

ANTÓNIO DA PIEDADE MELO

EFEITOS DA *Crotalaria retusa* L. NO CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO DE MILHO E FEIJÃO E DE BRÓCOLIS EM SUCESSÃO

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*.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos

Coorientadores: José Eustáquio Carneiro
Maicon Nardino

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M528e
2021
Melo, António da Piedade, 1981-
Efeitos da *Crotalaria retusa* L. no cultivo solteiro e
consociado de milho e feijão e de brócolis em sucessão /
António da Piedade Melo. – Viçosa, MG, 2021.
1 tese eletrônica (96 f.): il.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.119>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Adubação verde. 2. Cultivo consociado. 3. Plantas -
Nutrição. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22. ed. 631.874

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

ANTÓNIO DA PIEDADE MELO

EFEITOS DA *Crotalaria retusa* L. NO CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO DE
MILHO E FEIJÃO E DE BRÓCOLIS EM SUCESSÃO

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: 08 de outubro de 2021.

Assentimento:



António da Piedade Melo

Autor



Ricardo Henrique Silva Santos

Orientador

Aos meus pais Julião e Helena, *in memoriam*

À minha esposa Célia Melo

Aos meus filhos Tony e Celton

Esta conquista é nossa!

AGRADECIMENTOS

Neste momento encerro um ciclo e, junto a ele, preciso agradecer a todas as pessoas que estiveram comigo, seja no contato do dia a dia ou mandando energias para essa realização. São muitos os nomes que me acompanharam e corro risco de cair nas armadilhas da memória, mas escolho assumir o risco.

Primeiramente agradeço àquele que acredito ser a base de tudo, Deus Pai todo poderoso.

Agradeço ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Moçambique – Instituto de Bolsas de Estudo, pela concessão da bolsa de estudo.

A Universidade Eduardo Mondlane (UEM), pela confiança e autorização para cursar o Doutorado em Fitotecnia.

Reconheço a importância da Universidade Federal de Viçosa - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia do Departamento de Agronomia, pela oportunidade de realização do Doutorado e apoio institucional ao longo desses anos.

As instituições são construídas por pessoas e isso que as caracterizam, logo, sou grato ao meu orientador Prof. Ricardo Henrique Silva Santos, pela confiança, pelos ensinamentos e pela amizade e apoio; e aos coorientadores Prof. Maicon Nardino e Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro, pela disposição e pelos ensinamentos ao longo desses anos.

Aos demais professores do DAA, pela oportunidade de aprendizado e contribuição para os meus conhecimentos durante o curso de Doutorado.

Ao professor Luciano Canellas da UENF, pelos conselhos e companheirismo.

Ao auxílio e companheirismo de colegas como a Mariana de Barros, com sua ajuda nas análises de laboratório. Aos meus colegas Nain, Adalgisa, Galdino, Maristela, Douglas, Mikaela, Jussiê, Débora, Ariecha e Anália que compartilharam comigo conhecimentos e aflições na salinha de estudo. Aos técnicos Chiquinho e João pela troca de experiências.

Ao pessoal do campo da UEPE – “Horta Velha” Wilson, Felicino, Sérgio, Miutim, Koko, Isaías e Borracha pelas risadas e pelo apoio incansável durante a condução do experimento no campo.

Ao longo desses anos de doutorado me deparei com manhãs que começaram mais cedo e noites que se encerraram mais tarde. Dias intensos divididos entre sala de estudos, laboratórios e experimentos. Houveram momentos extremamente exaustivos, mas também, pude comemorar as pequenas conquistas que me trouxeram até aqui. Todo esse movimento exigiu de mim algumas ausências e concessões, mas pude contar com o fortalecimento gerado pela

presença daqueles que estiveram comigo ao longo desses últimos anos: Minha esposa Célia e meus filhos Tony e Celton.

Também pude ser impulsionado pelo apoio dos meus irmãos: Nina, Nené, Julinho, Dino, Dito, Lulu e aquele que se fez presente de outra forma, meu querido John. Agradeço aos meus sobrinhos, primos, tios e demais familiares.

Agradeço ao grande amigo e colega Márcio Siteo, que mesmo estando em Moçambique ou Portugal, contribuiu para essa caminhada.

Sou grato pela experiência de estar no Brasil e, ter conhecido pessoas que me abraçaram sempre que precisei e, certamente seguirão comigo. Os amigos da querida Viçosa me acolheram em muitos momentos, e tornaram esse ambiente mais agradável.

Agradeço aos colegas da Associação dos Estudantes Africanos em Viçosa e estudantes moçambicanos em Viçosa, pelos momentos partilhados.

Pela materialização do presente trabalho que foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao fim, agradeço a todos que mesmo não citados, contribuíram direta ou indiretamente, com essa caminhada. Encerro com a certeza de que bons caminhos foram vivenciados e muitos conhecimentos partilhados.

BIOGRAFIA

António da Piedade Melo, filho de Julião Melo e Nhataha Maria Helena Bernardo, de nacionalidade moçambicana.

Em agosto de 2002 iniciou o curso de Licenciatura em Engenharia Agronômica na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, em Moçambique, e concluiu em abril de 2007.

Em abril de 2012 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, nível de mestrado, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro sob orientação do Professor Luciano Pasqualoto Canellas. Defendeu a dissertação com obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, em fevereiro de 2014.

Em março de 2017 iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa sob orientação do Professor Ricardo Henrique Silva Santos e defendeu a tese em outubro de 2021 com obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

RESUMO

MELO, António da Piedade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2021. **Efeitos da *Crotalaria retusa* L. no cultivo solteiro e consorciado de milho e feijão e de brócolis em sucessão.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Maicon Nardino.

Adubação verde é uma alternativa de prática de manejo do solo sustentável e promissora para o alívio da pressão ambiental causada por aplicações excessivas de fertilizantes industriais. A utilização dos adubos verdes antecedendo ao cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas auxilia no emprego de sistemas de produção sob bases agroecológicas de menor uso de insumos externos e contribui para a nutrição de mais de um ciclo produtivo, principalmente de longos prazos. Os objetivos desse trabalho foram avaliar o efeito nutricional ocasionado pela adubação verde e sua eficiência nas culturas de milho e feijoeiro em cultivo consorciado; avaliar o efeito de N residual do adubo verde *C. retusa* na nutrição nitrogenada, crescimento e produção de plantas de brócolis cultivadas em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro; avaliar o efeito da adubação verde na produtividade e nos indicadores de desempenho e eficiência do consórcio de milho e feijoeiro. O experimento foi realizado em três etapas, na mesma área, no campo experimental ‘Horta Velha’ do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG. Na primeira etapa, parcelas com adubo verde *Crotalaria retusa* L. e vegetação espontânea foram estabelecidas. Na segunda etapa, foram estabelecidos sistemas de cultivo milho solteiro, feijoeiro solteiro e consórcio de milho e feijoeiro, constituindo as subparcelas. A última etapa consistiu no cultivo de brócolis em sucessão aos sistemas de cultivo, na mesma área, sem adubação. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por pré-cultivo do adubo verde *C. retusa* e pousio mantendo-se a vegetação espontânea nas parcelas e sistemas de cultivo milho e feijoeiro (segunda etapa) e depois o brócolis (terceira etapa), como subparcelas; O corte, trituração e incorporação da crotalária ao solo foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. No mesmo dia procedeu-se o corte e incorporação da vegetação espontânea. O acúmulo de N na massa da matéria seca variou entre as plantas do pré-cultivo, com 262,80 kg ha⁻¹ para crotalária e 47,62 kg ha⁻¹ para vegetação de ocorrência espontânea. Na segunda etapa, constatou-se que milho e feijoeiro se beneficiaram dos nutrientes do adubo verde crotalária ao aumentarem suas respectivas produtividades em 28% e 52% para milho e feijoeiro solteiros e em 17% e 71%

para milho e feijoeiro em consórcio. Houve maiores eficiências agronômica, fisiológica e de recuperação nas culturas de milho e de feijoeiro em cultivos solteiros. O aproveitamento de N do adubo verde foi de 24,41% no milho solteiro, 32,12% no feijoeiro solteiro e 36,87% no somatório milho e feijoeiro consorciados. A eficiência de recuperação de N da *C. retusa* no cultivo de brócolis foi de 3,46% na área de milho solteiro, 1,78% na área de feijoeiro solteiro e 5,96% na área de consórcio de milho e feijoeiro. A maior eficiência de recuperação de N do adubo verde nos dois ciclos de cultivo sequenciais foi de 42,83% obtida na área que recebeu consórcio. Ao avaliar o efeito da adubação verde na eficiência do consórcio entre milho e feijoeiro constatou-se que o índice de eficiência da terra apresentou valores maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso do adubo verde (1,22) como no pousio mantendo-se a vegetação de ocorrência espontânea (1,25), indicando eficiência de consórcio milho e feijoeiro. No sistema consorciado, o milho foi mais competitivo que o feijoeiro, expressando maior habilidade competitiva na área que não recebeu adubo verde, mas a adubação verde reduziu a intensidade desta competição. A aplicação equivalente a 11 t ha⁻¹ de matéria seca do adubo verde assegurou o sustento nutricional de mais de um ciclo de produção (milho e feijoeiro na primeira safra e brócolis na segunda), e eleva a matéria seca, crescimento e produção de brócolis no cultivo em sequência. Para período de 12 meses de entressafra, o consórcio de milho e feijoeiro em sucessão à adubação verde é promissor no aumento das eficiências agronômica e de recuperação de N da *C. retusa*, em cultivo sequencial de brócolis.

Palavras-chave: Adubo verde. Consórcio. Eficiência de recuperação. Nutrição.

ABSTRACT

MELO, António da Piedade, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2021. **Effects of *Crotalaria retusa* L. on single and corn-beans intercropping and on a sequential broccoli crop.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Maicon Nardino.

