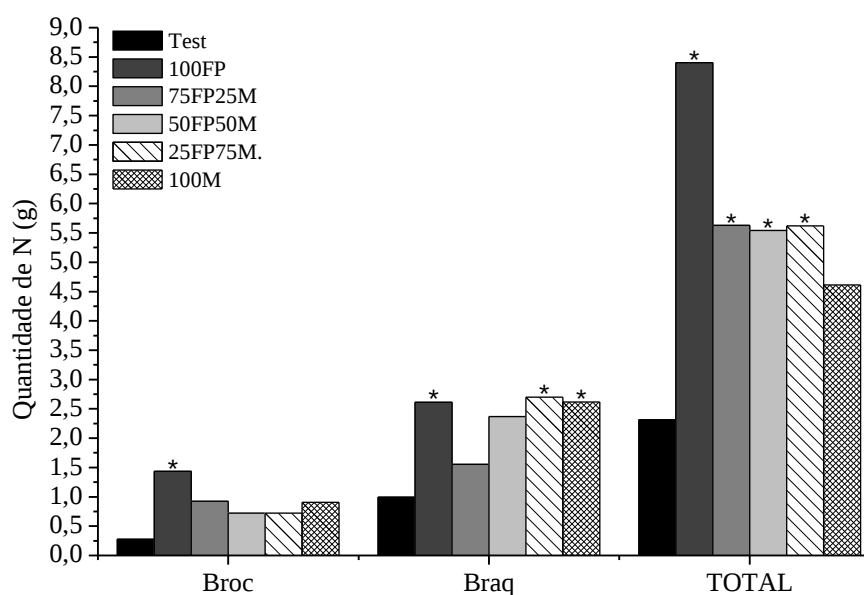


Figura 13: Quantidade de N acumulado na parte aérea de plantas de brócolis (Broc) e braquiária (Braq) em cultivo no residual sob os diferentes tratamentos. *Médias seguidas por * na coluna diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

Os resultados indicam que a adubação com leguminosa apresentou efeitos positivos sobre o rendimento de brócolis no primeiro cultivo e no cultivo subsequente sob

efeito residual, diminuindo com o aumento da proporção de gramínea. As maiores produções, acúmulo de matéria seca e N em brócolis obtidos com maior proporção da leguminosa são devidos a qualidade da massa, como maior quantidade de N, baixa relação C/N e lignina/N o que resultou em maior mineralização. No presente estudo, ambos os cultivos de brócolis adubados unicamente com feijão-de-porco acumularam maiores quantidades de N do que se cultivadas após unicamente o milho ou testemunha, indicando um significativo efeito de fornecimento de N. Isso evidencia o efeito residual das leguminosas em dois cultivos sequenciais, como já observado em outros estudos (DINIZ et al., 2017a; ST LUCE et al., 2015; VARGAS et al., 2017). Pode-se diminuir o uso de adubos nitrogenados, sejam orgânicos ou minerais, diminuir as perdas para o ambiente e as culturas podem ser mais produtivas do que em comparação com adubação com espécies não-leguminosas (SAINJU et al., 2017; XING et al., 2017).

Entretanto, ao longo do tempo esse efeito se dissipa (GRANT et al., 2016) devido às características da mineralização de nutrientes e também pela maior extração de nutrientes pelas plantas dos cultivos anteriores nos tratamentos com maior proporção de feijão-de-porco. Por isso no cultivo de braquiária se observa efeito superior à testemunha da mistura 25FP75M e 100M quanto ao acúmulo de MS e no 100FP, 25FP75M e 100M no acúmulo de N. Isso demonstra que em curto prazo as misturas mais ricas em leguminosa apresentam maior potencial para fornecer nutrientes, enquanto que em longo prazo misturas mais ricas em gramíneas promovem os melhores resultados para as culturas, visto que a mineralização se dá de forma mais lenta (TOSTI et al., 2014).

Entretanto, apesar de haver efeito residual, este não foi suficiente para atender a demanda do brócolis devido a menor quantidade de nutrientes disponibilizados - principalmente N e K - e a fatores ambientais, como altas temperaturas e radiação solar, as quais dificultam a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas de brócolis. Estes fatores reduziram a produção de brócolis abaixo do que se espera da cultura. Mas com a complementação da adubação ou cultivo de espécies menos exigentes em nutrição se torna uma alternativa interessante do ponto de vista agrônomo. Isso ocorreu no cultivo da braquiária, a qual não apresentou problemas visuais de desenvolvimento e apresentou quantidade de 29,8, 31,7, 33,6, 34,5, 34,7 e 37,8 g kg⁻¹ de N nos tratamentos testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, respectivamente. Esses valores são superiores a faixa adequada para a cultura que é de 13 a 20 g kg⁻¹ (WERNER; PAULINO; CANTARELLA, 1996) e aos resultados encontrados na literatura para doses de 300 kg ha⁻¹ de N. Isso demonstra que o solo apresentava fertilidade boa mesmo depois dos

cultivos de brócolis e que as misturas com gramínea têm potencial a longo prazo para disponibilizar nutrientes, entre eles, o N.

Por outro lado, a nível comercial, cerca de 60 a 70% do N absorvido pelas plantas de brócolis do primeiro cultivo pode ser retornado para o sistema, deixando-se os restos culturais no solo que sofrerão ação dos microrganismos e poderão ser mineralizadas e/ou imobilizadas para o próximo cultivo (VARGAS et al., 2017). Mas nesse trabalho esta operação não foi realizada, ou seja, não se retornaram as partes não comerciais para o vaso. Portanto, o N residual é somente dos adubos verdes e do solo.

4. CONCLUSÃO

Quanto maior a proporção de leguminosa na mistura, maior é o crescimento, acúmulo de matéria seca e produção de brócolis.

Os adubos verdes influenciam positivamente a disponibilidade de nutrientes na solução do solo e nas plantas de brócolis.

Os adubos verdes apresentam efeito residual na produção de brócolis e braquiária cultivados em sucessão a cultura do brócolis. O melhor desempenho de plantas de brócolis no cultivo residual foi nas maiores proporções de leguminosa (100FP e 25M), mas com menor crescimento e produção em relação ao primeiro cultivo. No cultivo de braquiária houve maior acúmulo de matéria seca e de N nas maiores proporções de milheto (100M e 25FP75M).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSINI, V. G. et al. Single-head broccoli response to nitrogen application. **Científica**, v. 43, n. 1, p. 84, 2015.
- AUSTIN, A. T.; BALLARÉ, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 10, p. 4218–4622, 2010.
- AVALHÃES, C. C. et al. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de repolho cultivado em solução nutritiva. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, p. 21–28, 2009.
- BALLIU, A. et al. The influence of legume crops on subsequent vegetable (cole) crops. **EuroLegume**, p. 1–18, 2017.
- BASSIRIRAD, H. **Nutrient acquisition by plants: An ecological perspective**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- BOWEN, P. A.; ZEBARTH, B. J.; TOIVONEN, P. M. A. Dynamics of nitrogen and dry-matter partitioning and accumulation in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in relation to extractable soil inorganic nitrogen. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 79, p. 277–286, 1999.
- BRANCO, R. B. F. et al. Nitrogen fertilization of vegetables cultivated under no-tillage after cover crops. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 103–110, 2017.
- CARMO, D. L. et al. Electrical conductivity and chemical composition of soil solution: Comparison of solution samplers in tropical soils. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–17, 2016.
- CARMONA, V. M. V. et al. Acúmulo de nutrientes e massa seca de brócolis cabeça única em função da omissão de macronutrientes. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciencias do Solo**, n. 1, p. 1–4, 2015.
- CECÍLIO FILHO, A. B.; CARMONA, V. M. V.; SCHIAVON JUNIOR, A. A. Broccoli growth and nutrient accumulation. **Científica**, v. 45, p. 95–104, 2017.
- CHARLO, H. C. et al. Análise de crescimento, distribuição de matéria seca e produção de couve brócolis de cabeça única “Legacy”. **Congresso Brasileiro de Olericultura**, v. 47, p. 1–4, 2007.
- CHIEZA, E. D. et al. Marcação de leguminosa com ^{15}N para estudos da dinâmica de N, derivado de adubo verde, no sistema solo-planta. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 72, p. 16, 2011.
- CONVERSA, G.; BONASIA, A.; ELIA, A. Growth and nitrogen uptake of two broccoli cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1005, p. 633–640, 2013.
- CREWS, T. ; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 101–120, 2005.
- DINIZ, E. R. et al. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 199–206, 2007.

- DINIZ, E. R. et al. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1428–1434, 2008.
- DINIZ, E. R. et al. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Cientifica**, p. 51–59, 2014.
- DINIZ, E. R. et al. Crescimento e produção de brócolis adubado com doses de mucuna-cinza em casa de vegetação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1277–1286, 2015.
- DINIZ, E. R. et al. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 395–401, 2017a.
- DINIZ, E. R. et al. Doses of *Crotalaria juncea*: Residual effect on zucchini and maize crop in sequence to broccoli. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600–606, 2017b.
- ELAHI, E. et al. Response of cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) cultivars to phosphorus levels. **Pure and Applied Biology**, v. 4, p. 187–194, 2015.
- FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 28, n. 4, p. 641–648, 2004.
- FERNANDES, D. M. et al. Fósforo na solução do solo em resposta à aplicação de fertilizantes fluidos mineral e organomineral. **Irriga**, Edição esp, p. 14–27, 2015.
- GABRIEL, J. L.; QUEMADA, M. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system : Yield, N uptake and fertiliser fate. **European Journal of Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 133–143, 2011.
- GASKELL, M.; SMITH, R. Nitrogen sources for organic vegetable crops. **HorTechonology**, v. 4461, n. December, p. 431–441, 2007.
- GRANT, C. A. et al. Residual effects of preceding crops and nitrogen fertilizer on yield and crop and soil N dynamics of spring wheat and canola in varying environments on the Canadian prairies. **Field Crops Research**, v. 192, p. 86–102, 2016.
- GROHSKOPF, M. A. et al. Soil solution nutrient availability, nutritional status and yield of corn grown in a typic hapludox under twelve years of pig slurry fertilizations. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1–13, 2016.
- HALDE, C.; ENTZ, M. H. Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, p. 59–71, 2016.
- ISLAM, M. et al. Curd yield and profitability of broccoli as affected by phosphorus and potassium. **International Journal Sustainable Crop Production**, v. 5, p. 1–7, 2010.
- JOKELA, D.; NAIR, A. No tillage and ttrip tillage effects on plant performance, weed suppression, and profitability in transitional organic broccoli production. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1103–1110, 2016.
- KAISER, D. R. et al. Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 379–388, 2010.
- KALUŻEWICZ, A. et al. The effect of temperature on the broccoli yield and length of the period from head initiation to harvest. **Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum**

Cultus, v. 9, n. 3, p. 167–174, 2010.

KANT, S.; BI, Y. M.; ROTHSTEIN, S. J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1499–1509, 2011.

LALLA, J. G. et al. Competição de cultivares de brócolis tipo cabeça única em Campo Grande. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 360–363, 2010.

LAN, T. et al. Sources of nitrous and nitric oxides in paddy soils: Nitrification and denitrification. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, p. 581–592, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.

MANDAL, S. et al. Chemosphere Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. **Chemosphere**, v. 142, p. 120–127, 2016.

MIRANDA, J. et al. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 633–647, 2006.

MOHAMED, E. M. . et al. Dry matter accumulation and potato productivity with green manure. **Idesia (Arica)**, v. 35, n. 1, p. 79–86, 2017.

MÖLLER, K.; STINNER, W.; LEITHOLD, G. Growth, composition, biological N₂ fixation and nutrient uptake of a leguminous cover crop mixture and the effect of their removal on field nitrogen balances and nitrate leaching risk. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, n. 3, p. 233–249, 2008.

MORSE, J. L.; BERNHARDT, E. S. Using ¹⁵N tracers to estimate N₂O and N₂ emissions from nitrification and denitrification in coastal plain wetlands under contrasting land-uses. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 635–643, 2013.

MURAMOTO, J. et al. Nitrogen contribution of legume/cereal mixed cover crops and organic fertilizers to an organic broccoli crop. **HortScience**, v. 46, n. 8, p. 1154–1162, 2011.

N'DAYEGAMIYE, A. et al. The benefits of legume crops on corn and wheat yield, nitrogen nutrition, and soil properties improvement. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1653–1665, 2015.

PEREIRA FILHO, A. et al. Nutrients dynamics in soil solution at the outset of no-till implementation with the use of plant cocktails in Brazilian semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 4, p. 234–246, 2016.

PÉREZ, D. V.; RIGO, M. M.; MARQUES, M. C. Fase Líquida: a solução do solo. In: **Recurso solo: propriedades e usos**. 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 222–249.

PERIN, A. et al. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 274–281, 2010.

RADICETTI, E. et al. How winter cover crops and tillage intensities affect nitrogen availability in eggplant. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 2, p. 177–194, 2017.

- RAHMAN, M. M. et al. Tropical legume crop rotation and nitrogen fertilizer effects on agronomic and nitrogen efficiency of rice. **Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–11, 2014.
- RINCON, L. et al. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. **Investigacion Agraria**, v. 14, n. 1, p. 225–236, 1999.
- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355–362, 2003.
- SAINJU, U. M. et al. Soil residual nitrogen under various crop rotations and cultural practices. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, p. 187–198, 2017.
- ST LUCE, M. et al. Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat–canola cropping sequence in western Canada. **Field Crops Research**, v. 179, p. 12–25, 2015.
- TOSTI, G. et al. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 136–146, 2012.
- TOSTI, G. et al. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p. 34–39, 2014.
- TREVISAN, J. N. **Crescimento, desenvolvimento e produção de brócolis de cabeça única**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2013.
- VÅGEN, I. M.; AAMLID, T. S.; SKJELVÅG, A. O. Nitrogen fertilization to broccoli cultivars at different planting times: Yield and nitrogen use. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science**, v. 57, n. 1, p. 35–44, 2007.
- VAHDAT, E.; NOURBAKHSH, F.; BASIRI, M. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 243–246, 2011.
- VARGAS, T. D. O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 562–568, 2011.
- VARGAS, T. D. O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209–213, 2017.
- WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. VAN; et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, Boletim técnico 100, 1996. p. 263–273.
- XING, H. et al. Incorporating grain legumes in cereal-based cropping systems to improve profitability in southern New South Wales, Australia. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 112–123, 2017.
- ZHANG, J. B. et al. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations. **European Journal of Soil Science**, v. 63, n. 1, p. 75–85, 2012.

Capítulo 3: Respostas fisiológicas e metabólicas em plantas de brócolis adubadas com diferentes proporções gramínea: leguminosa

RESUMO: Gramíneas e leguminosas impactam diferentemente a quantidade de N no solo ao longo do tempo devido, principalmente, às diferenças nas características químicas da sua massa. Tais modificações na disponibilidade de N afetam a absorção e assimilação de N, as quais influenciarão processos fisiológicos diversos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças nas trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e alguns aspectos metabólicos em folhas de brócolis sob diferentes adubos verdes. O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milho (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. Aos 40 dias após o transplante de brócolis avaliou-se a área do dossel, o teor de N, as trocas gasosas e análises metabólicas na folha índice de brócolis. Quanto maior a proporção de feijão-de-porco maior o teor de N e o conteúdo de aminoácidos, proteínas e malato e menor o conteúdo de amido devido, possivelmente, a maior mineralização de N neste adubo verde. Palavras-chave: metabolismo primário, nitrogênio, aminoácidos, proteína, amido, malato.

ABSTRACT: Grasses and legumes affect differently the amount of N in the soil over time, mainly due to the differences in the chemical characteristics of its mass. Changes in the availability of N influence the absorption and assimilation of N, which will influence physiological processes in the plants. The objective of this paper is to evaluate the changes in gas exchange, chlorophyll fluorescence and biochemical activity in leaves of broccoli grown under different green manures amendments. The experiment was designed in a complete randomized block design, using the mass of jack bean (JB) and millet (M) pure and in mixtures and one control, totaling six treatments: Control, 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M, 100M, with four replicates. The canopy area, N content, gas exchange and biochemical analyzes were evaluated on the broccoli index leaf 40 days after broccoli transplantation. The higher proportion of jack bean, the higher the canopy area, the N content and the amino acid, protein and malate content, and lower starch content, possibly due to the higher N mineralization in this green manure.

Keywords: primary metabolism, nitrogen, amino acids, protein, starch, malate

1. INTRODUÇÃO

Uma das formas de fornecer nitrogênio (N) aos cultivos é baseada em adubos verdes, cujos nutrientes são disponibilizados a partir da sua mineralização devido à

decomposição da massa cortada ou roçada (TEI; NICOLA; BENINCASA, 2017). Leguminosas são mais utilizadas como adubos verdes pois acumulam grandes quantidades de N na sua massa (CAMPIGLIA et al., 2010) e se decompõem mais rapidamente. Por outro lado, gramíneas são empregadas, principalmente, para evitar a erosão do solo, absorver o N inorgânico residual e reduzir a lixiviação de nitrato (MÖLLER; STINNER; LEITHOLD, 2008; TOSTI et al., 2012).

Registre-se também que gramíneas e leguminosas afetam diferentemente a quantidade de N no solo ao longo do tempo devido, principalmente, às diferenças nas características químicas da sua massa. Entretanto, as plantas desenvolveram mecanismos sofisticados para lidar com concentrações variáveis de N no solo. Além de seu papel como nutriente, o nitrato é um sinalizador local e sistêmico que coordena sua absorção com o crescimento e desenvolvimento das plantas (ALVAREZ; VIDAL; GUTIÉRREZ, 2012). O nitrato induz mudanças na transcrição de genes envolvidos na absorção de N, assimilação de nitrato, produção de equivalentes redutores necessários para o metabolismo de N e C, além de uma série de outras funções, como a regulação do crescimento e arquitetura radicular, o controle do crescimento das folhas e indução da floração (UNDURRAGA et al., 2017). Dentro da célula, o nitrato é reduzido pela Nitrato Redutase (NR) e o nitrito é reduzido ainda a amônia pela Nitrito Redutase (NiR). A amônia gerada é incorporada ao aminoácido glutamato para gerar glutamina pelo ciclo GS/GOGAT. As reações subsequentes transferem o N assimilado para outros aminoácidos ou biomoléculas (KRAPP, 2015). Uma vez que a incorporação de N inorgânico em aminoácidos requer um esqueleto de C, um equilíbrio delicado entre N e C deve ser alcançado pela planta (ALVAREZ; VIDAL; GUTIÉRREZ, 2012). Cerca de 75% do N é alocado nos cloroplastos, e destes, a maioria é usado na síntese de componentes do aparelho fotossintético. Ademais, a enzima Rubisco, que desempenha papel fundamental na assimilação de carbono, é fortemente afetada por condições de baixa disponibilidade de N (CIOMPI et al., 1996; KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011; MCALLISTER; BEATTY; GOOD, 2012). Não obstante, em condições de baixa disponibilidade de N, a síntese de compostos carbonados e nitrogenados essenciais ao crescimento de plantas, como aminoácidos, carboidratos, proteínas e outros compostos utilizados na fotossíntese, é largamente afetada (NUNES-NESE; FERNIE; STITT, 2010).

Estudos com o uso de adubos verdes no cultivo de hortaliças estão em franca expansão; porém, pouco, ou nada, se conhece acerca dos efeitos desses adubos sobre as taxas fotossintéticas e o acúmulo de compostos carbonados e nitrogenados. Com isso, o

objetivo deste trabalho foi investigar as mudanças nas trocas gasosas, fluorescência da clorofila e atividade bioquímica em folhas de brócolis fertilizados com diferentes adubos verdes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos gerais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil, localizada a 20°45'14" S e 42°52'53" W, a 650 m de altitude, no período de junho a agosto de 2016. A temperatura e umidade relativa média foram 23,7 °C e 58,5%, respectivamente.

Utilizou-se feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) como espécie leguminosa e milho (*Penissetum glaucum* (L.) R. Br.) como espécie gramínea. Amostras da massa de milho e feijão-de-porco (folha + caule) foram retiradas, colocadas em estufa a 65 °C até massa constante para a determinação da matéria seca da parte aérea. Posteriormente, amostras foram trituradas e o N-total determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO, 1995).

O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milho (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. A quantidade total de N aplicada foi a mesma em todos os tratamentos (9 g/vaso). A testemunha caracterizou-se pelo mesmo solo utilizado nos demais tratamentos, sem adubação. O feijão-de-porco apresentava 3,3% de N e o milho 1,2% de N e em função disso calculou-se a quantidade de massa de cada espécie nos tratamentos (Tabela 1). A parcela experimental consistiu de vasos de 70 L, os quais foram preenchidos com solo oriundo de área agrícola. Os adubos verdes foram aplicados sobre o solo.

Tabela 1: Matéria seca de feijão-de-porco (MSFP), de milho (MSM) e total (MST) depositada em cada vaso (70 L) de acordo com o tratamento.

Tratamento	MSFP (N) (g/vaso)	MSM (N) (g/vaso)	MST (N) (g/vaso)
100FP*	272,73 (9,0) ¹	0,00 (0,0)	272,73 (9,0)
75FP25M	204,55 (6,7)	187,50 (2,3)	392,05 (9,0)
50FP50M	136,36 (4,5)	375,00 (4,5)	511,36 (9,0)
25FP75M	68,18 (2,3)	562,50 (6,7)	630,68 (9,0)
100M	0,00 (0,0)	745,71 (9,0)	745,71 (9,0)

*100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M). ¹ Os valores entre parênteses se referem a quantidade de nitrogênio adicionada aos vasos pela massa do feijão-de-porco, milho e total.

2.2 Cultivo de brócolis

Sementes do cultivar de brócolis de cabeça única BRO 68[®] foram transplantadas para os vasos 33 dias após a semeadura. A irrigação foi realizada manualmente conforme a necessidade da cultura, em sistema fechado, com recuperação e retorno da água drenada. Após coleta de parte da folha índice para as análises bioquímicas (item 2.4), o restante da folha foi seca em estufa a 65 °C, triturada e o N-total determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO, 1995).

2.3 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

As trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* foram realizadas utilizando-se a folha índice aos 40 DAT, período de maior absorção de nutrientes pelo brócolis (BOWEN; ZEBARTH; TOIVONEN, 1999). Para tanto, utilizou-se um analisador de gases infravermelho em sistema aberto, acoplado um fluorômetro (IRGA, Li-cor Inc. LI-6400XT, Lincoln, EUA). A taxa de assimilação líquida do carbono (A_N , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima emitida (F_m) e os demais parâmetros relacionados à fluorescência foram determinados sob concentração controlada de CO_2 ($400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e irradiância ($1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com 10% de luz azul) e temperatura e vapor de água ambiente.

2.4 Análises bioquímicas

Aos 40 DAT, na mesma folha utilizada para as trocas gasosas, amostras de material vegetal (~25 mg) foram coletadas, entre 11:00 e 12:00 h, e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido, sendo armazenadas a -80 °C, procedendo-se, *a*

posteriori, à extração e determinação de açúcares solúveis, aminoácidos totais, malato, proteínas e pigmentos.