Green manure is a sustainable and promising soil management method to relieve environmental pressure caused by excessive applications of industrial fertilizers. The use of green manure before the intercropping of grasses and legumes is a good practice in production systems under agroecological bases that use fewer external inputs and guarantee the nutrition of more than one production cycle, especially in the long term. The objectives of this work were to evaluate the nutritional effect caused by *C. retusa* green manure and its efficiency in maize and common bean intercropping; evaluate the effect of residual N from *C. retusa* green manure on nutrition, growth and production of broccoli plants cultivated in succession to maize and common bean intercropping; evaluate the effect of green manure on productivity and on the efficiency and performance indicators of the intercropping of maize and common bean. The experiment took place in three stages, in the same field, in the experimental field 'Horta Velha' of the Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – MG, Brazil. In the first stage, plots were established using *Crotalaria retusa* L. and spontaneous vegetation. In the second stage, the assay was set up in subdivided plots with single and intercropping maize and common bean cultivation systems. The last stage consisted of broccoli cultivation in succession to the cultivation systems, in the same area, without fertilization. The experimental design adopted was randomized blocks, with four repetitions. The treatments consisted of pre-cultivation of green manure and fallow keeping spontaneous vegetation in the plots and maize and common bean cultivation systems in the subplots (second stage); pre-cultivation of *C. retusa* green manure and fallow keeping the spontaneous vegetation in plots and broccoli in succession to the maize and common bean cultivation systems in the subplots (third stage). The crotalaria cutting, crushing, and incorporation into the soil were performed when 50% of the plants presented open flowers, at 129 days after sowing. On the same day, spontaneous vegetation was cut and incorporated. The accumulation of N in the dry matter mass varied among the pre-cultivation plants, with 262.80 kg ha⁻¹ for crotalaria and 47.62 kg ha⁻¹ for spontaneous vegetation. In the second stage, it was found that maize and common bean benefited from the nutrients of the *C. retusa* green manure increasing their yields by 28% and 52% for sole maize

and common bean and in 17% and 71% for maize and common bean in the intercropping. There were higher agronomic, physiological and recovery efficiencies in maize and common bean crops sole cultivated. The use N from green manure was 24.41% in sole maize, 32.12% in sole common bean, and 36.87% in the addition of maize and common bean intercropping. The recovery efficiency of N from green manure, in broccoli cultivation was 3.46% in the sole maize area, 1.78% in the sole common bean area, and 5.96% in the maize and common bean intercropping area. The most effective recovery of nitrogen from green manure during both sequential crop cycles was 42.83% in the maize and common bean intercropping area. When evaluating the effect of green manure on the efficiency of maize and common bean intercropping, it was found that the land efficiency index presented values higher than 1 both in the pre-cultivation with the use of green manure (1.22) and in fallow keeping the spontaneous vegetation (1.25), indicating efficiency of maize and common bean intercropping. In the intercropping system, maize was more competitive than common bean, expressing greater competitive ability in the area that did not receive green manure. The application of 11 t ha⁻¹ of green manure dry matter ensured the nutritional support of more than one production cycle (maize and common bean in the first harvest and broccoli in the second), and increased dry matter, growth and production of broccoli in sequential cultivation. In a long off-season, the maize and common bean intercropping in succession to green manure are promising in increasing the agronomic and N recovery efficiencies of *C. retusa*, in sequential cultivation of broccoli.

Keywords: Green manure. Intercropping. Recovery efficiency. Nutrition.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS	19
Capítulo 1: Índices de eficiência nutricional em milho e feijoeiro solteiros e consorciados em sucessão à adubação verde	23
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.1. Localização e caracterização da área experimental	27
2.2. Delineamento experimental	28
2.3. Cultivo do adubo verde.....	29
2.4. Cultivo solteiro e consorciado de milho e feijoeiro	30
2.5. Avaliação da eficiência de utilização de nutrientes	31
2.6. Análise estatística	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1. Acúmulo de matéria seca em milho e feijoeiro	33
3.2. Produtividade de milho e feijoeiro.....	34
3.3. Teor de nutrientes na matéria seca dos cultivos	35
3.4. Índice de eficiência nutricional.....	36
4. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42
Capítulo 2: Efeito residual do N da crotalária em brócolis cultivado em sucessão ao milho e feijão	45
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.1. Localização e caracterização da área experimental	49
2.2. Delineamento experimental	50
2.3. Cultivo do adubo verde.....	50
2.4. Sistema de cultivo de milho e feijoeiro	52
2.5. Cultivo de brócolis em sucessão ao milho e feijoeiro	52
2.6. Avaliação do efeito residual de N do adubo verde	53
2.7. Análise estatística	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1. Acúmulo de matéria seca em brócolis	55
3.2. Acúmulo de N na matéria seca de brócolis.....	55
3.3. Área do dossel de brócolis	56

3.4. Análises de trocas gasosas	58
3.5. Crescimento e produção da inflorescência de brócolis.....	60
3.6. Eficiências agrônômica, fisiológica e de recuperação de N da <i>C. retusa</i>	61
4. CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	65
Capítulo 3: Eficiência do consórcio milho e feijão cultivados em sucessão à adubação verde	69
1. INTRODUÇÃO.....	71
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	73
2.1. Localização e caracterização da área experimental	73
2.2. Delineamento experimental	74
2.3. Cultivo do adubo verde.....	74
2.4. Cultivo consorciado e solteiro de milho e feijoeiro	76
2.5. Índices de eficiência e desempenho no consórcio	77
2.6. Análise econômica de sistemas de cultivo - renda bruta	79
2.7. Análise estatística	79
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
3.1. Acúmulo de N na matéria seca de milho e feijoeiro.....	80
3.2. Produtividade de milho e feijoeiro.....	81
3.3. Índices de eficiência e desempenho do consórcio	82
3.4. Renda bruta.....	85
4. CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	88
CONCLUSÕES GERAIS	91
ANEXO	92

INTRODUÇÃO GERAL

O potencial produtivo dos solos de regiões tropicais é limitado devido a problemas de acidez e reduzida disponibilidade de nutrientes. A baixa disponibilidade de nitrogênio (N) é um dos principais responsáveis pelos baixos níveis de produtividade das culturas, por ser nutriente exigido em maior quantidade e um dos que mais limita o crescimento das plantas.

Ainda que os fertilizantes minerais industriais nitrogenados aumentam o rendimento das culturas, seu uso indiscriminado tem efeitos significativos nos custos ambientais, pelo fato de a produção industrial de N consumir grande quantidade de energia obtida a partir da queima de combustíveis fósseis. Ademais, pode impactar o ciclo do N, causar a destruição da camada de ozônio pela emissão de gases como N₂O e amônia (OITA et al., 2016; ZHOU et al., 2021) além de gerar problemas de lixiviação de nitrato no solo (HAKEEM et al., 2012). Por outro lado, tratando-se de commodities internacionais, os fertilizantes nitrogenados carecem de importação e são onerosos quando comparados com adubação verde.

Assim, a utilização de espécies capazes de realizarem a fixação biológica de nitrogênio (FBN) de maneira eficiente, como as leguminosas, além de ser menos contaminante ao ambiente, pode contribuir de forma considerável para o fornecimento de N ao sistema (BODDLEY et al., 1997; ZHU et al., 2012; SALMI et al., 2013) e nutrição das culturas. Ademais, o uso dessas espécies como adubo verde favorece a conservação do solo e ciclagem de nutrientes (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; ZHU et al., 2014; ZHENG et al., 2018; ZHOU et al., 2020).

O uso de leguminosas como adubos verdes podem ainda contribuir para a diminuição da infestação de plantas invasoras (MUONI et al., 2019). Suas sementes podem ser produzidas localmente, ficando sob controle do agricultor ou suas organizações. Existem muitas espécies leguminosas de adubos verdes, com possibilidades de adaptação a diferentes condições de clima e solo. Portanto, o uso desses adubos, em propriedades familiares, pode ser uma alternativa face ao crescente risco proveniente do uso de fertilizantes industrializados. Dentre as diversas espécies de leguminosas, as Crotalárias possuem ainda a capacidade de reduzir populações de nematoides e neste gênero, a *Crotalaria retusa* tem mostrado florescimento mais tardio, com maiores produções de matéria seca que *C. juncea*, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, *C. spectabilis*, *C. paulina*, quando o cultivo ocorre de fevereiro em diante nas condições Viçosa – MG.

O N proveniente dos adubos verdes pode ser suficiente para sustentar em mais de um ciclo de culturas subsequentes (DINIZ et al., 2017a; VARGAS et al., 2017) e apresentar significativa viabilidade econômica. Entretanto, seu aproveitamento é influenciado por vários

fatores, desde os intrínsecos de cada espécie até os ambientais que interferem na mineralização dos nutrientes provenientes da decomposição da biomassa dos adubos verdes.

As leguminosas fornecem biomassa de rápida mineralização de N após a incorporação, sendo os efeitos positivos da nutrição nitrogenada observados prontamente nos estágios iniciais de crescimento da cultura principal (RADICETTI et al., 2017). Existem relatos que destacam o efeito da adubação verde no crescimento, produção e acúmulo de N em hortaliças – brócolis e em cultura de grãos – milho, principalmente nas doses mais altas (DINIZ et al., 2015; ÁVILA et al., 2020), comprovando que altos rendimentos e acúmulo de N podem ser obtidos com menor uso de fertilizantes industriais (DABIN et al., 2016).

Porém, apenas uma parte do N fornecido pelos adubos verdes será utilizado pelo primeiro cultivo (GRANT et al., 2016; DINIZ et al., 2017a; VARGAS et al., 2017), outra parte de N pode ser perdida por lixiviação ou volatilização, e uma terceira e maior parte pode permanecer na fração de biomassa microbiana do solo e na matéria orgânica do solo. Assim, a capacidade de suprimento de N dos adubos verdes pode ocorrer não só no primeiro cultivo, mas também nos cultivos sequenciais, evidenciando o efeito residual desses adubos.

Portanto, é necessário quantificar e monitorar o efeito residual da adubação verde em cultivos sucessivos, por exemplo, de consórcios de gramíneas e leguminosas como primeiro cultivo após a aplicação do adubo verde e, na sequência, o cultivo de brócolis, visando incrementar o conhecimento científico e os possíveis benefícios do seu emprego nos sistemas de produção de alimentos.

A avaliação do efeito residual dos adubos verdes nas culturas em sucessão pode ser através de seu efeito na produtividade. Entretanto, este mecanismo pode apresentar lacunas, pois a produtividade pode ser afetada por outros fatores bióticos e abióticos. Assim, o uso de índices de eficiência associados aos nutrientes aplicados pode ser uma alternativa para quantificar a absorção e utilização dos nutrientes pelas culturas (FAGERIA, 1998; VAN BUEREN; STRUIK, 2017).

Existem vários índices de eficiência para medir a capacidade das plantas em utilizar um determinado nutriente. Entre eles estão a eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação. A eficiência agrônômica é definida como a produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado, enquanto que eficiência fisiológica indica o acúmulo de matéria seca obtido por unidade de nutriente absorvido. Já a eficiência de recuperação é definida como a quantidade de nutriente absorvido pela planta por unidade de nutriente aplicado, e ajuda a entender a dinâmica da reserva nutricional do solo e as possíveis perdas dos nutrientes aplicados (FAGERIA; MORAIS; SANTOS, 2010).

Para que haja maior eficiência nutricional, é importante que a mineralização de nutrientes derivados da adubação verde ocorra em sincronia com a demanda da planta em cultivo. A eficiência de recuperação do N derivado desses adubos pela cultura de brócolis é muito variável (DINIZ et al., 2015; DINIZ et al., 2017b; VARGAS et al., 2017; PERALTA-ANTONIO et al., 2019; PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2020).

No caso de adubação com N mineral solúvel, relatos indicam que a eficiência de recuperação de N em cereais é em torno de 50% (LADHA et al., 2016), variando de acordo com a espécie. Para brócolis, foi encontrada eficiência de recuperação de N em torno de 65% obtida com doses entre 220 a 280 kg ha⁻¹ de N (HUSSAIN et al., 2017; PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2020). O incremento de N disponível pode aumentar o rendimento e a concentração do elemento nos órgãos das plantas. Entretanto, a aplicação excessiva de N geralmente leva a uma menor eficiência de uso de N, o que aumenta o risco de poluição por N (YANG et al., 2017).