As amostras foram submetidas à extração etanólica, à quente, determinando-se, na fração solúvel em etanol, os teores de glicose, frutose e sacarose (FERNIE et al., 2001), aminoácidos totais e proteínas (CROSS et al., 2006) e malato (NUNES-NESI et al., 2007) e na fração insolúvel, os teores de amido (FERNIE et al., 2001).

Os teores de clorofilas (*a* e *b*) foram determinados nos extratos etanólicos, em leitor de microplacas de ELISA (PORRA; THOMPSON; KRIEDEMANN, 1989). Os teores de clorofila totais (*a*+*b*) assim como a razão clorofila *a*/*b* foram calculados (LICHTENTHALER; WELLBURN, 1983).

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias dos adubos verdes com a testemunha realizada através do teste de Dunnett ($p < 0,05$), com auxílio do programa estatístico SAS 9.0. Também se realizou análise de regressão dos efeitos das proporções de leguminosa na mistura. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo, utilizando-se o programa OriginPro 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teor de N

Houve aumento no teor de N da folha índice à medida que aumentou a proporção de feijão-de-porco na mistura (Figura 1). O maior teor de N na folha índice de brócolis com aplicação de 100FP se deve a maior mineralização e disponibilidade deste nutriente

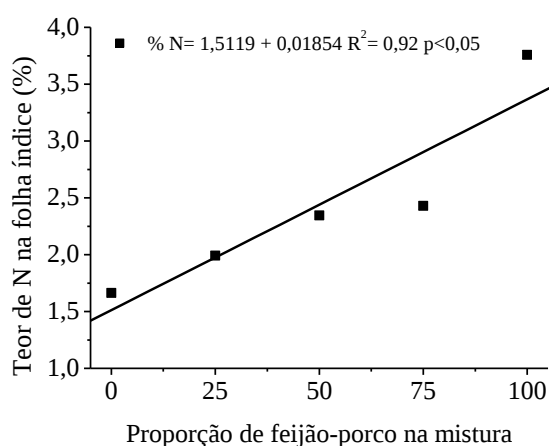


Figura 1: Efeito da proporção feijão-de-porco na mistura sob o teor de nitrogênio (N) da folha índice do brócolis aos 40 dias após o transplante.

na solução do solo (Capítulo 2) para absorção pelas raízes de brócolis. Também reflete, em parte, o investimento das folhas em proteínas fotossintéticas como a Rubisco (BOUSSADIA et al., 2010), uma vez que cerca de 50% do N total da folha em plantas C3 está alocado na Rubisco (KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011; MCALLISTER; BEATTY; GOOD, 2012).

3.2 Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e pigmentos

Tanto a taxa de transporte de elétrons (ETR), o coeficiente de extinção fotoquímico (qP) quanto o rendimento quântico do fotossistema II (ΦPSII) foram maiores em plantas cultivadas com o adubo verde 100FP quando comparados com a testemunha (Tabela 2). Entretanto não se verificou efeito dos tratamentos sobre *A*, *g_s*, *C_i*, *F_v*/*F_m* e *E* (Tabela 2).

Tabela 2: Fotossíntese (*A*); concentração interna de CO₂ (*C_i*); condutância estomática (*g_s*); taxa de transporte de elétrons (ETR); transpiração (*E*); coeficiente de extinção fotoquímico (qP); rendimento quântico do fotossistema II (ΦPSII) e *F_v*/*F_m* e m folhas de brócolis em função dos tratamentos aos 40 DAT.

Trat.	<i>A</i> μmo CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	<i>C_i</i> μmol	<i>g_s</i> -- mol m ⁻² s ⁻¹ --	ETR	<i>E</i> mmol m ⁻² s ⁻¹	qP	ΦPSII	<i>F_v</i> / <i>F_m</i>
Test ¹	25,36	211,76	0,36	171,68	2,94	0,60	0,39	0,63
100FP	26,03	197,28	0,33	195,08*	2,71	0,68*	0,45 *	0,66
75FP25M	24,92	202,62	0,33	173,42	2,67	0,62	0,40	0,64
50FP50M	26,55	210,22	0,36	180,56	2,93	0,63	0,41	0,65
25FP75M	25,68	196,92	0,31	182,57	2,54	0,63	0,42	0,66
100M	25,67	217,91	0,39	176,57	3,12	0,63	0,40	0,64
CV (%)	7,21	8,41	13,12	6,10	10,55	4,88	6,10	1,86
DMS	3,69	34,55	0,09	21,87	0,59	0,05	0,05	2,80

¹Testemunha (Test.), 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M). Médias seguidas por * diferem da Testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Observou-se, pelas análises da fluorescência da clorofila *a*, maiores taxa de transporte de elétrons (ETR), coeficiente de extinção fotoquímico (qP) e rendimento quântico do fotossistema II (ΦPSII) em plantas fertilizadas com 100FP, sem alterar a eficiência do FSII aberto (*F_v*/*F_m*) (Tabela 2). Esses resultados sugerem que a energia absorvida foi utilizada e, ou, dissipada de forma eficiente e indica que a maquinaria fotoquímica das folhas de brócolis foi mais eficiente no tratamento 100FP. Em conjunto, tais resultados demonstram que o N mineralizado por esse adubo verde influenciou, de maneira positiva, a atividade fotoquímica em brócolis.

3.3 Análises bioquímicas

Em relação a testemunha houve maior conteúdo de aminoácidos e amido em plantas fertilizadas com 100FP e 75FP25M bem como de proteína no 100FP (Tabela 3). Os tratamentos 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M e 100M apresentaram menor conteúdo de glicose e maior conteúdo de frutose do que a Testemunha. Não se observaram alterações no conteúdo de sacarose. O conteúdo de malato em plantas cultivadas com 100FP foi superior àquelas cultivadas na Testemunha (Tabela 3).

Tabela 3: Conteúdo de proteínas (prot.), amido, malato (mal.), glicose (glic.), frutose (frut.), sacarose (sac.), malato (mal.), aminoácidos (aa), clorofila total (ChlT) e razão clorofila *a/b* (*a/b*) em folhas de brócolis em função dos tratamentos aos 40 DAT

Trat	Prot. mg g ⁻¹ MF	Amido μmol glicose g ⁻¹	Mal. μmol g ⁻¹	Glic. μmol g ⁻¹	Frut. μmol g ⁻¹	Sac. μmol g ⁻¹	aa μmol g ⁻¹	ChlT	<i>a/b</i>
Test ¹	10,65	47,90	10,15	21,48	11,11	4,39	11,30	2401,00	3,70
100FP	15,36 *	20,94 *	22,99 *	21,37	10,83	3,86	24,55 *	2833,11	4,24
75FP25M	12,04	35,00 *	16,33	16,52 *	26,54 *	3,70	22,68 *	3086,82	4,27
50FP50M	11,10	38,67	14,45	15,50 *	24,22 *	4,74	14,65	2861,49	4,21
25FP75M	14,77	51,10	11,77	15,96 *	26,07 *	3,70	16,95	2882,58	3,97
100M	9,23	41,14	18,03	13,47 *	20,78 *	5,27	15,17	2800,54	3,98
CV (%)	17,68	15,95	40,30	12,36	16,54	24,14	22,96	13,94	7,86
DMS	4,29	12,42	12,56	4,28	6,57	2,05	8,02	704,65	0,63

¹ Testemunha (Test.), 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M). Médias seguidas por * diferem da Testemunha pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Nos tratamentos com maiores proporções de feijão-de-porco (100FP e 75FP25M), maiores conteúdos de proteínas e menores conteúdos de amido foram observados, indicando que esqueletos de carbono foram desviados para a assimilação do N. Tanto o crescimento como o desenvolvimento vegetal são extremamente dependentes da interação entre os metabolismos do C e N (NUNES-NESI; FERNIE; STITT, 2010) e, assim, as alterações observadas no que diz respeito ao crescimento devem estar associadas às alterações no perfil metabólico. Por isso, as alterações observadas no perfil metabólico das plantas de brócolis explicam, ao menos parcialmente, a interferência do tipo de adubo verde e, por consequência, é plausível sugerir que a mineralização de N afeta o crescimento e a produção de brócolis (mais detalhes no Capítulo 2). Nesse contexto, as diferenças observadas na concentração de aminoácidos e de proteínas podem ser explicadas pela maior absorção de N em plantas cultivadas nos tratamentos 100FP e 75FP25M, como evidenciado pelo maior teor de N nas plantas fertilizadas com estes adubos verdes (Figura 1). Após a absorção de nitrato ou amônio, este é incorporado em aminoácidos pelas enzimas sintetase da glutamina (GS) e sintase do glutamato (GOGAT),

formando glutamina (GLN), glutamato (GLU) e outros aminoácidos e seus metabólitos (UNDURRAGA et al., 2017) que são a base para o acúmulo de matéria seca em plantas (NUNES-NESI; FERNIE; STITT, 2010). É plausível sugerir, portanto, que a expressão e/ou atividade dessas enzimas tenham sido afetadas em plantas cultivadas nos tratamentos 100FP e 75FP25M. Estudos futuros devem se concentrar em como e em que extensão essas enzimas são diretamente afetadas em resposta a proporções de adubo verde.

De forma geral, a atividade de forças fonte, tais como a fotossíntese e a mobilização de nutrientes, são positivamente reguladas sob condições de baixo conteúdo de açúcares, ao passo que as atividades-dreno (e.g. crescimento e armazenamento) são positivamente reguladas somente quando as fontes de carbono são abundantemente disponíveis (TAIZ et al., 2017; WHITE et al., 2016). Nesse contexto, a glicose e a frutose foram os açúcares em maior quantidade e diferiram entre os tratamentos, indicando assim que as maiores quantidades de glicose em plantas fertilizadas com 100FP foram consequência de uma menor força dreno (acúmulo de amido), o que estaria associada ao maior crescimento das plantas neste tratamento (Capítulo 2). Ademais, o amido é uma forma transitória de armazenamento de carbono que se acumula nas folhas durante o dia e é remobilizado durante a noite para suportar o crescimento e metabolismo (STITT; ZEEMAN, 2012). Estudos genéticos e fisiológicos têm demonstrado que o amido desempenha um papel essencial na distribuição diurna de C em muitas plantas. Assim, em um estudo com 400 acessos de *Arabidopsis* foi possível demonstrar que amido e proteína se correlacionam com o acúmulo de biomassa, sugerindo que a rede regulatória que determina o teor de amido e proteína contribui para a regulação do crescimento e produção de biomassa das plantas (SULPICE et al., 2009). Portanto, o baixo teor de amido associado ao alto teor de proteína parece ter contribuído para o maior acúmulo de matéria seca (207 gramas) em plantas de brócolis fertilizadas com 100FP, valor 248% maior que a Testemunha. Além disso, provavelmente a sacarose está sendo exportada do local de síntese (folhas) para regiões de consumo (caule, raízes, gemas vegetativas e inflorescência) nos quais será utilizada para manter o crescimento da planta. Assim, é possível observar uma tendência na redução do teor de sacarose nas plantas fertilizadas com 100FP e 75FP25M (Tabela 3). Ao contrário, quando há redução no crescimento em virtude da menor disponibilidade de N, a utilização de assimilados é aparentemente reduzida e assim a produção de proteínas é menor e maiores quantidades de C podem ser desviadas para a formação de amido (RUFTY et al., 1988), como verificado no 100M e

testemunha, o que pode indicar que tais plantas estariam, ao menos em parte, sob estresse (THALMANN; SANTELIA, 2017).