A eficiência nutricional está estritamente relacionada a processos fisiológicos da planta, desde os mecanismos de absorção dos nutrientes através de exploração do solo pelas raízes, passando pelos processos fotossintéticos e metabólicos (WEI et al., 2016), até a remobilização de N para os órgãos da planta. No entanto, as plantas são capazes de alcançar uma melhor eficiência de uso de N quando enfrentam condições limitantes de N (KANT; BI; ROTHSTEIN, 2011), por via de regulação dos sistemas de absorção de N, plasticidade da arquitetura do sistema radicular e mudança rápida do crescimento da parte aérea (NACRY; BOUGUYON; GOJON, 2013).

No solo, o N está disponível para as plantas em diversas formas, incluindo aminoácidos, peptídeos solúveis, nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺). Entretanto, a maioria de plantas vasculares, incluindo milho, feijoeiro e brócolis, absorvem o N na forma de NO₃⁻ ou NH₄⁺. O íon amônio encontra-se no solo adsorvido nas partículas coloidais, enquanto o nitrato, por ter carga negativa, torna-se componente da solução, sendo facilmente lixiviado (LI et al., 2013). Em condições ótimas de pH e oxigênio, a forma nítrica é predominante em resultado do processo de nitrificação no qual bactérias nitrificantes promovem a oxidação, transformando o NH₄⁺ em nitrito (NO₂⁻) através das nitrossomonas e de NO₂⁻ em NO₃⁻ por ação das nitrobactérias (LI et al., 2013).

As plantas utilizam as raízes para absorver N na forma de NH₄⁺ ou NO₃⁻. Os sistemas radiculares profundos tornam o processo de absorção de NO₃⁻ eficiente por reduzir as perdas por lixiviação (WHITE et al., 2013). Uma vez absorvido, o N é conduzido pelos vasos

condutores para os órgãos vegetativos da planta. As folhas funcionam como principal reservatório do nutriente no estágio vegetativa da planta.

No interior da planta, para ser assimilado, primeiro o NO_3^- precisa ser reduzido para NH_4^+ . Essa redução é catalisada por enzimas específicas em duas etapas: a primeira ocorre através da enzima nitrato redutase (RN) que transforma NO_3^- em NO_2^- e a segunda ocorre no interior dos cloroplastos nas folhas e dos plastídios nas raízes, através da enzima nitrito redutase (RNi) que converte NO_2^- a NH_4^+ (LI et al., 2013).

O NH_4^+ gerado é incorporado ao aminoácido e a principal rota de conversão envolve a ação das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) (LEA; MIFLIN, 2018). As reações subsequentes consistem na formação de outros aminoácidos ou biomoléculas (KRAPP, 2015), como proteínas que participam como enzimas nos processos metabólicos das plantas. O N também faz parte da enzima Rubisco e na biossíntese da molécula de clorofila na folha, exercendo forte influência sobre as taxas fotossintéticas. Portanto, percebe-se claramente a importância de N como componente fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Em relação ao cultivo consorciado, o sistema é praticado há séculos, por pequenos agricultores, no intuito de obter o máximo de benefícios dos recursos disponíveis, uma vez que pode proporcionar maior eficiência do uso dos recursos e melhorar a produção (YANG et al., 2015; MADEMBO; MHLANGA; THIERFELDER, 2020). Por esse motivo, nas regiões tropicais, em que predomina uso intensivo de mão de obra familiar, as culturas de subsistência são produzidas tradicionalmente em sistema de consórcio (BELTRÃO et al., 2010).

Entre as várias importâncias do sistema consorciado destacam-se: redução do risco de insucesso na produção de alimentos pelo fato de serem produzidas duas ou mais culturas simultâneas; uso mais intensivo da limitada área que os pequenos agricultores possuem; proteção vegetativa do solo contra a erosão; uso mais eficiente da mão de obra e; diversificação de fontes de renda e maiores lucros para o pequeno agricultor que as culturas solteiras (BELTRÃO et al., 2010; YANG et al., 2015; RUSINAMHODZI; MAKOKO; SARIAH, 2017).

Trata-se de sistema de cultivo vantajoso para agricultores familiares, principalmente os pequenos agricultores de países da África Subsaariana, no qual Moçambique faz parte, visto que nesta região predomina clima com ampla variabilidade e eventos extremos. Assim, o consórcio pode promover benefícios ecológicos que podem contribuir para mitigar os impactos ambientais dos agroecossistemas, aumentando a resiliência e protegendo a produção agrícola dos efeitos da mudança climática (NAUDIN et al., 2014; SMITH et al., 2016; STAGNARI et al., 2017).

Para avaliar a eficiência dos consórcios em relação aos monocultivos, os pesquisadores, usualmente, utilizam o índice de eficiência da terra (IET), definido como a quantidade de terra, em hectare, em cultivo solteiro necessária para ter os mesmos rendimentos que o cultivo consorciado (WILLEY, 1979; TEIXEIRA et al., 2012). O consórcio será eficiente quando o IET for maior que 1,0 e ineficiente para a produção quando inferior a 1,0.

Existem outros indicadores para analisar as vantagens do sistema de consórcio por meio de índices de eficiência biológica e habilidade competitiva, tais como: índice de equivalência relativa da área/tempo (ERAT); índice de perda ou ganho real de rendimento (PGRR); índice de agressividade (AGR) e o índice de razão competitiva (RC).

O ERAT é uma modificação do IET, sendo que além de considerar o uso equivalente da terra, também considera o tempo de permanência em campo das culturas componentes do consórcio. Assim, quando o valor de ERAT for maior que 1, indica que o cultivo em consórcio é mais vantajoso em aproveitamento do uso da terra na escala do tempo do que em relação ao cultivo solteiro e quando o valor de ERAT for menor que 1, indica o contrário (HIEBSCH; MCCOLLUM, 1987).

O PGRR compara o rendimento por indivíduo de cada cultura no cultivo em consórcio com o rendimento no cultivo solteiro. Quando o valor da PGRR for igual a zero, indica que o rendimento por planta da cultura no consórcio foi idêntico ao rendimento por planta do cultivo solteiro. Valores de PGRR maiores do que zero, indicam que o rendimento por planta da cultura no consórcio foi maior do que no cultivo solteiro. Valores de PGRR menores do que zero, indicam o contrário (BANIK, 1996).

O AGR é utilizado para averiguar às relações de competitividade, sendo que quando seu valor é zero, tem-se o indicativo de que as duas espécies são iguais em relação à força de competição e quando seu valor é diferente de zero, as forças de competição são diferentes, onde o de sinal positivo predomina em relação a de sinal negativo (MCGILCHRIST; TRENBATH, 1971). E, o RC, que indica o número de vezes pelo qual uma cultura componente do consórcio é mais competitiva que a outra (WILLEY; RAO, 1980).

A eficiência e o aproveitamento vantajoso de sistemas consorciados dependem de fatores que podem ter impacto significativo na taxa de crescimento e no rendimento das culturas componentes. Entre eles estão a densidade populacional, cultivar, arranjo e espaçamento. Portanto, os mecanismos ecológicos de facilitação e de competição, promovem as complexas interações entre esses fatores (CALLAWAY; WALKER, 1997).

Os consórcios absorvem mais N e o mantêm por período mais longo em formas mineralizáveis que os cultivos solteiros. Assim, o efeito residual de N do adubo verde no solo

e consequente aproveitamento pelas culturas sucessivas pode ser maior nesses sistemas, em comparação a monocultura como primeiro cultivo após a aplicação do adubo verde, principalmente para períodos longos de produção (TOSTI et al., 2014; GEZAHEGN et al., 2016).

Perante o exposto, e no âmbito da cooperação internacional entre Brasil e Moçambique, surge a presente pesquisa da qual as hipóteses são de que a médio prazo, os cultivos consorciados de gramíneas e leguminosas, sucedidos de adubação verde, afetam o efeito residual do N destes adubos sobre culturas em sucessão ao consórcio, sendo estes mais vantajosos que aqueles que ocorrem com apenas cultivos solteiros.

Para testar a hipótese foi conduzido um experimento de campo, em três etapas, com o objetivo de avaliar o efeito do adubo verde *C. retusa* nas culturas de milho e feijoeiro solteiros ou em consórcio e seu efeito residual no brócolis cultivado em sucessão.

O Capítulo 1 trata da avaliação do efeito nutricional ocasionado pelo adubo verde *C. retusa* e sua eficiência nas culturas de milho e feijoeiro solteiros e em consórcio. O Capítulo 2 aborda o efeito de N residual do adubo verde *C. retusa* na nutrição e no crescimento de plantas de brócolis cultivadas sem adubação em sucessão ao sistema de cultivo de milho e feijão. A avaliação dos indicadores de desempenho e eficiência do consórcio entre milho e feijoeiro cultivados em sucessão ao pré-cultivo com adubação verde e vegetação espontânea é abordado no Capítulo 3.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA, J. S. et al. Adubação verde associada à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 9, p. 590-595, 2020.
- BANIK, P. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1: 1 and 2: 1 Row-replacement series system. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 176, n. 5, p. 289-294, 1996.
- BELTRÃO, et al. Consórcio mamona e amendoim: opção para a agricultura familiar. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 35, 2010.
- BODDEY, R. M. et al. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5-6, p. 787-799, 1997.
- 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 mineralization. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 171-182, 2013.
- CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, v. 78, n. 7, p. 1958-1965, 1997.
- 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. Doses de *Crotalaria juncea*: Efeito residual no cultivo de abobrinha e milho em sequência ao brócolis. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017a.
- 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, 2017b.
- DABIN, Z. Y. et al. Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 47-55, 2016.
- 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.; DE MORAIS, O. P.; SANTOS, A. B. Nitrogen use efficiency in upland rice genotypes. **Journal of plant nutrition**, v. 33, n. 11, p. 1696-1711, 2010.
- GEZAHEGN, A. M. et al. Decomposition and nitrogen mineralization of individual and mixed maize and soybean residue. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, p. 28-45, 2016.
- 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.
- HAKHEEM, K. R. et al. Physiological and molecular analysis of applied nitrogen in rice genotypes. **Rice Science**, v. 19, n. 3, p. 213-222, 2012.

- HIEBSCH, C. K.; MCCOLLUM, R. E. Area- \times -Time Equivalency Ratio: A Method For Evaluating The Productivity Of Intercrops¹. **Agronomy Journal**, v. 79, n. 1, p. 15-22, 1987.
- HUSSAIN, M. J. et al. Effect of different levels of urea super granule and prilled urea on the crop quality, nutrient uptake and soil nutrient status of broccoli. **The Agriculturists**, v. 15, n. 2, p. 24-39, 2017.
- 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.
- 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. 1, p. 1-9, 2016.
- LEA, P. J.; MIFLIN, B. J. Nitrogen assimilation and its relevance to crop improvement. **Annual Plant Reviews online**, p. 1-40, 2018.
- LI, S. X. et al. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 118, p. 205-397, 2013.
- MADEMBO, C.; MHLANGA, B.; THIERFELDER, C. Productivity or stability? Exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder Conservation Agriculture farmers in Zimbabwe. **Agricultural Systems**, v. 185, n. 102921, 2020.
- MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, p. 659-671, 1971.
- MUONI, T. et al. The Role of *Mucuna pruriens* in Smallholder Farming Systems of Eastern and Southern Africa: A Review. **Agronomic Crops**, p. 485-498, 2019.
- 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.
- NAUDIN, C. et al. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: a new method for handling the impacts of co-products. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 80-87, 2014.
- OITA, A. et al. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 2, p. 111-115, 2016.
- PERALTA-ANTONIO, N. et al. Broccoli nutrition and changes of soil solution with green manure and mineral fertilization. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 816-829, 2019.
- PERALTA-ANTONIO, N.; WATTHIER, M.; SANTOS, R. H. S. Green manure and mineral fertilizer in sequential cropping: effect on dry matter, yield, accumulation and recovery efficiency of nutrients. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, p. 1-16, 2020.

- 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.
- RUSINAMHODZI, L.; MAKOKO, B.; SARIAH, J. Ratooning pigeonpea in maize-pigeonpea intercropping: productivity and seed cost reduction in eastern Tanzania. **Field Crops Research**, v. 203, p. 24-32, 2017.
- SALMI, A. P. et al. Crescimento, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio de *Flemingia macrophylla*. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 79-85, 2013.
- SMITH, A. et al. Doubled-up legume rotations improve soil fertility and maintain productivity under variable conditions in maize-based cropping systems in Malawi. **Agricultural Systems**, v. 145, p. 139-149, 2016.
- STAGNARI, F. et al. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2017.
- TEIXEIRA, I. R. et al. Arranjos de plantas do feijoeiro-comum consorciado com mamona. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 85-91, 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.
- VAN BUEREN, E. T. L.; STRUIK, P. C. Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 1-24, 2017.
- VARGAS, T. O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209-213, 2017.
- WEI, S. et al. The mechanisms of low nitrogen induced weakened photosynthesis in summer maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 105, p. 118- 128, 2016.
- WHITE, P. J. et al. Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, n. 2, p. 207-222, 2013.
- WILLEY, R.W. Intercropping - its importance and research needs. Part. 2. Agronomy and research approaches. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n. 2, p. 73-85, 1979.
- WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. **Experimental Agriculture**, v. 16, n. 2, p. 117-125, 1980.
- YANG, F. et al. Yield response to different planting geometries in maize–soybean relay strip intercropping systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 1, p. 296-304, 2015.
- YANG, Z. P. et al. Application of the end-of-season stalk nitrate test for a high-yield maize production system in Northwestern China. **Journal of plant nutrition**, v. 40, n. 17, p. 2373-2381, 2017.
- ZHENG, W. et al. Effects of cover crop in an apple orchard on microbial community composition, networks, and potential genes involved with degradation of crop residues in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 6, p. 743-759, 2018.

ZHOU, G. et al. Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China. **Soil and Tillage Research**, v. 197, n. 104499, 2020.

ZHOU, J. et al. Biochar-based fertilizer decreased while chemical fertilizer increased soil N₂O emissions in a subtropical Moso bamboo plantation. **CATENA**, v. 202, 2021.

ZHU, Bo et al. Nitrogen release from incorporated ¹⁵N-labelled Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) residue and its dynamics in a double rice cropping system. **Plant and soil**, v. 374, n. 1, p. 331-344, 2014.

ZHU, Bo et al. Performance of two winter cover crops and their impacts on soil properties and two subsequent rice crops in Dongting Lake Plain, Hunan, China. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 95-101, 2012.

Capítulo 1: Índices de eficiência nutricional em milho e feijoeiro solteiros e consorciados em sucessão à adubação verde

RESUMO: Cultivos consorciados tendem a ser mais exigentes por recursos, como nutrientes, por conta da competição, que pode comprometer o rendimento de uma ou ambas as culturas. Assim, a adubação verde antecedida ao consórcio, pode contribuir para suprir a necessidade nutricional das culturas componentes e promover aumento no rendimento do sistema. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito nutricional ocasionado pelo adubo verde e sua eficiência nas culturas de milho e feijoeiro solteiros e em consórcio. O experimento foi realizado em duas etapas, no campo experimental ‘Horta Velha’ do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG. Na primeira etapa, parcelas com crotalária e vegetação espontânea foram estabelecidas antes da semeadura de milho e feijoeiro. Os tratamentos foram arrançados em parcelas subdivididas, constituídos de pré-cultivo da crotalária (*Crotalaria retusa* L.) e pousio nas parcelas e, sistemas de cultivo milho e feijoeiro nas subparcelas. O corte, trituração e incorporação da crotalária ao solo foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. No mesmo dia procedeu-se o corte e incorporação da vegetação espontânea. O acúmulo de N na massa da matéria seca variou entre as plantas do pré-cultivo, com 262,80 kg ha⁻¹ para crotalária e 47,62 kg ha⁻¹ para vegetação espontânea. Constatou-se que o milho e feijoeiro se beneficiaram dos nutrientes do adubo verde crotalária. Entre os nutrientes estudados, houve maior eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação nas culturas de milho e de feijoeiro em cultivos solteiros. O aproveitamento de N do adubo verde *C. retusa* foi de 24,41% no milho solteiro, 32,12% no feijoeiro solteiro e 36,87% no consórcio milho e feijoeiro.

Palavras-chave: *C. retusa*. Consórcio. Nutrição. Pré-cultivo.

ABSTRACT: Intercropped crops, tend to be more demanding for important resources, such as nutrients, due to competition, which can compromise the yield of one or both crops. Thus, the use of green manure before intercropping can meet the nutritional needs of component crops and promote improved system performance. The purpose of this research was to evaluate the nutritional effect of green manure and its efficiency in maize and common bean intercropping systems. The trials were carried out in two stages, in the ‘Horta Velha’ experimental field of the Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – MG, Brazil. The first stage consisted of plots with crotalaria and spontaneous vegetation establishment before maize and common bean sowing. The treatments were arranged in split plot, consisted of pre-cultivation of crotalaria (*Crotalaria retusa* L.) and fallow in the plots and, maize and common bean cultivation systems in the subplots. Crotalaria cutting, crushing, and soil incorporation was performed when 50% of the plants had open flowers, 129 days after seeding. On the same day, spontaneous vegetation was cut and incorporated. Dry mass accumulation of N varied between pre culture plants, with 262.80 kg ha⁻¹ for crotalaria and 47.62 kg ha⁻¹ for spontaneous vegetation. The results show that maize and common bean benefited from crotalaria green manure nutrients. Among the studied nutrients, green manure caused higher agronomic efficiency, physiological efficiency, and recovery efficiency in sole maize and common bean. The use of *C. retusa* green manure N was 24.41% in sole maize, 32.12% in sole common bean, and 36.87% in intercropped maize and common bean.

Keywords: *C. retusa*. Intercropping. Nutrition. Pre-cultivation.

1. INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais apresentam, em sua maioria, baixos teores de matéria orgânica, sendo seu declínio uma das causas mais importantes da degradação dos agroecossistemas (NYAGUMBO et al., 2016). Esta situação condiciona ao agricultor a dependência do uso de fertilizantes minerais industriais para obter altas produtividades de alimentos. No entanto, um dos maiores desafios da agricultura neste século é a conciliação entre o aumento da produção de alimentos e a diminuição da poluição ambiental (WITTEWER et al., 2017; CHEN et al., 2021).

Os fertilizantes minerais industriais são derivados de processos industriais de intenso consumo energético e seu uso indiscriminado tem efeitos significativos nos custos ambientais, podendo causar a destruição da camada de ozônio pela emissão de gases como N_2O e amônia (OITA et al., 2016; ZHOU et al., 2021). O uso intensivo destes fertilizantes na lavoura altera significativamente as propriedades e qualidade dos solos por meio da acidificação, redução do teor do carbono orgânico e da biodiversidade, comprometendo assim a fertilidade do solo (GUO et al., 2010; CURTIN; TROLOVE, 2013). Por outro lado, tratando-se de commodities internacionais, os fertilizantes minerais industriais são onerosos quando comparados com adubação verde.

Alternativamente, práticas de manejo de adubação sustentável, que visam reduzir a dependência do uso de fertilizantes minerais industriais, como o emprego da adubação verde, têm mostrado serem eficientes em aumentar a fertilidade do solo, sendo promissor para o alívio da pressão ambiental causada por aplicações excessivas destes fertilizantes (VALADARES et al., 2016). Além de atenuar a erosão e elevar gradativamente a matéria orgânica do solo, os adubos verdes desempenham papel fundamental na nutrição de plantas e ciclagem de nutrientes (RADICETTI et al., 2017; ZHENG et al., 2018; ZHOU et al., 2020).

Além disso, os adubos verdes divergem de fertilizantes minerais industriais pelo fato de suas sementes poderem ser produzidas localmente, podendo ficar sob controle do agricultor, e com possibilidades de adaptação às diferentes condições de clima e solo. Assim, as propriedades de pequenos agricultores rurais podem possuir grandes quantidades de sementes de adubos verdes para uso em substituição à fertilizantes minerais industriais.

Estudos mostram a dinâmica da eficiência dos adubos verdes na nutrição de plantas (DINIZ et al., 2015; DINIZ et al., 2017a; PERALTA-ANTONIO et al., 2019; PERALTA-ANTONIO; WATTHIER; SANTOS, 2020), sendo o aumento de rendimento das culturas associado à maior eficiência nutricional. Ademais, os adubos verdes podem assegurar a

disponibilidade de N, por exemplo, em mais de um ciclo de culturas em sucessão (DINIZ et al., 2017b; VARGAS et al., 2017). Porém, são raros os trabalhos que visam quantificar a eficiência nutricional de adubos verdes em consórcio de milho e feijoeiro.

Sistemas consorciados podem proporcionar estabilidade de rendimento nos campos dos agricultores (LITHOURGIDIS et al., 2011; YANG et al., 2015; MAHALLATI et al., 2015; MARTIN-GUAY et al., 2018). No entanto, ainda que os pequenos agricultores dependam dos fertilizantes minerais industriais para obter altos rendimentos, devido ao alto custo de aquisição destes fertilizantes, são raros os casos que são feitas adubações nos consórcios, principalmente os pequenos agricultores de países da África Subsaariana (HARRIS; ORR, 2014), ou se fazem, é em função da cultura principal, negligenciando a nutrição da cultura componente, o que pode contribuir para a redução da produtividade.