Houve maior acúmulo de malato em folhas de brócolis com o tratamento 100FP, correspondendo a um incremento de 226% em relação às plantas cultivadas na testemunha (Tabela 4). Tem sido demonstrado que, assim como o amido, malato e fumarato acumulam-se em folhas de *Arabidopsis* durante o dia e são degradadas à noite (PRACHAROENWATTANA et al., 2010), funcionando como fontes de C para o crescimento vegetal. Ademais, o acúmulo de malato é reduzido quando a disponibilidade de N é muito baixa (FERNIE; MARTINOIA, 2009) havendo, assim, uma estreita ligação entre o acúmulo de malato e a assimilação de N (NUNES-NESI; FERNIE; STITT, 2010). Nesse contexto, é plausível sugerir que o maior crescimento e produção das plantas de brócolis nos tratamentos com maiores proporções de N fornecido pelo feijão-de-porco ocorreram devido, em larga extensão, a maior mineralização de N. Assim, a presença de maiores quantidades de N disponível na solução do solo parece estar associada a maior absorção e assimilação de N em compostos nitrogenados e de C (e.g., proteínas, aminoácidos e malato) e a uma redução nos níveis de amido culminando em um balanço adequado entre crescimento e metabolismo.

4. CONCLUSÃO

O trabalho em apreço apresenta evidências de que o tipo de adubo verde influencia fortemente na eficiência fotoquímica e metabolismo em plantas de brócolis. Embora a atividade fotossintética não tenha sido drasticamente afetada, as mudanças metabólicas associadas à redução no teor de N e na produção final de matéria seca demonstram a contribuição dos adubos verdes com maiores proporções de leguminosa no desenvolvimento das plantas de brócolis devido, muito provavelmente, a maior mineralização de N. Isso nos leva a sugerir que, possivelmente, levou a maior absorção e assimilação de N em compostos nitrogenados e carbonados em plantas fertilizadas com maiores proporções de feijão-de-porco. No entanto, estudos futuros devem ainda ser realizados a fim de se entender como e em que extensão as enzimas de assimilação de N são afetadas em resposta as diferentes proporções de gramínea: leguminosa como adubo verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLIU, A. et al. The influence of legume crops on subsequent vegetable (cole) crops. **EuroLegume**, p. 1–18, 2017.
- BOUSSADIA, O. et al. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars “Meski” and “Koroneiki”. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 3, p. 336–342, 2010.
- BOWEN, P. A.; ZEBARTH, B. J.; TOIVONEN, P. M. A. Dynamics of nitrogen and dry-matter partitioning and accumulation in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in relation to extractable soil inorganic nitrogen. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 79, p. 277–286, 1999.
- CAMPIGLIA, E. et al. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 94–102, 2010.
- CIOMPI, S. et al. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, v. 118, n. 2, p. 177–184, 1996.
- CRAWFORD, N. M. Nitrate:nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, v. 7, p. 859–868, 1995.
- CREWS, T. .; PEOPLES, M. . Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 102, n. 3, p. 279–297, 2004.
- DINIZ, E. R. et al. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1428–1434, 2008.
- EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, v. 78, n. 1, p. 9–19, 1989.
- FERNIE, A. R. et al. Fructose 2,6-bisphosphate activates pyrophosphate: fructose-6-phosphate 1-phosphotransferase and increases triose phosphate to hexose phosphate cycling in heterotrophic cells. **Planta**, v. 212, p. 250–263, 2001.
- FERNIE, A. R.; MARTINOIA, E. Malate: jack of all trades or master of a few? **Phytochemistry**, v. 70, p. 828–832, 2009.
- KANT, S.; BI, Y. M.; ROTHSTEIN, S. J. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1499–1509, 2011.
- LICHTENTHALER, H.; WELLBURN, A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, n. 1955, p. 591–592, 1983.
- MARTINOIA, E.; RENTSCH, D. Malate compartmentation-responses to a complex metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 447–467, 1994.
- MCALLISTER, C. H.; BEATTY, P. H.; GOOD, A. G. Engineering nitrogen use efficient

crop plants: The current status. **Plant Biotechnology Journal**, v. 10, n. 9, p. 1011–1025, 2012.

MÖLLER, K.; STINNER, W.; LEITHOLD, G. Growth, composition, biological N₂ fixation and nutrient uptake of a leguminous cover crop mixture and the effect of their removal on field nitrogen balances and nitrate leaching risk. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, n. 3, p. 233–249, 2008.

NUNES-NESI, A. et al. Deficiency of mitochondrial fumarase activity in tomato plants impairs photosynthesis via an effect on stomatal function. **Plant Journal**, v. 50, p. 1096–1106, 2007.

NUNES-NESI, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. **Molecular Plant**, v. 3, n. 6, p. 973–996, 2010.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 975, n. 3, p. 384–394, 1989.

PRACHAROENWATTANA, I. et al. Arabidopsis has a cytosolic fumarase required for the massive allocation of photosynthate into fumaric acid and for rapid plant growth on high nitrogen. **Plant Journal**, v. 62, p. 785–795, 2010.

STITT, M.; ZEEMAN, S. C. Starch turnover: pathways, regulation and role in growth. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 15, p. 282–292, 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEI, F.; NICOLA, S.; BENINCASA, P. Advances in research on fertilization management of vegetable crops. In: **Advances in Olericulture**. Grugliasco: Springer, 2017. p. 109–148.

THALMANN, M.; SANTELIA, D. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. **New Phytologist**, v. 214, n. 3, p. 943–951, 2017.

TOSTI, G. et al. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 136–146, 2012.

WHITE, A. C. et al. How can we make plants grow faster? A source-sink perspective on growth rate. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 31–45, 2016.

ZAGHDOUD, C. et al. Elevated CO₂ alleviates negative effects of salinity on broccoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*) plants by modulating water balance through aquaporins abundance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 95, p. 15–24, 2013.

ZAGHDOUD, C. et al. Water balance and N-metabolism in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) plants depending on nitrogen source under salt stress and elevated CO₂. **Science of the Total Environment**, 2016.

Capítulo 4: Eficiência nutricional da sucessão brócolis-brócolis-braquiária fertilizada com diferentes proporções gramínea: leguminosa

RESUMO: Parte dos nutrientes mineralizados da adubação verde são utilizados no primeiro cultivo, enquanto o restante continua disponível para o cultivo subsequente. Por isso, a eficiência nutricional é importante para sustentar a produção dos cultivos e minimizar os impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência nutricional de adubos verdes no cultivo de brócolis e seu efeito residual em cultivos subsequentes. O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milheto (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. Avaliou-se a eficiência agrônômica (EA), eficiência fisiológica (EF) e a eficiência de recuperação (ER) de nutrientes em plantas de brócolis e as de nitrogênio, EAN, EFN, ERN nos cultivos subsequentes de brócolis e braquiária. De forma geral, todos os índices foram mais altos em plantas fertilizadas com adubo verde com maior proporção de leguminosa, intermediário nas misturas e baixo com adubo verde composto unicamente por milheto. Em todos os cultivos, quanto maior a proporção de feijão-de-porco na mistura, maior a eficiência agrônômica, fisiológica e de recuperação de nutrientes, mas com menor eficiência nos cultivos sequenciais.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *italica*, *Brachiaria decumbens*, eficiência agrônômica, eficiência de recuperação, eficiência fisiológica

ABSTRACT: Part of the mineralized nutrients of green manure are used in the first crop, while the remainder continues available for subsequent crops. Therefore, efficiency nutritional is required for sustaining crop yield and minimizing environmental impacts. The objective of this work was to determine the nutritional efficiency of green manure in broccoli cultivation and its residual effect on subsequent crops. The experiment was designed in a complete randomized block design, using the mass of jack bean (JB) and millet (M) pure and in mixtures and one control, totaling six treatments: Control, 100JB, 75JB25M, 50JB50M, 25JB75M, 100M, with four replicates. Agronomic efficiency (EA), physiological efficiency (EF) and nutrient recovery efficiency (ER) in broccoli plants and those of nitrogen, EAN, EFN, NR in subsequent broccoli and brachiaria cultivars were evaluated. In general, all the indexes were higher in broccoli grown with green manure

with a higher proportion of legume, intermediate in the mixtures and low in the green manure composed only of millet. In all crops, the higher proportion of jack bean in the mixture, the greater the agronomic, physiological and nutrient recovery efficiency, but with less efficient in the crop sequences.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*, *Brachiaria decumbens*, agronomy efficiency, recovery efficiency, physiological efficiency

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas orgânicos e sustentáveis a disponibilidade de nutrientes, entre eles, o nitrogênio (N) pode restringir a produção. Uma das formas de fornecer N para os cultivos é por meio de culturas de cobertura e adubos verdes, devido tanto à fixação biológica do nitrogênio (FBN) quanto à reciclagem do N mineral do solo (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; THORUP-KRISTENSEN; DRESBØLL; KRISTENSEN, 2012). Entre os adubos verdes de verão utilizados no Brasil está o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) como espécie leguminosa e o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) como espécie gramínea. Leguminosas são mais utilizadas como adubo verde pois acumulam mais nutrientes e têm potencial de fornecer quantidades maiores desses nutrientes aos cultivos subsequentes. Gramíneas são utilizadas em sistemas de plantio direto para reduzir a lixiviação de nitrato, prevenir a erosão e também podem nutrir cultivos, principalmente quando em mistura com leguminosas (TOSTI et al., 2014).

Contudo, a capacidade de fornecimento de nutrientes dos adubos verdes varia com as espécies de adubo verde, a cultura subsequente e os métodos de aplicação (SUGIHARA et al., 2016). Existem vários índices para medir a capacidade das plantas de utilizar um nutriente específico. Entre eles estão a eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação (FAGERIA, 1998). Com o uso de adubos verdes, a eficiência nutricional nas culturas se relaciona com o sincronismo entre a mineralização de N dos adubos verdes e sua absorção pelas plantas (FONTANÉTTI et al., 2006). A taxa pela qual os adubos verdes decompõem a massa e mineralizam os nutrientes depende das suas características químicas, das atividades físico-químicas e biológicas do solo e de fatores ambientais, como temperatura e umidade (RADICETTI et al., 2017).

A eficiência de recuperação do N (ERN) derivado de adubos verdes pelas culturas é muito variável. Em estudos de brócolis adubados com adubo verde a ERN variou de 20 a 74,5% (DINIZ et al., 2017; MURAMOTO et al., 2011; VARGAS et al., 2017). Entretanto, independentemente da fonte, o N não absorvido pelas plantas pode ser perdido

ou ficar indisponível temporariamente às culturas. Assim, a capacidade de fornecimento de nutrientes dos adubos verdes pode ocorrer não só no primeiro cultivo, mas também nos cultivos subsequentes (VARGAS et al., 2017).

O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência nutricional de brócolis fertilizados com adubos verdes, seu efeito residual e eficiência de uso do N em cultivos subsequentes de brócolis e braquiária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos Gerais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil, localizada a 20°45'14" S e 42°52'53" O, a 650 m de altitude, no período de junho de 2016 a abril de 2017. A temperatura média e a umidade relativa dentro da casa de vegetação foi de 25,7 °C e 59,7%, respectivamente.

O experimento foi sequenciado da seguinte forma: Aplicação dos adubos verdes nos vasos + transplante do primeiro cultivo de brócolis (junho/2016), transplante do segundo cultivo de brócolis nos mesmos vasos (setembro/2016) e semeadura da braquiária (janeiro/2017) com quatro cortes (fevereiro, março, abril e maio/2017) (Figura 1).

Utilizou-se feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*, (L.) DC) como espécie leguminosa e milheto (*Penisetum glaucum*, (L.) R. Br.) como espécie gramínea. O experimento foi delineado em blocos casualizados, utilizando a massa de feijão-de-porco (FP) e milheto (M) puro e em misturas e uma testemunha, totalizando seis tratamentos: Testemunha, 100FP, 75FP25M, 50FP50M, 25FP75M, 100M, com quatro repetições. A quantidade total de N aplicada foi a mesma em todos os tratamentos (9 g/vaso). A testemunha caracterizou-se pelo mesmo solo utilizado nos demais tratamentos, sem adubação. O feijão-de-porco apresentava 3,3% de N e o milheto 1,2% de N e em função disso calculou-se a quantidade de massa de cada espécie nos tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1: Matéria seca (MS) de cada adubo verde e quantidade de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) aplicada em cada vaso de acordo com o tratamento.

Trat. ¹	MS de FP (g/vaso)	MS de M (g/vaso)	MS total (g/vaso)	Quant. fornecida (g/vaso)				
				N	K	Ca	Mg	S
100FP	272,73	0,00	272,73	9,00	0,751	0,191	0,058	0,098
75FP25M	204,55	187,50	392,05	9,00	1,303	0,217	0,115	0,156
50FP50M	136,36	375,00	511,36	9,00	1,230	0,186	0,144	0,180
25FP75M	68,18	562,50	630,68	9,00	1,326	0,174	0,181	0,223
100M	0,00	745,71	745,71	9,00	2,418	0,172	0,256	0,303

¹ 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

A parcela experimental consistiu de vasos de 70 L, os quais foram preenchidos com solo oriundo de área agrícola (Tabela 2). Os adubos verdes foram aplicados sobre o solo no mesmo dia do transplante das mudas de brócolis na mesma proporção caule: folha obtidos no cultivo. Efetuou-se irrigação manual, com recolhimento e retorno da água drenada.

Tabela 2: Análise química inicial do solo.

pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-Rem
	dag kg ⁻¹	mg/dm ³		cmolc/dm ³								mg/L
6,09	2,28	19,5	186	3,64	0,77	0,00	4,3	4,89	4,89	9,19	53,2	30

2.2 Produção dos adubos verdes

O feijão-de-porco foi cultivado, adubado e conduzido de acordo com Chieza et al., (2011). A semeadura do feijão-de-porco foi realizada em janeiro de 2016. As plantas foram irrigadas diariamente de acordo com a necessidade da cultura, fazendo-se o retorno da água drenada ao vaso. Efetuou-se o corte da parte aérea das plantas aos 57 dias após a semeadura. A seguir essas plantas foram deixadas para secar para posterior utilização da matéria seca. O milho foi produzido em campo e semeado em novembro de 2015, utilizando-se 30 sementes por metro linear, com 50 cm entre linhas. Transcorridos 57 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas ao nível do solo, cortadas em pedaços de 8 cm e deixadas para secar. Amostras de milho e feijão-de-porco foram retiradas, colocadas em estufa a 65 °C até massa constante para a determinação da matéria seca da parte aérea. Posteriormente as amostras foram trituradas e o N-total determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO, 1995), K, Ca, Mg e S (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

2.3 Avaliação da mineralização dos adubos verdes

As quantidades de matéria seca remanescente dos adubos verdes, e os nutrientes mineralizados (N, K, Ca, Mg e S) nos vasos ao longo dos cultivos de brócolis estão apresentados na Tabela 3. A metodologia de obtenção destes resultados encontra-se no capítulo 1.

Tabela 3: Quantidade e tempo de meia vida ($t_{1/2}$ (g dia⁻¹)) de Nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) mineralizado e matéria seca (MS) decomposta dos adubos verdes (AV) em cada vaso ao longo dos dias após a aplicação nos vasos.

Adubo verde	Dias após a aplicação dos AV					$t_{1/2}$	Dias após a aplicação dos AV					$t_{1/2}$
	0	40	80	120	160		0	40	80	120	160	
	N mineralizado (g)						P mineralizado (g)					
100FP	0,0	4,3	5,72	7,17	7,02	69	0,0	0,03	0,03	0,03	0,04	57
75FP25M	0,0	3,4	4,42	5,89	6,27	99	0,0	0,04	0,05	0,05	0,06	77
50FP50M	0,0	2,8	4,28	5,53	6,81	116	0,0	0,02	0,02	0,03	0,05	116
25FP75M	0,0	3,2	4,78	5,36	5,45	173	0,0	0,03	0,03	0,02	0,05	231
100M	0,0	1,4	2,82	3,76	3,10	231	0,0	0,04	0,04	0,05	0,08	231
	K mineralizado (g)						Ca mineralizado (g)					
100FP	0,0	2,31	3,53	4,29	4,13	49	0,0	0,29	0,25	0,63	0,53	231
75FP25M	0,0	5,13	5,65	7,12	7,17	57	0,0	0,34	0,36	0,63	0,67	231
50FP50M	0,0	2,86	3,46	5,16	5,83	86	0,0	0,00	0,06	0,25	0,52	231
25FP75M	0,0	2,49	3,14	5,15	5,39	115	0,0	0,00	0,18	0,21	0,43	347
100M	0,0	9,09	10,04	11,64	11,50	77	0,0	0,21	0,13	0,25	0,47	347
	Mg mineralizado (g)						S mineralizado (g)					
100FP	0,0	0,13	0,12	0,18	0,19	173	0,0	0,23	0,22	0,27	0,26	347
75FP25M	0,0	0,19	0,16	0,22	0,33	231	0,0	0,36	0,32	0,39	0,37	231
50FP50M	0,0	0,05	0,00	0,13	0,20	693	0,0	0,25	0,06	0,08	0,40	
25FP75M	0,0	0,18	0,02	0,00	0,19	693	0,0	0,23	0,12	0,06	0,21	
100M	0,0	0,13	0,17	0,36	0,46	347	0,0	0,23	0,22	0,69	0,64	
	MS decomposta (g)											
100FP	0,0	115	140,3	164,3	188,2	99						
75FP25M	0,0	119	139,0	178,4	217,7	139						
50FP50M	0,0	108	132,1	181,2	230,2	173						
25FP75M	0,0	126	164,1	210,3	256,6	231						
100M	0,0	106	208,9	266,4	323,9	173						

¹ 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

2.4 Crescimento e produção do primeiro cultivo de brócolis

Sementes do cultivar de brócolis de cabeça única BRO 68[®] foram semeadas no dia 10/05/2016 e transplantadas para os vasos 33 dias após a semeadura. A irrigação foi realizada manualmente conforme a necessidade da cultura, em sistema fechado, com

recuperação da água drenada. Ao final do cultivo (17/08/2017) foi realizada a colheita e determinados a matéria fresca dos diferentes órgãos da planta: inflorescência (2,5 cm abaixo da haste mais baixa), limbo foliar, pecíolo e caule. Amostras dos órgãos foram acondicionadas em sacos de papel, colocados em estufa a 65°C até massa constante e pesadas para determinação da matéria seca.

2.5 Produção de brócolis e braquiária sob efeito residual dos adubos verdes

O efeito residual dos adubos verdes foi avaliado com os cultivos subsequentes nos mesmos vasos, sem adição de adubação, com o objetivo de esgotar o N proveniente dos adubos verdes. O transplante das mudas do segundo cultivo de brócolis foi feito no dia 25/09/2016 e seguiram-se os mesmos procedimentos do primeiro cultivo. A colheita final foi efetuada em 15/11/2016 e determinada a matéria seca do limbo foliar, pecíolo, caule e inflorescência, de modo semelhante ao realizado no primeiro cultivo.

A semeadura da *Brachiaria brizantha* foi realizada no dia 05/01/2017 nos mesmos vasos e tratamentos dos cultivos anteriores de brócolis. Foram feitos quatro cortes nas plantas (13/02, 13/03, 14/04 e 24/05/2017). A parte aérea das plantas foi cortada a 3 cm do solo, pesada e colocada em estufa a 65 °C até massa constante para determinação da matéria seca. Após, foram trituradas e analisadas quanto ao teor de N pelo método Kjeldhal (TEDESCO, 1995). Os valores de matéria seca e teor total de N obtidos nas diferentes coletas foram somados para obtenção do valor total.

2.6 Nutrientes nas plantas

Após secagem em estufa, as amostras de brócolis e braquiária foram moídas em moinho tipo Willey, sendo o teor total de N determinado pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Nas plantas de brócolis, também foram determinados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O acúmulo de nutrientes na massa de matéria seca foi obtido pelo produto da massa de matéria seca pelo teor dos nutrientes em gramas.

2.7 Eficiências de utilização dos nutrientes

Para o primeiro cultivo de brócolis determinou-se a eficiência agronômica (EA), eficiência fisiológica (EF), eficiência de recuperação (ER) dos nutrientes N, K, Ca, Mg e S. Para os cultivos onde se avaliou o efeito residual (segundo cultivo de brócolis e o total de quatro cortes de braquiária) e para o conjunto de cultivos foram determinados

unicamente a EA, EF, ER e CUB do N. Para todos os casos os cálculos foram feitos de acordo com as seguintes equações (Fageria 1998; Fageria et al. 2010):

$$EA (g\ g^{-1}) = \frac{\text{produção de inflorescência da planta adubada} - \text{produção de inflorescência da planta não adubada}}{\text{quantidade de nutriente fornecido com a adubação}}$$

$$EF (g\ g^{-1}) = \frac{\text{massa total da planta adubada} - \text{massa total da planta não adubada}}{\text{nutriente acumulado na massa total da planta adubada} - \text{nutriente acumulado na massa total da planta não adubada}}$$

$$ER (\%) = \left[\frac{\text{nutriente acumulado na matéria seca da planta adubada} - \text{nutriente acumulado na matéria seca da planta não adubada}}{\text{quantidade de nutriente fornecido com a adubação}} \right] \times 100$$

Nos cultivos onde foi avaliado o efeito residual, a quantidade de N considerada para os cálculos da EA, EF e ER foi obtida descontando da quantidade inicial fornecida por vaso (9 g de N) a quantidade de N acumulada na matéria seca do primeiro cultivo (no caso do segundo de brócolis) e do segundo cultivo (no caso da braquiária) (Tabela 4). Para o cálculo da eficiência fisiológica e de recuperação de N do conjunto de cultivos, efetuou-se a soma da matéria seca e do nitrogênio acumulado nos três cultivos (primeiro + segundo cultivo de brócolis + cultivo de braquiária).

Tabela 4: Quantidade de matéria seca (MS) e de nutrientes na parte aérea de brócolis e braquiária.

Tratamento	Quantidade de nutrientes na matéria seca dos cultivos (g/planta)											
	1º brócolis						2º brócolis		Braquiária		Total	
	MS	N	K	Ca	Mg	S	MS	N	MS	N	MS	N
Testemunha ¹	83,3	1,04	1,22	0,21	0,06	0,04	23,7	0,27	32,1	0,99	139,1	2,3
100FP	207,3	4,35	3,11	0,51	0,17	0,13	98,8	1,43	73,6	2,21	416,8	8,9
75FP25M	169,4	3,14	2,66	0,44	0,14	0,09	70,6	0,92	54,2	1,55	316,5	6,3
50FP50M	136,8	2,45	2,32	0,34	0,11	0,08	59,2	0,72	76,6	2,36	303,1	6,3
25FP75M	128,5	2,19	2,34	0,36	0,11	0,08	46,3	0,72	81,8	2,44	289,1	6,1
100M	106,3	1,09	1,52	0,29	0,08	0,06	53,5	0,90	80,3	2,36	256,4	4,6

¹Testemunha – solo sem adubação (Test); 100% feijão-de-porco (100FP); 75% feijão-de-porco + 25% milho (75FP25M); 50% feijão-de-porco + 50% milho (50FP50M); 25% feijão-de-porco + 75% milho (25FP75M); 100% milho (100M).