Por se tratar de duas culturas em cultivo simultâneo, as plantas consorciadas tendem a ser mais exigentes por recursos, como nutrientes, por conta da competição, o que pode comprometer o rendimento de uma ou ambas as culturas (GEBRU, 2015). Assim, o uso do adubo verde antecedido ao consórcio, pode contribuir para suprir a necessidade nutricional das culturas componentes e promover aumento da produtividade. Neste contexto, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de avaliar o efeito nutricional da adubação verde e sua eficiência nas culturas de milho e feijoeiro em cultivo consorciado e solteiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão “Horta Velha” do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa - MG, localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Viçosa em 20°45’14’’S e 42°52’53’’O e 650 m de altitude, no período de 19 de fevereiro de 2019 a 06 de abril de 2020. Os dados meteorológicos obtidos durante a condução do experimento são apresentados na Figura 1.

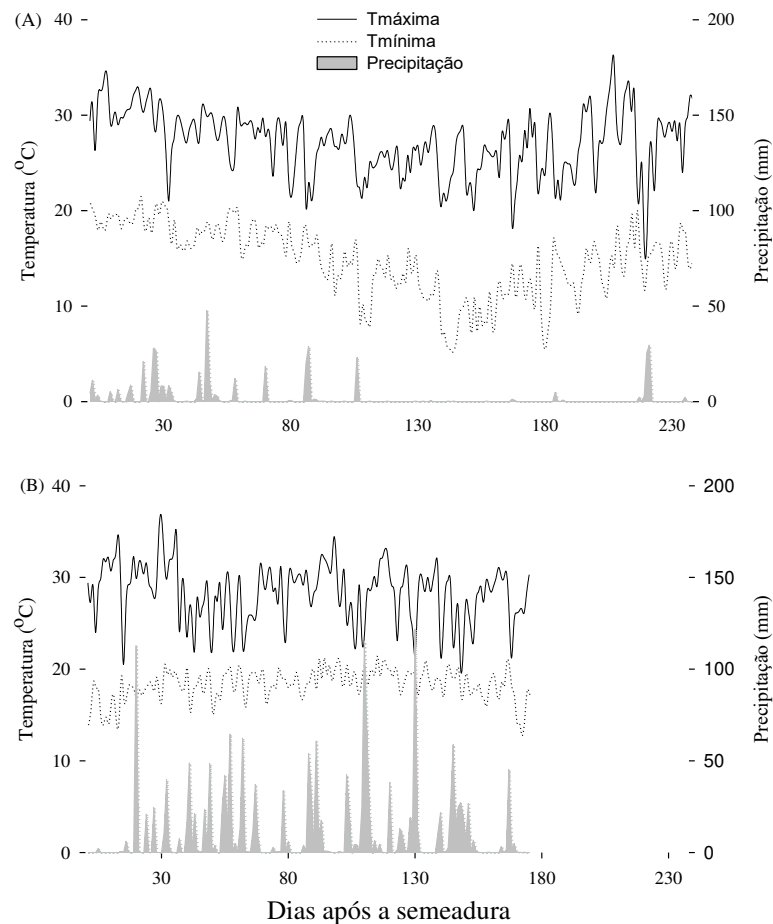


Figura 1: (A) Temperatura máxima ($T_{\text{máxima}}$) e mínima ($T_{\text{mínima}}$) diária e precipitação acumulada diária durante o pré-cultivo do adubo verde *C. retusa*, em Viçosa - MG. (B) Temperatura máxima e mínima diária e precipitação acumulada diária durante os cultivos de milho e feijoeiro, após cultivo do adubo verde *C. retusa*, na mesma área, em Viçosa - MG. (Fonte: INMET).

O solo da área do experimento é classificado, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Argissolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018). Antes de iniciar o experimento foram coletadas amostras compostas do solo, na profundidade de 0 – 20 cm, para análises química e física. A granulometria do solo foi composta por 270,0 g kg⁻¹ de areia, 240,0 g kg⁻¹ de silte e 490,0 g kg⁻¹ de argila. Os resultados de análise química do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de análise química do solo da área experimental

pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	P-rem
	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³						%		mg L ⁻¹	
5,4	2,69	65,6	161	2,89	0,66	0,10	2,97	3,96	4,06	6,93	57,1	2,5	27,4

Legenda: P - fósforo, Extrator Mehlich 1; K - potássio, Extrator Mehlich 1; Ca - cálcio, Mg - magnésio e Al - alumínio, Extrator KCl 1 mol/L; H + Al, Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0; SB - soma de bases trocáveis; t - capacidade de troca catiônica efetiva; T - capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - índice de saturação por bases; m - índice de saturação por alumínio; MO - matéria orgânica; Mat. Orgânica = C.Org x 1,724 - pelo método de Walkley - Black; P-rem - fósforo remanescente.

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi realizado em duas etapas, na mesma área experimental. A primeira etapa, de 19 de fevereiro a 27 de junho de 2019, consistiu no cultivo do adubo verde *Crotalaria retusa* L. e da manutenção da vegetação de ocorrência espontânea. Na segunda etapa, de 15 de outubro de 2019 a 06 de abril de 2020, foram cultivados milho e feijão, segundo o esquema de parcelas subdivididas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de pré-cultivo do adubo verde crotalária (AV) e pousio mantendo-se a vegetação espontânea (VE). Nas subparcelas foram alocados os sistemas de cultivo milho solteiro (MS), feijoeiro solteiro (FS) e consórcio de milho (MC) e feijoeiro (FC). Assim, os tratamentos resultaram da combinação das parcelas e subparcelas: milho solteiro após adubação verde (MSAV), milho consorciado após adubação verde (MCAV), milho solteiro após vegetação espontânea (MSVE), milho consorciado após vegetação espontânea (MCVE), feijão solteiro após adubação verde (FAV), feijão consorciado após adubação verde (FCAV), feijão solteiro após vegetação espontânea (FSVE) e feijão consorciado após vegetação espontânea (FCVE).

2.3. Cultivo do adubo verde

O adubo verde *C. retusa* L. foi semeado na densidade de 25 plantas por metro linear, com espaçamento de 30 cm entre linhas. O corte e trituração da crotalária foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. Para tanto, foi utilizado o triturador de palhada. Na mesma ocasião foi feito o corte e trituração da vegetação espontânea. A vegetação espontânea foi caracterizada quanto à composição florística. Para tanto, foi lançado aleatoriamente, por quatro vezes, em cada parcela, um quadrado metálico de 1,0 m² e determinadas as plantas contidas na área do quadro. Em seguida, foi feita a contagem das plantas de cada espécie e determinada a percentagem de cobertura de cada espécie de vegetação espontânea. A percentagem de cobertura foi composta por *Cyperus rotundus* L. (69%), *Oxalis latifolia* Kunth (10%), *Bidens pilosa* L. (9%), *Amaranthus viridus* L. (4%), *Galinsoga parviflora* Cav. (3%), *Cyperus iria* L. (2%) e para *Ageratum conyzoides* L., *Sonchus oleraceus* L. e *Amaranthus spinolus* L. (1%).

No mesmo dia do corte do pré-cultivo procedeu-se a incorporação do material ao solo com uso de enxada rotativa acoplada. Na ocasião de corte da crotalária e da vegetação espontânea, as plantas pertencentes a área útil de 1,0 m², em quatro repetições por parcela, foram cortadas rente ao solo e pesadas para a determinação da matéria fresca. Foi retirada uma amostra de aproximadamente 250 g de matéria fresca em cada repetição da parcela. Estas foram lavadas em água corrente e em seguida o material foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e estimada a produção de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 2).

Após secagem em estufa, as amostras foram moídas para a determinação do teor total de N pelo método de Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). Para os teores dos demais nutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinados teores de fósforo por espectrofotometria de absorção molecular, potássio por fotometria de chama e cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O teor de carbono foi determinado por meio do método da mufla (GOLDIN, 1987; CARMO; SILVA, 2012). Os teores de lignina, celulose e hemicelulose foram determinados seguindo o método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970).

Tabela 2: Características da matéria seca do adubo verde (AV) e vegetação espontânea (VE). Carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), hemicelulose (Hem), celulose (Cel), lignina (Lig), relação Lig/N e matéria seca da parte aérea (MSPA)

Pré-cultivo	C	N	C/N	K	Ca	Mg	P	Hem	Cel	Lig	Lig /N	MSPA
	%				g kg ⁻¹			%				t ha ⁻¹
AV	40,9	2,4	17,0	19,3	5,2	1,1	5,1	18,6	23,8	5,8	2,4	10,950
VE	39,9	1,1	36,2	13,6	2,1	1,0	4,3	21,2	30,5	7,5	6,8	4,329

2.4. Cultivo solteiro e consorciado de milho e feijoeiro

A semeadura do milho (*Zea mays* L.) cv “UFVM-200” foi realizada no dia 15 de outubro de 2019, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e oito sementes por metro linear, mantendo-se um estande de 65 mil plantas por hectare, após o desbaste que ocorreu 13 dias após a emergência. A área da subparcela experimental foi de 20 m² e constituída de quatro fileiras com 5,0 m de comprimento cada, considerando-se a área útil as fileiras centrais.

A semeadura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv “BRSMG Marte” ocorreu na mesma data da semeadura do milho, utilizando-se o espaçamento de 0,50 m entre linhas e 12 sementes por metro linear, perfazendo uma população de 240 mil plantas por hectare. A área da subparcela experimental foi de 20 m² e constituída de oito linhas de 5,0 m de comprimento, sendo as duas centrais consideradas área útil.

No consórcio, o espaçamento entre linhas de milho e entre linhas de feijoeiro foi o mesmo dos respectivos cultivos solteiros, com a área da subparcela de 20 m². Entretanto, foram colocadas respectivamente cinco e oito sementes por metro linear de milho e de feijão, formando população de 50 mil plantas por hectare de milho, consorciados com 160 mil de feijoeiro. Assim, no consórcio as populações de milho e feijão foram de respectivamente 77% e 67% daquelas em cultivo solteiro. Nesse sistema, o plantio de duas fileiras de feijão foi na entrelinha do milho. Logo após a semeadura foi feita a irrigação, em toda área, utilizando-se aspersores. Em todos os sistemas de cultivo, foram desconsiderados 0,50 m em cada extremidade das linhas colhidas.

A adubação no milho seguiu a recomendação de Vergütz e Novais (2015) e no feijoeiro a de Vieira et al. (2015), ambas sem a adição de N, em função do resultado da análise do solo, da necessidade da cultura e da produtividade esperada. No milho foi aplicado a dose de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Já no feijoeiro aplicou-se equivalente a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 20 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Os adubos foram misturados e

distribuídos na linha de semeadura por ocasião do plantio, em todas as subparcelas. No consórcio, a adubação seguiu a recomendação para a cultura do milho.

O controle mecânico de ervas espontâneas foi realizado aos 17 e 29 dias após a semeadura (DAS), através de capina manual. O florescimento do milho (50% das plantas no embonecamento) ocorreu aos 66 DAS. Na ocasião, foi tomado o terço médio da folha oposta e abaixo da primeira espiga, em dez plantas, amostradas aleatoriamente em cada subparcela, para determinação de teores de N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia descrita no item 2.3. Ainda no florescimento, dez plantas de milho em cada subparcela foram cortadas próximo ao solo, colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e determinada a matéria seca da parte aérea. O acúmulo de nutrientes na matéria seca foi obtido pelo produto da massa da matéria seca pelo teor dos nutrientes.

No florescimento do feijoeiro (41 DAS), foram tomadas aleatoriamente 30 folhas do terço mediano, em plantas de cada subparcela, para determinação de teores de N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia descrita no item 2.3. Ainda neste estágio, dez plantas de feijoeiro de cada subparcela foram cortadas próximo ao solo, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e determinada a matéria seca da parte aérea. O acúmulo de nutrientes na matéria seca do feijoeiro foi obtido pelo produto da massa da matéria seca pelo teor dos nutrientes.

No milho, a colheita foi realizada manualmente aos 175 DAS, sendo a produtividade determinada pela massa total de grãos da área útil (13% umidade), com os dados expressos em kg ha⁻¹. No feijoeiro, a colheita (84 DAS) foi manual e a produtividade de grãos da cultura, em kg ha⁻¹, foi determinada através da coleta de todas as plantas contidas na área útil da subparcela experimental.

2.5. Avaliação da eficiência de utilização de nutrientes

Para avaliação da eficiência nutricional, determinou-se a eficiência agronômica (EA), eficiência fisiológica (EF) e eficiência de recuperação (ER) dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg. Os cálculos foram feitos de acordo com as seguintes equações (FAGERIA, 1998; FAGERIA et al., 2010):

Eficiência agronômica:

$$EA_{(kg\ kg^{-1})} = \frac{PGAV - PGVE}{QNFAV}$$

Onde:

PGAV – produtividade da cultura sobre adubação verde;

PGVE – produtividade da cultura sobre vegetação espontânea;

QNFAV – quantidade do nutriente fornecido com a adubação verde.

Eficiência fisiológica:

$$EF_{(kg\ kg^{-1})} = \frac{MSAV - MSVE}{NAMSAV - NAMSVE}$$

Onde:

MSAV – matéria seca da cultura após adubação verde;

MSVE – matéria seca da cultura após vegetação espontânea;

NAMSAV – nutriente acumulado na matéria seca da cultura após adubação verde;

NAMSVE – nutriente acumulado na matéria seca da cultura após vegetação espontânea.

Eficiência de recuperação:

$$ER_{(\%) } = \left(\frac{NAMSAV - NAMSVE}{QNFAV} \right) \times 100$$

Onde:

NAMSAV – nutriente acumulado na matéria seca da cultura após adubação verde;

NAMSVE – nutriente acumulado na matéria seca da cultura após vegetação espontânea;

QNFAV – quantidade de nutriente fornecido com a adubação verde.

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos a verificação de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e a análise de variância – ANOVA no modelo de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida. Na presença de significância da interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo foi realizada a comparação dos efeitos simples de médias dos tratamentos dos grupos de milho e feijão através do teste de F ($p < 0,05$), com auxílio do programa R e o pacote ExpDes.pt.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de matéria seca em milho e feijoeiro

Não houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo da matéria seca na parte aérea do milho ($p \geq 0,05$). O pré-cultivo e o sistema de cultivo apresentaram efeitos isolados sobre o acúmulo da matéria seca na parte aérea do milho ($p < 0,05$). A adubação verde ($10.459 \text{ kg ha}^{-1}$) resultou em maior acúmulo de matéria seca da parte aérea do milho que a vegetação espontânea ($9.198,5 \text{ kg ha}^{-1}$) em ambos os sistemas de produção. Houve maior acúmulo de matéria seca no milho em cultivo solteiro ($11.030 \text{ kg ha}^{-1}$) do que consorciado ($8.627,5 \text{ kg ha}^{-1}$) independente do pré-cultivo.

Houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo da matéria seca na parte aérea do feijoeiro, ou seja, o acúmulo da matéria seca foi influenciado conjuntamente pelo pré-cultivo e pelo sistema de produção ($p < 0,05$). O pré-cultivo com *C. retusa* resultou em maior acúmulo de matéria seca na parte aérea tanto no feijoeiro solteiro quanto em cultivo consorciado (Tabela 3). O acúmulo de matéria seca foi maior nos feijoeiros em cultivo solteiro tanto após a adubação verde como após a vegetação espontânea.

Tabela 3: Matéria seca acumulada na parte aérea de feijoeiro solteiro (FS) ou consorciado com milho (FC), após pré-cultivo com adubação verde (AV) e vegetação espontânea (VE)

Pré-cultivo	Matéria seca (kg ha^{-1})	
	FS	FC
AV	5.736 aA	3.488 aB
VE	4.416 bA	2.656 bB

Médias seguidas por letras distintas, minúscula em cada coluna e maiúscula em cada linha, diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

O uso do adubo verde *C. retusa* promoveu aumento no acúmulo de matéria seca da parte aérea nos cultivos de milho e de feijoeiro. No feijoeiro, os aumentos foram de 30% e de 31% nos cultivos solteiro e consorciado, respectivamente. Houve maior acúmulo de matéria seca em cultivo solteiro do que consorciado, tanto na cultura do milho como na do feijoeiro. Lembrando que no milho em consórcio foi utilizada uma população reduzida em 23% em relação ao cultivo solteiro, enquanto que o feijoeiro essa redução foi de 33%. Este fator pode ter contribuído para um menor acúmulo de matéria seca em sistemas consorciados em relação aos solteiros.

A produção de biomassa é influenciada pela concentração de N nas folhas, uma vez que grande parte do N nas folhas é incorporada às funções relacionadas à fotossíntese (WEI et al.,

2016). Nos tecidos da *C. retusa* o conteúdo de N era de cerca de 263 kg ha⁻¹. Essa quantidade foi suficiente para promover aumentos significativos na matéria seca da parte aérea das culturas em sucessão, comprovando o efeito da adubação verde na nutrição de plantas. As leguminosas fornecem biomassa de rápida mineralização de N após a incorporação, sendo os efeitos positivos da nutrição nitrogenada observados prontamente nos estágios iniciais de crescimento da cultura (RADICETTI et al., 2017).

3.2. Produtividade de milho e feijoeiro

Houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre a produtividade do milho, ou seja, a produtividade do milho foi influenciada conjuntamente pelo pré-cultivo e pelo sistema de produção ($p < 0,05$). A adubação verde com *C. retusa* aumentou a produtividade do milho tanto em consórcio (17%) quanto em cultivo solteiro (28%) (Tabela 4). A produtividade do milho foi maior no cultivo solteiro do que no consórcio após o pré-cultivo com o adubo verde. Contudo, após a vegetação espontânea não houve diferença de produtividade entre os sistemas de produção.

A semelhança do milho, a produtividade do feijão foi influenciada conjuntamente pelo pré-cultivo e pelo sistema de produção ($p < 0,05$). Houve aumento da produtividade do feijão com a aplicação do adubo verde *C. retusa* tanto em consórcio (71%) quanto em cultivo solteiro (52%) (Tabela 4). A produtividade do feijão foi maior no cultivo solteiro do que no consórcio tanto após a adubação verde como após a vegetação espontânea.

Tabela 4: Produtividade de cultivo de milho solteiro (MS), milho em consórcio com feijoeiro (MC), feijoeiro solteiro (FS) e feijoeiro em consórcio com milho (FC), após pré-cultivo com adubação verde (AV) e vegetação espontânea (VE)

Pré-cultivo	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	MS	MC
AV	10.122,5 aA	8.156,25 aB
VE	7.905 bA	6.970 bA
	FS	FC
AV	3.022,5 aA	1.252,5 aB
VE	1.992,5 bA	732,5 bB

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula em cada coluna no mesmo sistema de cultivo e maiúscula em cada linha não diferem entre si pelo teste F ($p \geq 0,05$).

Após vegetação espontânea, as produtividades do milho solteiro e consorciado não foram estatisticamente diferentes. Porém, era de se esperar maior produtividade no cultivo solteiro por apresentar maior população de plantas. Relatos mostram a estabilidade de produção

do milho consorciado com leguminosas, em agricultura de conservação (SNAPP et al., 2018; MUPANGWA et al., 2021).

Os nutrientes são absorvidos pela planta através de raízes e seguem via vasos condutores para os órgãos vegetativos da planta. Na fase reprodutiva, os nutrientes são remobilizados para os grãos (CIAMPITTI; VYN, 2013). Portanto, quanto maior for a disponibilidade dos nutrientes no sistema, maior será a absorção destes pelas plantas e consequente maior produtividade. Esta disponibilidade de N é dependente do processo de

O efeito da adubação verde na nutrição de plantas foi confirmado nesta pesquisa, ou seja, a quantidade de matéria seca produzida pela *C. retusa* equivalente a 11 t ha⁻¹ foi adequada para implantação do sistema.

3.3. Teor de nutrientes na matéria seca dos cultivos

De forma geral, o teor de nutrientes, na massa da matéria seca do feijoeiro seguiu a ordem decrescente N > K > Ca > Mg > P, e na matéria seca do milho a sequência foi de N > K > Ca > P > Mg (Tabela 5). Na cultura do milho, o teor de N mais elevado na massa da matéria seca foi encontrado no tratamento MCAV. No feijoeiro, o teor mais elevado de N na massa da matéria seca foi encontrado no tratamento FCAV. Ou seja, teores mais elevados de N foram encontrados nas culturas em consórcio após o pré-cultivo com o adubo verde *C. retusa*.

Tabela 5: Teor de nutrientes na matéria seca dos cultivos de milho e feijoeiro, após pré-cultivos com adubação verde e vegetação espontânea

Tratamento	Teor de nutrientes na matéria seca				
	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹				
MSAV	26,08	3,19	22,12	3,34	2,57
MCAV	27,04	3,10	22,07	3,62	2,80
MSVE	23,64	2,64	20,40	3,23	2,44
MCVE	25,05	2,54	18,17	3,52	2,62
CV (%)	6,00	10,68	12,82	8,85	11,11
FSAV	35,89	2,60	18,39	10,74	5,20
FCAV	36,21	2,42	19,67	9,98	4,85
FSVE	27,51	2,32	14,89	5,77	2,97
FCVE	27,61	2,19	15,03	5,90	3,23
CV (%)	15,15	7,56	13,02	28,71	25,11

MSAV – milho solteiro após pré-cultivo com adubação verde; MCAV – milho em consórcio com feijoeiro após pré-cultivo com adubação verde; MSVE – milho solteiro após vegetação espontânea; MCVE – milho em consórcio com feijoeiro após vegetação espontânea; FSAV – feijoeiro solteiro após pré-cultivo com adubação verde; FCAV – feijoeiro em consórcio com milho após pré-cultivo com adubação verde; FSVE – feijoeiro solteiro após vegetação espontânea; FCVE – feijoeiro em consórcio com milho após vegetação espontânea. N – nitrogênio; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio e Mg – magnésio. CV – coeficiente de variação.