2.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão dos efeitos da proporção de leguminosa na mistura. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes, no coeficiente de determinação e no fenômeno de estudo, utilizando-se o programa OriginPro 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto maior a proporção de feijão-de-porco na mistura maior a eficiência agrônômica e de recuperação de todos os nutrientes no primeiro cultivo de brócolis (Figuras 2 e 3). A eficiência fisiológica de N foi semelhante entre os adubos verdes, mas com pico máximo no

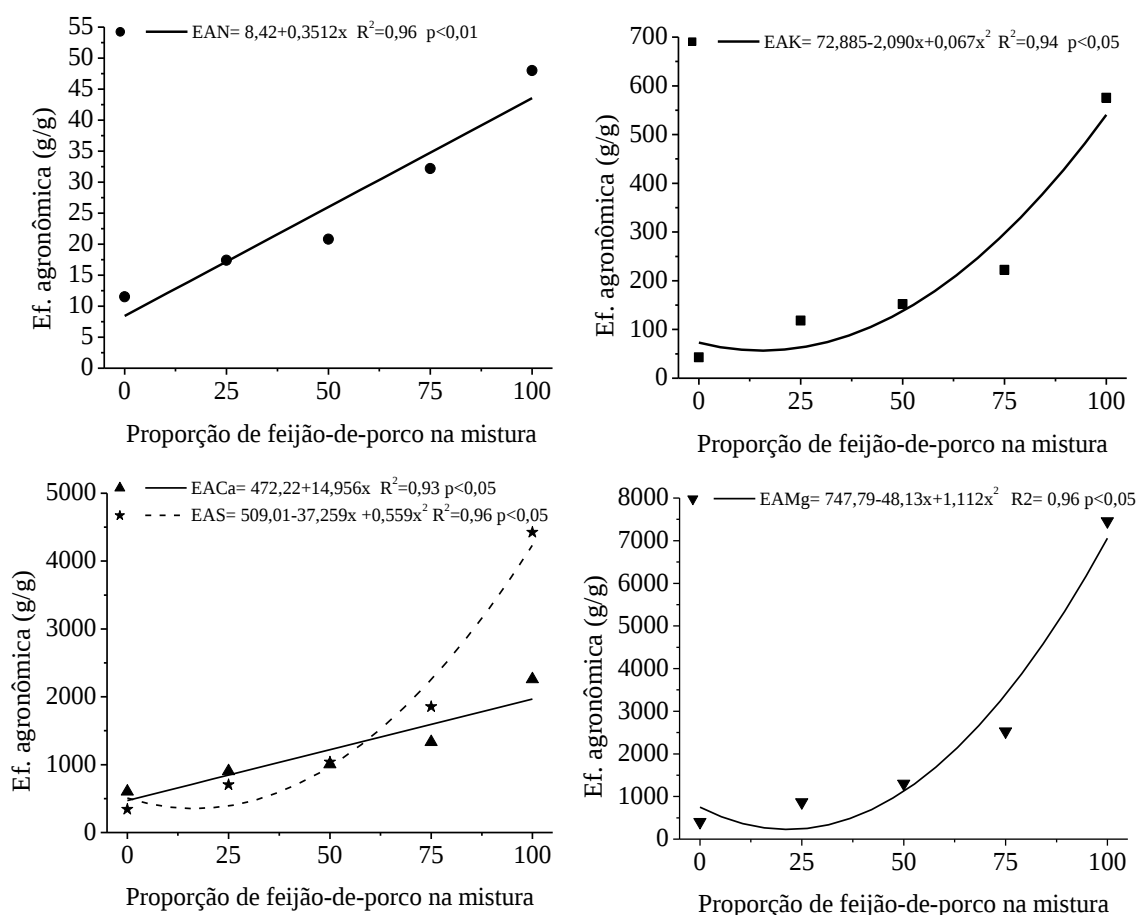


Figura 2: Eficiência agrônômica do nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na cultura de brócolis em função da proporção de feijão-de-porco (FP) na mistura com milheto.

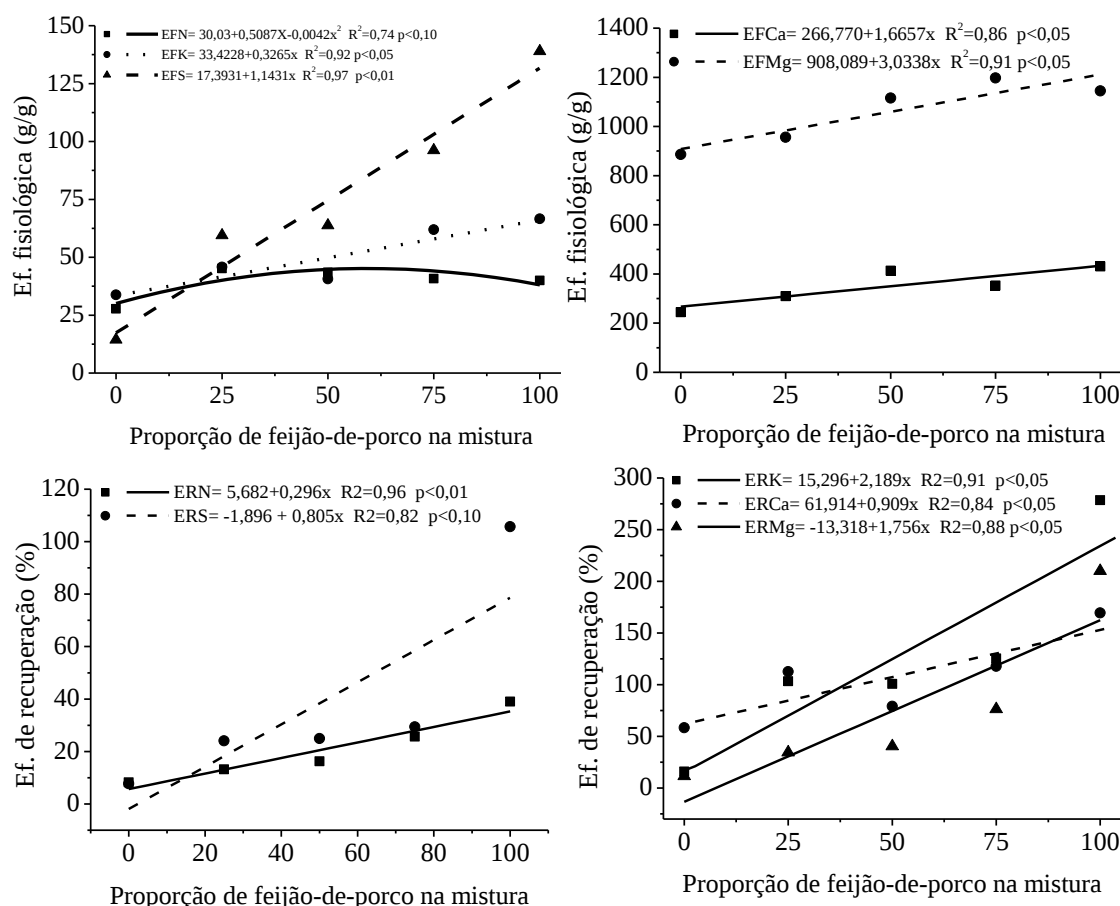


Figura 3: Eficiência fisiológica e de recuperação do nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na cultura de brócolis em função da proporção de feijão-de-porco na mistura com milho.

A absorção dos nutrientes, mineralizados dos adubos verdes, pelas plantas de brócolis diferiram em relação às diferentes misturas, o que pode ser evidenciado pelas variações das eficiências. De forma geral, todos os índices foram mais altos no adubo verde com maior proporção de leguminosa (100FP e alguns casos 75FP25M), intermediário nas misturas e mais baixos no adubo verde composto unicamente por milho. As maiores eficiências de nutrientes pelas plantas adubadas com as maiores proporções de FP se deve a maior velocidade de decomposição da massa e mineralização da maioria dos nutrientes deste adubo (Tabela 3). Além disso, possivelmente houve maior sincronia entre a mineralização de nutrientes e a absorção pelas plantas de brócolis adubadas com maiores proporções de feijão-de-porco, visto que em todos os índices, há superioridade destes em relação a gramínea pura. Resultados semelhantes foram obtidos em estudo com ervilhaca, canola e aveia, no qual obtiveram-se maior eficiência agrônômica e de recuperação de N em plantas de berinjela adubadas com ervilhaca e menor com aveia (RADICETTI et al., 2016). Sendo que tais resultados, nossos e do

trabalho citado, estão relacionados à maior mineralização da massa dos adubos verdes leguminosas devido ao teor inicial de N, relação C/N e lignina (DINIZ et al., 2017; RADICETTI et al., 2016; VAHDAT; NOURBAKHS; BASIRI, 2011). Quando o fornecimento de nitrogênio por adubos verdes é pequeno e a relação C/N do material é alta, como na aveia (C/N = 47), milho (C/N = 29) é preferível adotar uma estratégia para evitar a imobilização do nitrogênio mineral disponível no solo, como a suplementação com adubos orgânicos ou minerais (RADICETTI et al., 2016). No entanto, considerando que a ER de nutrientes dos brócolis foi baixa quando adubada com o milho puro, uma grande quantidade de fertilizantes minerais pode ser necessária para diminuir o efeito negativo sobre o rendimento em relação às plantas cultivadas com feijão-de-porco.

A recuperação do N derivado de adubos verdes pelas culturas é muito variável, sendo que neste trabalho se obteve ERN pelo brócolis foi de 39,0% com 100% de feijão-de-porco. Essa ERN é superior ao obtido em outros estudos com adubo verde crotalaria que foi 37,9% com dose de 2,8 t/ha (DINIZ et al., 2017) e de 20% com mistura de diferentes adubos verdes (MURAMOTO et al., 2011). No repolho cultivado com diferentes adubos verdes (feijão-de-porco, mucuna cinza e sorgo) a ERN foi de 16, 9 e 8%, respectivamente (ARAÚJO et al., 2011). Entretanto, ER maiores foram obtidas na cultura do brócolis, obtendo-se ER de 74,5% com 8,75 t ha⁻¹ de *C. juncea* (VARGAS et al., 2017), e com o uso de ervilhaca para adubar tomate foi de 55,3% (SUGIHARA et al., 2013) e em berinjela foi de 70,7% (RADICETTI et al., 2016). As eficiências podem variar dentro da mesma cultura porque dependem de diferentes órgãos e mecanismos e também em diferentes fatores ambientais (BENINCASA; GUIDUCCI; TEI, 2011). Entretanto, independente da fonte, o N não absorvido pelas plantas pode ser perdido ou ficar indisponível temporariamente às culturas.

Estudos com eficiência de recuperação dos demais nutrientes com o uso de adubos verdes são escassos. Quanto ao K, culturas de pimenta e feijão-miúdo que receberam um volume de 8000 Kg/ha de folhas de *Gliricidia sepium* e palha de arroz apresentaram ERK máxima com a gliciridia de 28,7% na pimenta e de 38% em feijão, enquanto que com palha de arroz a ERK foi de 23,9% na pimenta e de 41,7% no feijão (SANGAKKARA et al., 1998). A ERK nos adubos verdes com presença de feijão-de-porco é maior do que a média citada de 40% para culturais anuais (FAGERIA, 1998). Isso ocorreu porque a quantidade de K adicionado ao solo com estes adubos verdes foi mais baixa (cerca de 16,70 kg ha⁻¹) e quanto menor a dose de um adubo, maior é a eficiência de recuperação

(FAGERIA, 1998). Em contrapartida, a ERK no milho foi menor devido a maior quantidade de K adicionada com este adubo verde (53,34 kg ha⁻¹) (Tabela 1). Isto também ocorreu para ERCa, ERMg e ERS, sendo atribuídos a mesma discussão.

Entretanto, mesmo com a menor quantidade de K, Mg e S adicionada com os adubos verdes com maiores proporções de FP, as plantas foram mais eficientes em absorvê-las e converter em matéria seca e produção de inflorescências, visto que houve maior eficiência agrônômica, fisiológica e de recuperação nestes adubos verdes. Isso pode ter ocorrido porque o N foi o nutriente mineralizado em maior quantidade e velocidade pelo feijão-de-porco. Com mais N disponível, há maior o crescimento de raízes e maior a capacidade de absorção de N e dos outros nutrientes presentes no solo (AVALHÃES et al., 2009). Em situação contrária, nas plantas adubadas com milho, houve baixa mineralização de N, ou seja, o N foi o nutriente que limitou a absorção dos outros nutrientes. Foi demonstrado em estudos com solução nutritiva que quando há restrição de N ocorre redução na absorção de 85, 73, 78, 77, 28 e 68% de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente em relação a solução nutritiva completa (CARMONA et al., 2015).

A eficiência fisiológica de N de todos os adubos verdes obtidas neste trabalho é menor do que a obtida em plantas de brócolis adubadas com 3,7 t/ha de *Crotalaria juncea* que foi de 71,1 g/g (DINIZ et al., 2017). A menor eficiência fisiológica de N neste trabalho se deve a maior dose de N adicionada aos vasos em relação ao estudo de Diniz et al. (2017) que foi de 56,7 kg/ha, enquanto que nós utilizamos 200 kg/ha. E já se tem demonstrado que as plantas são capazes de alcançar uma melhor eficiência de uso de N em menores doses de N, seja por regulação dos sistemas de absorção de N, plasticidade da arquitetura do sistema radicular e/ou mudança rápida do crescimento da parte aérea (NACRY; BOUGUYON; GOJON, 2013).

A maior recuperação de N, K, Ca, Mg e S ocorreu em plantas cultivadas com 100% de feijão-de-porco (100FP), as quais também apresentaram eficiências fisiológicas 44, 96, 76, 29, e 862%, respectivamente, maiores que as eficiências fisiológicas apresentadas pelas plantas cultivadas com 100% de milho (100M). Essas plantas também tiveram eficiência agrônômica de 317, 1234, 274, 1745, 1193% para N, K, Ca, Mg e S, respectivamente, maior do que as plantas adubadas com 100M ou 0% de feijão-de-porco. O acúmulo de matéria seca nas plantas cultivadas com 100FP ocorreu com uma maior eficiência fisiológica no uso do N e maior alocação de matéria fresca na parte comercial (inflorescência) devido a maior eficiência agrônômica do que nas plantas cultivadas com milho puro e nas misturas.

Em relação ao efeito residual, o segundo cultivo de brócolis e de braquiária apresentaram comportamento semelhante ao primeiro cultivo quanto às eficiências de N.

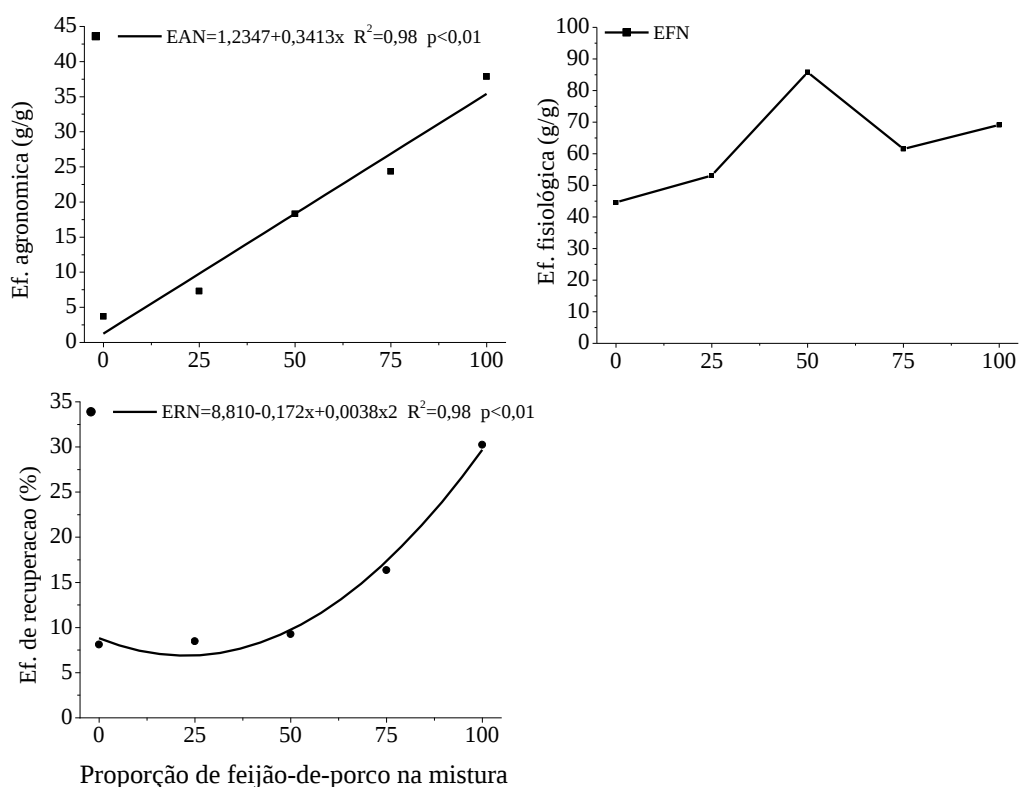


Figura 4: Eficiência agrônômica (EAN), eficiência fisiológica (EFN) e eficiência de recuperação do nitrogênio (ERN) no segundo cultivo de brócolis em função da proporção de feijão-de-porco na mistura com milheto.

A eficiência agrônômica e de recuperação no brócolis e braquiária foram maiores nos adubos verdes compostos por maiores proporções de feijão-de-porco (Figuras 4 e 5). A eficiência fisiológica do N do efeito residual de adubos verdes em brócolis e em braquiária foi maior nas proporções intermediárias, em torno de 50% de feijão-de-porco para o brócolis (Figura 4) e de 75% de feijão-de-porco para a braquiária (Figura 5).

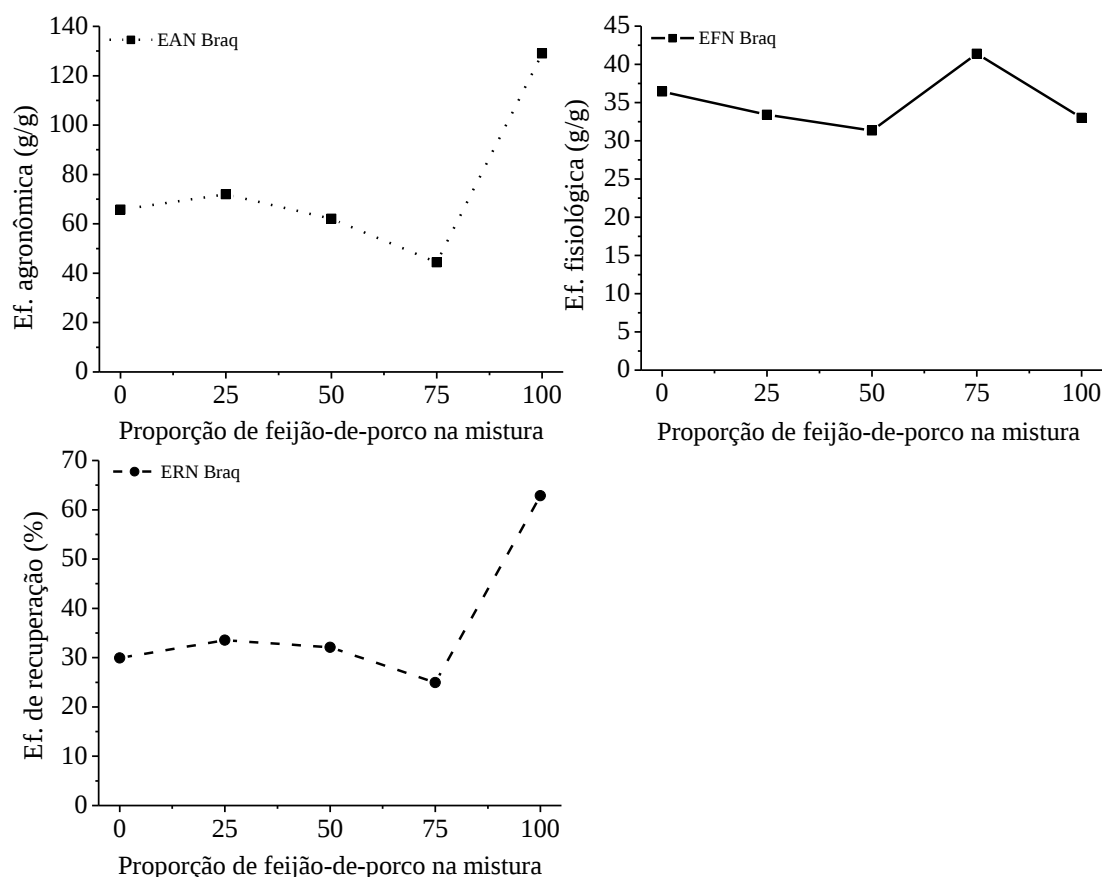


Figura 5: Eficiência agrônômica, fisiológica e de recuperação do nitrogênio no cultivo de braquiária em função da proporção de feijão-de-porco (FP) na mistura com milho.

Diferenças nas eficiências de utilização de N nos cultivos subsequentes corroboram que o tipo de adubo verde influencia muito seu efeito residual. Resultados semelhantes foram obtidos em cultivo de repolho e chicória sob efeito residual do cultivo de pimenta adubado com ervilhaca, no qual se observou que as leguminosas tem potencial para aumentar a eficiência de N em cultivos sequenciais e reduzir o potencial de perda de N (CAMPIGLIA et al., 2014). Em outro estudo, 18% do N presente em sementes de tremoço foi absorvido no primeiro cultivo residual de beterraba (KATROSHAN; UPTMOOR; STÜTZEL, 2014).

Neste trabalho as maiores eficiências de N nos cultivos residuais, verificada com as maiores proporções de FP se devem, em boa parte, ao fato de que o nitrogênio fornecido pelos adubos verdes não foi totalmente mineralizado no primeiro cultivo. Neste estudo, após a colheita do brócolis, uma quantidade considerável de nitrogênio ainda estava no sistema, pois a mineralização continuou após o primeiro cultivo, que durou 60 dias (Tabela 3). Portanto, o nitrogênio presente na massa dos adubos verdes é parcialmente recuperado pelo primeiro cultivo, sendo que a outra parte pode permanecer na massa como N orgânico e/ou ficar imobilizada na matéria orgânica do solo ou

microrganismos e ser mineralizada posteriormente (CAMPIGLIA; MANCINELLI; RADICETTI, 2011; RADICETTI et al., 2016) ou ainda, pode ser perdida para o ambiente. Mas, mesmo existindo diferenças entre tratamentos, a EA do segundo cultivo de brócolis foi menor que do primeiro cultivo em todos os tratamentos, pois houve menor produção e acúmulo de matéria seca (Tabela 4). Por isso, uma alternativa para o melhor aproveitamento do N residual dos adubos verdes seja o uso de espécies de menor demanda nutricional e adaptadas a época do ano em estudo ou a suplementação com adubos orgânicos ou minerais.