Para a maioria dos nutrientes foram encontrados teores mais elevados na matéria seca dos cultivos após a adubação verde, para um mesmo sistema de produção. Com o pré-cultivo do adubo verde, o milho solteiro apresentou teores mais elevados de P e K do que milho consorciado, enquanto que o feijoeiro solteiro apresentou teores mais elevados de P, Ca e Mg do que em consórcio (Tabela 5).

3.4. Índice de eficiência nutricional

As eficiências agronômica e de recuperação de N foram mais elevadas no milho solteiro do que em consórcio (Figura 2A). O monocultivo respondeu mais eficientemente ao fornecimento de 262,80 kg ha⁻¹ de N de tecidos da *C. retusa*, com 8,44 kg kg⁻¹ e 24,41% das eficiências agronômica e de recuperação de N, respectivamente. Já para a eficiência fisiológica de N, foi encontrado valor médio de 23,32 kg kg⁻¹, similar no milho solteiro e no consórcio.

A semelhança do milho, as eficiências agronômica e de recuperação de N foram mais elevadas no feijoeiro solteiro do que em consórcio (Figura 2B). As eficiências agronômica e de recuperação de N pelo feijoeiro solteiro foram de 3,92 kg kg⁻¹ e 32,12%, respectivamente. Os sistemas de cultivo de feijoeiro apresentaram eficiência fisiológica de N similares, em média, de 15,67 kg kg⁻¹.

É de referir que no consórcio as populações de milho e feijão foram de respectivamente 77% e 67% daquelas em cultivo solteiro. Assim, a variação da quantidade de N acumulada na matéria seca de milho solteiro (cultivo adubado do não adubado) foi de 64,15 kg ha⁻¹ e do milho consorciado foi de 43,92 kg ha⁻¹. Já no feijoeiro, a variação de N acumulado na matéria seca da cultura adubada da não adubada em cultivo solteiro foi de 84,40 kg ha⁻¹ e em consórcio de 52,97 kg ha⁻¹. Vale lembrar que no consórcio, a adubação seguiu apenas recomendação do milho.

Cultivos consorciados promovem vantagens ao sistema, através do melhor uso dos recursos e maior produção (YANG et al., 2015; MADEMBO; MHLANGA; THIERFELDER, 2020), porém, estão sujeitos a competição por recursos, principalmente entre plantas de espécies diferentes (GEBRU, 2015). Por outro lado, a expressiva produção de matéria seca por parte das culturas nos cultivos solteiros em relação quando consorciadas, proporcionou maior acúmulo de nutrientes. Assim, a avaliação do consórcio precisa considerar o desempenho conjunto das duas culturas.

O somatório da eficiência de recuperação de N no milho e feijoeiro consorciados foi de 36,87%. Ou seja, o mais elevado aproveitamento de N do adubo verde ocorreu na área que recebeu as duas culturas em simultâneo. A recuperação do N derivado de adubos verdes pelas

culturas é muito variável. Em outros trabalhos com o milho, foi obtida eficiência de recuperação de N da *C. juncea* de 24% (SILVA et al., 2009), e com o uso de feijão-de-porco foi de 7% (ARAÚJO et al., 2019). Com a cultura de brócolis, a eficiência de recuperação de N também tem mostrado ser muito variável, como 8,45% na dose de 9 t ha⁻¹ de *M. pruriens* (DINIZ et al., 2015), 37,90% na dose de 2,80 t ha⁻¹ de *C. juncea* (DINIZ et al., 2017a) e 74,56% na dose de 8,65 t ha⁻¹ de *C. juncea* (VARGAS et al., 2017). No caso de adubação com N mineral solúvel, relatos indicam que a eficiência de recuperação de N em cereais é em torno de 50% (LADHA et al., 2016), variando de acordo com a espécie.

Os índices de eficiência do consórcio gerados mostraram maiores vantagens produtiva dos cultivos consorciados em relação aos solteiros. A título de exemplo, o índice de eficiência da terra (IET) apresentou valores maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso do adubo verde como no pousio mantendo-se a vegetação espontânea. Isso significa que são necessários 22% e 25% a mais de área sob monocultivo dessas espécies, após AV e VE, respectivamente, para ter os mesmos rendimentos de consórcio. Detalhes sobre a eficiência do consórcio é encontrado no capítulo 3.

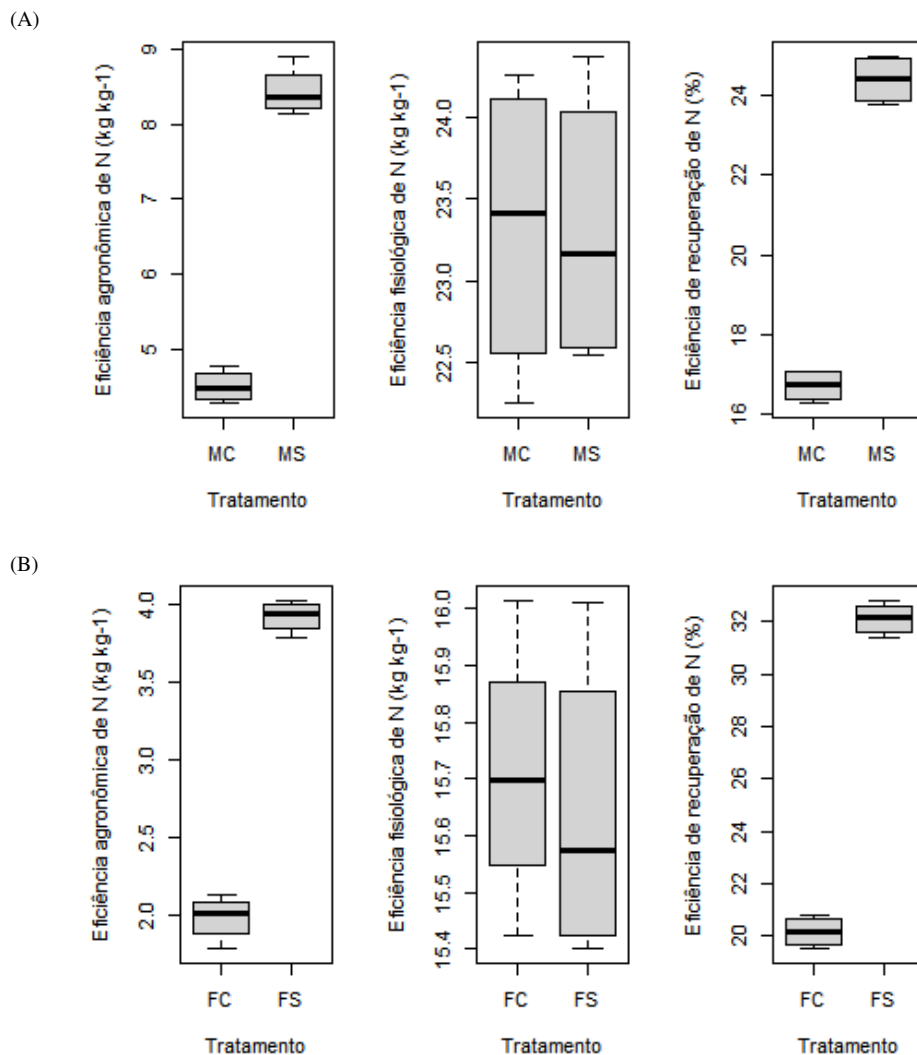


Figura 2: Eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação de nitrogênio (N), no monocultivo e cultivo consorciado de milho com feijoeiro (A) e monocultivo e cultivo consorciado de feijoeiro com milho (B), em áreas que receberam adubação verde comparativamente a áreas com vegetação espontânea. MS – milho solteiro; MC – milho em consórcio com feijoeiro; FS – feijoeiro solteiro; FC – feijoeiro em consórcio com milho.

A variação no aproveitamento do N proveniente dos adubos verdes pelas culturas é resultante de diversos fatores, principalmente das condições edafoclimáticas, do adubo verde utilizado, do manejo da adubação (época, dose e modo de aplicação), e do sistema de cultivo como semeadura direta ou preparo convencional (PISANTE et al., 2015; RADICETTI et al., 2017). Ademais, a eficiência nutricional está estritamente relacionada a processos fisiológicos da planta, desde os mecanismos de absorção dos nutrientes através de exploração do solo pelas raízes, passando pelos processos fotossintético e metabólico (WEI et al., 2016), até a remobilização de N para os órgãos da planta.

A absorção dos nutrientes P, K, Ca e Mg, mineralizados dos adubos verdes, pelas plantas de milho e feijoeiro diferiram em relação aos sistemas de cultivo, o que pode ser evidenciado

pelas variações das eficiências (Tabela 6). De forma geral, todos os índices de eficiência nutricional avaliados foram mais elevados nas plantas em monocultivo. A mais elevada eficiência nutricional em plantas de cultivo solteiro se deve à ausência da competição interespecífica pelos nutrientes e elevada produção de matéria seca que resultou em maior acúmulo de nutrientes nas plantas.

Verifica-se que o milho solteiro obteve mais elevada EA no nutriente Mg (Tabela 6). Ou seja, houve maior produção do milho por cada grama do Mg aplicado. Para os nutrientes P, K e Ca, foram obtidas EA do milho solteiro abaixo de 50 kg kg⁻¹. No feijoeiro solteiro, a EA também foi mais elevada para o Mg e das mais baixas para o K (Tabela 6). O destaque da EA para o nutriente Mg também foi observada no cultivo consorciado, tanto no milho como no feijoeiro. Neste cultivo, a eficiência agrônômica dos nutrientes seguiu a ordem decrescente Mg>P>Ca>K.

Tabela 6: Eficiência agrônômica (EA), eficiência fisiológica (EF) e eficiência de recuperação (ER) de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no cultivo de milho solteiro (MS), milho em consórcio com feijoeiro (MC), feijoeiro solteiro (FS) e feijoeiro em consórcio com milho (FC)

	Eficiência agrônômica (kg kg ⁻¹)			
	P	K	Ca	Mg
<i>Milho</i>				
MS	39,70	10,49	38,93	184,06
MC	21,24	5,61	20,83	98,49
<i>Feijoeiro</i>				
FS	18,44	4,87	18,08	85,51
FC	9,31	2,46	9,13	43,17
	Eficiência fisiológica (kg kg ⁻¹)			
	P	K	Ca	Mg
<i>Milho</i>				
MS	144,11	29,46	242,66	290,80
MC	132,49	18,90	228,69	236,01
<i>Feijoeiro</i>				
FS	283,61	33,24	36,55	79,05
FC	317,19	28,96	43,45	99,59
	Eficiência de recuperação (%)			
	P	K	Ca	Mg
<i>Milho</i>				
MS	18,58	24,01	10,82	42,68
MC	13,85	25,66	7,87	36,06
<i>Feijoeiro</i>				
FS	8,33	18,78	63,43	138,63
FC	4,69	13,58	33,63	69,36
Consórcio	18,54	39,24	41,50	105,42

As mais elevadas eficiências fisiológicas (EF) de P, K, Ca e Mg foram obtidas nas plantas de cultivo solteiro. A elevada EF desses nutrientes no MS e FS em comparação ao MC e FC significam que com 11 t ha⁻¹ de *C. retusa*, as plantas foram capazes de produzir elevada quantidade de matéria seca por cada grama de nutriente acumulado. De forma geral, entre

nutrientes, a EF no milho decresceu na ordem Mg>Ca>P>K>N enquanto que no feijoeiro decresceu na ordem P>Mg>Ca>K>N. O mais elevado acúmulo de matéria seca obtida por cada grama de Mg, P e Ca, no milho e feijoeiro, deve-se ao fato de que estes serem nutrientes menos demandados pelas culturas, ao contrário de N e K que são os nutrientes mais demandados por milho e feijoeiro (Vergütz e Novais, 2015; Vieira et al., 2015).