A eficiência fisiológica total foi maior nos tratamentos que não receberam leguminosa, enquanto que a eficiência de recuperação total de N foi de 72,8% com o adubo verde com maior proporção de feijão-de-porco, em torno de 42% nas misturas e de 25% no milho puro (Figura 6).

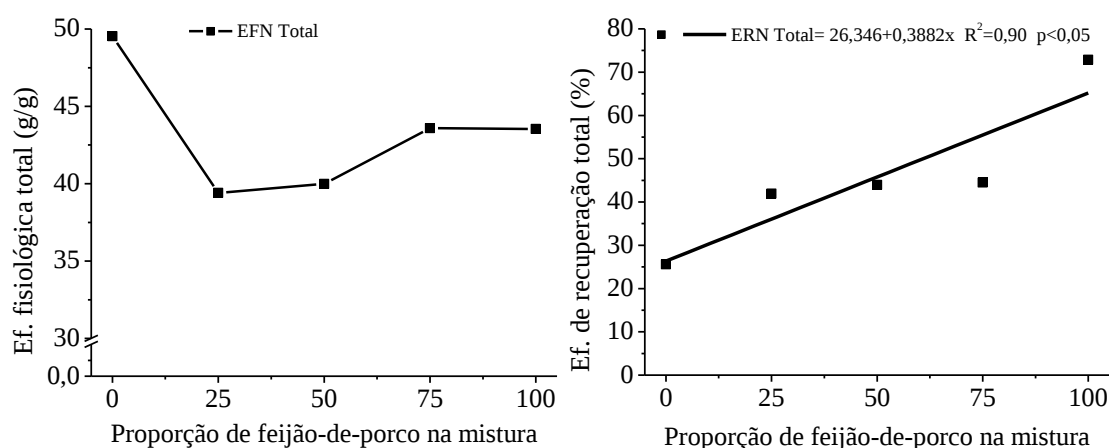


Figura 6: Eficiência fisiológica total e eficiência de recuperação total do nitrogênio dos cultivos (primeiro cultivo de brócolis, segundo cultivo de brócolis e braquiária), em função da proporção de feijão-de-porco (FP) na mistura com milho.

A maior EFTotal com 100M (0% de feijão-de-porco – Figura 6) indica que por cada grama de N absorvido, as plantas produziram 50 g de MS, enquanto que, as plantas que receberam as misturas e a leguminosa pura como adubo verde produziram entre 39 e 43 g de MS por grama de N. Estes resultados demonstram que houve maior concentração de N nas plantas fertilizadas com feijão-de-porco, principalmente naquelas que receberam unicamente 100% da leguminosa. Como houve maior acúmulo de matéria seca, a relação entre a quantidade de MS e N acumulado é menor. Já nas plantas cultivadas com milho, o acúmulo de MS, mas principalmente de N foi menor e com isso há aumento na EFTotal.

No tratamento com feijão-de-porco, cerca de 70% do N aplicado foi recuperado na planta em três cultivos subsequentes. O adubo verde com essa leguminosa, além de ter maior contribuição para a nutrição nitrogenada do primeiro cultivo brócolis, também

contribuiu mais com a nutrição das plantas em cultivo sucessivo. Esses resultados corroboram os dados obtidos por Araújo et al. (2011), que observaram que o feijão-de-porco apresenta boa qualidade de massa em razão, principalmente, de seu teor de N e relação C/N, superiores aos de outras leguminosas e gramíneas estudadas pelos autores. Entretanto, o N não recuperado pode ficar retido na massa dos adubos verdes, na matéria orgânica do solo, imobilizado pelos microrganismos ou ser perdido por lixiviação de nitrato ou por volatilização de amônia.

4. CONCLUSÃO

Quanto maior a proporção de feijão-de-porco maior a eficiência agronômica, fisiológica e de recuperação de nutrientes no primeiro cultivo de brócolis.

O aumento na proporção de leguminosas na mistura também resultou em maior a eficiência agronômica, fisiológica e de recuperação de nutrientes no cultivo residual, mas com eficiências menores nos cultivos sequências.

A eficiência de recuperação de N dos adubos verdes em três cultivos sequenciais varia de 25 a 72%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, S. et al. Recuperação no sistema solo - planta de nitrogênio derivado da adubação verde aplicada à cultura do repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 729–735, 2011.
- AVALHÃES, C. C. et al. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de plantas de repolho cultivado em solução nutritiva. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 5, p. 21–28, 2009.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 7, p. 921–950, 2001.
- BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M.; TEI, F. The nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation—Case studies on three vegetable crops in Central Italy. **HorTechonology**, v. 21, n. 3, p. 266–273, 2011.
- BRENNAN, E. B.; BOYD, N. S.; SMITH, R. F. Winter cover crop seeding rate and variety effects during eight years of organic vegetables : III. Cover crop residue quality and nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 171–182, 2013.
- CAMPIGLIA, E. et al. Long-term residual effects of the management of cover crop biomass on soil nitrogen and yield of endive (*Cichorium endivia* L.) and savoy cabbage (*Brassica oleracea* var. *sabauda*). **Soil & Tillage Research**, v. 139, p. 1–7, 2014.
- CAMPIGLIA, E.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato. (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the mediterranean environment of central Italy. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 3, p. 588–598, 2011.
- CARMONA, V. M. V. et al. Acúmulo de nutrientes e massa seca de brócolis cabeça única em função da omissão de macronutrientes. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciencias do Solo**, n. 1, p. 1–4, 2015.
- DINIZ, E. R. et al. Levels of *Crotalaria juncea* on growth, production, recovery and efficiency of the use of N in broccoli. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 395–401, 2017.
- FAGERIA, N. K. Optimizing nutrient use efficiency in crop production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 62, p. 6–16, 1998.
- FAGERIA, N. K.; MORAIS, D.; SANTOS, A. B. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, p. 1696–1711, 2010.
- FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146–150, 2006.
- KATROSHAN, K.-U.; UPTMOOR, R.; STÜTZEL, H. Nitrogen use efficiency of organically fertilized white cabbage and residual effects on subsequent beetroot. **Plant and Soil**, v. 382, n. 1–2, p. 237–251, 2014.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.
- MURAMOTO, J. et al. Nitrogen contribution of legume/cereal mixed cover crops and organic fertilizers to an organic broccoli crop. **HortScience**, v. 46, n. 8, p. 1154–1162,

2011.

NACRY, P.; BOUGUYON, E.; GOJON, A. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanisms ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. **Plant and Soil**, v. 370, p. 1–29, 2013.

RADICETTI, E. et al. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 329–338, 2016.

RADICETTI, E. et al. How winter cover crops and tillage intensities affect nitrogen availability in eggplant. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 2, p. 177–194, 2017.

SANGAKKARA, U. R. et al. **Nutrient use efficiency of selected crops grown with effective microorganisms in organic systems**. Proceedings of the 4th International Conference on Kyusei Nature Farming. **Anais...**Paris, France: 1998

SUGIHARA, Y. et al. Uptake and distribution of nitrogen derived from hairy vetch used as a cover crop by tomato plant. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 82, n. 1, p. 30–38, 2013.

SUGIHARA, Y. et al. Contribution of N derived from a hairy vetch incorporated in the previous year to tomato N uptake under hairy vetch-tomato rotational cropping system. **The Horticulture Journal**, v. 85, n. 3, p. 217–223, 2016.

THORUP-KRISTENSEN, K.; DRESBØLL, D. B.; KRISTENSEN, H. L. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. **European Journal of Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 66–82, 2012.

TOSTI, G. et al. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. **European Journal of Agronomy**, v. 54, p. 34–39, 2014.

VAHDAT, E.; NOURBAKHSH, F.; BASIRI, M. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 243–246, 2011.

VARGAS, T. DE O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209–213, 2017.

DISCUSSÃO GERAL

Para a mesma quantidade de N adicionada ao solo, as misturas de leguminosas e gramíneas levaram à modificação da qualidade da massa, principalmente nas características químicas, na sua decomposição e mineralização de N e de outros nutrientes. As principais características que influenciam a mineralização de N são o teor de N, a relação C/N, lignina/N e lignina. A maior mineralização de N nas maiores proporções de feijão-de-porco é devido à baixa relação C/N, lignina/N e maior teor de N na massa. Já nos adubos verdes com maiores proporções de milho, obteve-se menor mineralização de N e maior tempo de meia vida devido ao maior teor de lignina, lignina/N e C/N, sendo esta característica importante para preservação da umidade do solo e proteção do solo contra a erosão.

A maior mineralização da maioria dos nutrientes pelos adubos verdes com maiores proporções de feijão-de-porco levou também ao aumento na concentração de nutrientes e da condutividade elétrica da solução do solo aos 15 DAT. Não obstante, após esse período uma redução na concentração de nutrientes na solução do solo é observada devido, em larga extensão, à absorção desses nutrientes pelas plantas de brócolis.

Com mais N disponível na solução do solo sob os adubos verdes com maiores proporções de feijão-de-porco, ocorre maior absorção de N associado a um maior conteúdo de proteínas e menor conteúdo de amido indicam que os esqueletos de carbono foram desviados para a assimilação de N. O maior conteúdo de compostos carbonados e nitrogenados sustentou maior crescimento e acúmulo de matéria seca e produção de plantas de brócolis fertilizadas com maiores proporções de feijão-de-porco, evidenciando, assim, a sincronia entre a mineralização de N e a absorção deste pelas plantas de brócolis. Contudo, em plantas adubadas com milho (100M), o acúmulo de matéria seca, de nutrientes e produção foi menor, se assemelhando à testemunha. Isso ocorreu porque os nutrientes não mineralizaram, sendo que 70, 35, 88, 89 e 88% do N, K, Ca, Mg e S, respectivamente, permaneceram na matéria seca do milho puro após 80 dias de transplante do brócolis.

Houve efeito residual dos adubos verdes, com respostas semelhantes no segundo cultivo de brócolis quanto a área do dossel, acúmulo de N, matéria seca e produção, porém em menores quantidades. Isso ocorreu devido a menor quantidade de nutrientes disponibilizados e a fatores ambientais, como altas temperaturas e radiação solar, as quais dificultam a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas de brócolis. Estes fatores reduziram a produção de brócolis abaixo do que se espera da cultura. Entretanto, o uso de

culturas menos exigentes em nutrição e cultivadas na época adequada podem ser uma alternativa para a absorção dos nutrientes residuais, como a braquiária que apresentou quantidades de N superiores a faixa considerada adequada para a cultura.

A eficiência agronômica, fisiológica e de recuperação de nutrientes no primeiro cultivo de brócolis e de N no segundo cultivo de brócolis foi semelhante, com maiores eficiências nas maiores proporções de feijão-de-porco. Isto se deve a maior velocidade de decomposição da massa e mineralização da maioria dos nutrientes deste adubo. Além disso, possivelmente houve maior sincronia entre a mineralização e a absorção de nutrientes pelas plantas de brócolis adubadas com maiores proporções de feijão-de-porco, visto que em todos os índices, há superioridade destes em relação a gramínea pura.

CONCLUSÕES GERAIS

Com maiores proporções de feijão-de-porco na mistura dos adubos verdes maior é a velocidade de decomposição da massa e mineralização de nutrientes, principalmente N.

Maior crescimento, acúmulo de N e de matéria seca, produção de inflorescências, sustentados pelo maior conteúdo de aminoácidos, proteínas e malato foram obtidos em ambos os cultivos de brócolis adubados com as maiores proporções de feijão-de-porco, assim como maiores eficiências agronômicas, fisiológicas e de recuperação de N.