A semelhança das EA e EF, a mais elevada eficiência de recuperação (ER) de P, K, Ca e Mg foram encontradas quando o milho e feijoeiro foram cultivados solteiros, à exceção de K que teve ER mais elevada no MC (Tabela 6). Ou seja, a ER foi influenciada pelo sistema de cultivo utilizado. A mais elevada recuperação de macronutrientes da *C. retusa* nos cultivos solteiros se atribui a produção de matéria seca, resultando em elevado acúmulo de nutriente nas plantas. Neste trabalho, a máxima ER foi encontrada para o Mg, no feijoeiro solteiro (Tabela 6). Eficiência de recuperação de Mg acima de 100% indica que a planta do feijoeiro absorveu maior quantidade do que foi aplicado, retirando parte do nutriente que já se encontrava no solo.

No solo, os nutrientes P e K foram os mais disponíveis, ao se classificarem em níveis de fertilidade muito alta e muito boa, para cultivo de milho e feijoeiro, respectivamente (Vergütz e Novais, 2015; Vieira et al., 2015). Os nutrientes Ca e Mg foram classificados em níveis de fertilidade bom e médio, respectivamente (ALVAREZ et al., 1999). A quantidade de nutriente fornecido pelo adubo verde decresceu na ordem N (262,80 kg ha⁻¹) > K (211,34 kg ha⁻¹) > Ca (56,94 kg ha⁻¹) > P (55,85 kg ha⁻¹) > Mg (12,45 kg ha⁻¹).

4. CONCLUSÕES

A adubação verde proporciona maior índices de eficiências agrônômica e de recuperação nas culturas de milho e de feijoeiro nos cultivos solteiros.

No sistema solteiro houve incremento de 28% e 52% na produtividade de milho e feijoeiro, respectivamente, após adubação verde. No consórcio os incrementos na produtividade foram de 17% e 71% para milho e feijoeiro, respectivamente, após adubação verde.

O consórcio aumenta a recuperação de N do adubo verde *C. retusa*, que foi de 24,41% no milho solteiro, 32,12% no feijoeiro solteiro e 36,87% no somatório milho e feijoeiro consorciados.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. CFSEMG, Viçosa-MG, 1999, p. 25-32.
- ARAÚJO, E. S. et al. Comparação de métodos isotópicos de ^{15}N na determinação da eficiência de recuperação do nitrogênio da adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 00721, p. 01-07, 2019.
- CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1211-1220, 2012.
- CHEN, L. et al. Reducing environmental risk by improving crop management practices at high crop yield levels. **Field Crops Research**, v. 265, n. 108123, 2021.
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Grain nitrogen source changes over time in maize: a review. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 366-377, 2013.
- CURTIN, D.; TROLOVE, S. Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. **Soil Research**, v. 51, n. 6, p. 494-502, 2013.
- 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, n. 3, p. 395-401, 2017a.
- DINIZ, E. R. et al. Doses de *Crotalaria juncea*: Efeito residual no cultivo de abobrinha e milho em sequência ao brócolis. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017b.
- 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.
- GEBRU, Hailu. A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 5, n. 9, p. 1-13, 2015.
- GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses: apparatus, reagents, procedures, and some applications**. Washington: Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1970.
- GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.
- GUO, J. H. et al. Significant acidification in major Chinese croplands. **science**, v. 327, n. 5968, p. 1008-1010, 2010.

- HARRIS, D.; ORR, A. Is rainfed agriculture really a pathway from poverty? **Agricultural Systems**, v. 123, p. 84-96, 2014.
- 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. 1, p. 1-9, 2016.
- LITHOURGIDIS, A. S. et al. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian journal of crop science**, v. 5, n. 4, p. 396-410, 2011.
- MADEMBO, C.; MHLANGA, B.; THIERFELDER, C. Productivity or stability? Exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder Conservation Agriculture farmers in Zimbabwe. **Agricultural Systems**, v. 185, n. 102921, 2020.
- MAHALLATI, M. N. et al. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 343-350, 2015.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.
- MARTIN-GUAY, M. et al. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 767-772, 2018.
- MUPANGWA, W. et al. Maize yields from rotation and intercropping systems with different legumes under conservation agriculture in contrasting agro-ecologies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 306, p. 107170, 2021.
- NYAGUMBO, I. et al. Maize yield effects of conservation agriculture based maize-legume cropping systems in contrasting agro-ecologies of Malawi and Mozambique. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, n. 3, p. 275-290, 2016.
- OITA, A. et al. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 2, p. 111-115, 2016.
- PERALTA-ANTONIO, N. et al. Broccoli nutrition and changes of soil solution with green manure and mineral fertilization. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 816-829, 2019.
- PERALTA-ANTONIO, N.; WATTHIER, M.; SANTOS, R. H. S. Green Manure and Mineral Fertilizer in Sequential Cropping: Effect on Dry Matter, Yield, Accumulation and Recovery Efficiency of Nutrients. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, p. 1-16, 2020.
- PISANTE, M. et al. Conservation agriculture and climate change. In: **Conservation agriculture**. Springer, Cham, 2015, p. 579-620.
- 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.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SILVA, E. C. et al. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

- SNAPP, S. S. et al. Maize yield and profitability tradeoffs with social, human and environmental performance: Is sustainable intensification feasible? **Agricultural Systems**, v. 162, p. 77-88, 2018.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- VALADARES, R. V. et al. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In: Larramendy, M. L.; Soloneski, S (Orgs.). **Organic fertilizers: From basic concets to applied outcomes**. IntechOpen, 2016, p. 51-84.
- VARGAS, T. O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209-213, 2017.
- VERGÜTZ, L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de Corretivos e Adubação. In: BORÉM, A.; GALVÃO, A. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Orgs.). **MILHO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 108-136.
- VIEIRA, R. F.; LIMA, M. S.; NEVES, J. C. L.; ANDRADE, M. J. B. Adubação. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. (Orgs.). **FEIJÃO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 145-172.
- WEI, S. et al. The mechanisms of low nitrogen induced weakened photosynthesis in summer maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 105, p. 118- 128, 2016.
- WITTEWER, R. A. et al. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2017.
- YANG, F. et al. Yield response to different planting geometries in maize–soybean relay strip intercropping systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 1, p. 296-304, 2015.
- ZHENG, W. et al. Effects of cover crop in an apple orchard on microbial community composition, networks, and potential genes involved with degradation of crop residues in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 6, p. 743-759, 2018.
- ZHOU, J. et al. Biochar-based fertilizer decreased while chemical fertilizer increased soil N₂O emissions in a subtropical Moso bamboo plantation. **CATENA**, v. 202, n. 105257, 2021.
- ZHOU, G. et al. Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China. **Soil and Tillage Research**, v. 197, n. 104499, 2020.

Capítulo 2: Efeito residual do N da crotalária em brócolis cultivado em sucessão ao milho e feijão

RESUMO: O uso da adubação verde como alternativa para reduzir a dependência de fertilizantes industriais na agricultura tem mostrado ser eficiente em programas de fertilidade do solo. É uma prática de manejo de adubação sustentável e promissora para o alívio da pressão ambiental causada por aplicações excessivas de fertilizantes industriais. Os adubos verdes fornecem quantidade significativa de N ao solo, que pode servir para a nutrição de mais de uma cultura em sucessão. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de N residual do adubo verde *C. retusa* na nutrição, crescimento e produção de plantas de brócolis cultivadas em sucessão a cultivos solteiros ou consorciados de milho e feijoeiro. O experimento foi realizado em três etapas, na mesma área, no campo experimental ‘Horta Velha’ do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG. Na primeira etapa, áreas com *Crotalaria retusa* L. e vegetação espontânea foram estabelecidas. Na segunda etapa, o ensaio foi montado em parcelas subdivididas com sistema de cultivo milho solteiro, feijoeiro solteiro e consórcio de milho e feijoeiro. A última etapa consistiu no cultivo de brócolis, sem adubação, em sucessão aos sistemas de cultivo. Os tratamentos foram formados por pré-cultivo da crotalária e pousio nas parcelas e brócolis em sucessão aos sistemas de cultivo nas subparcelas. O corte, trituração e incorporação da crotalária ao solo foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. No mesmo dia procedeu-se o corte e incorporação da vegetação espontânea. A aplicação de 11 t ha⁻¹ de matéria seca do adubo verde influenciou o sustento nutricional de mais de um ciclo de produção (milho e feijoeiro na primeira safra e brócolis na segunda), e eleva a produção de matéria seca, crescimento e produção de brócolis no cultivo em sequência. Em período longo de entressafra, o consórcio de milho e feijoeiro em sucessão à adubação verde é promissor no aumento das eficiências agrônômica e de recuperação de N da *C. retusa*, em cultivo sequencial de brócolis. A eficiência de recuperação de N da *C. retusa* no cultivo de brócolis foi de 3,46% na área de milho solteiro, 1,78% na área de feijão solteiro e 5,96% na área de consórcio de milho e feijão. A maior eficiência de recuperação de N do adubo verde nos dois ciclos de cultivo sequenciais foi de 42,83%, obtida na área que recebeu o consórcio.

Palavras-chave: Adubo verde. Crescimento. Eficiência de recuperação. Nitrogênio.

ABSTRACT: The use of green manure as an alternative to reduce dependence on chemical fertilizers in agriculture is efficient in soil fertility programs because it is a practice of sustainable and promising fertilization management to relieve environmental pressure caused by excessive applications of chemical fertilizers. Green manure provides considerable nitrogen to the soil, which can support more than one succeeding crop. The objective of this study was to evaluate the effect of residual N from *C. retusa* green manure on nutrition, growth and production of broccoli plants cultivated in succession to maize and common bean intercropping. The experiment took place in three stages, in the same field, in the 'Horta Velha' experimental field of the Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – MG, Brazil. Initially, plots of *Crotalaria retusa* L. green manure and spontaneous vegetation were established. In the second phase, the experiment was carried out in subdivided plots with sole and intercropped maize and common bean crops. The last step consisted of growing broccoli, without fertilization, in succession to the cropping systems. The treatments were formed by pre-cultivation of crotalaria and fallow in the plots and broccoli in succession to the maize and common bean cultivation systems in the subplots. Crotalaria cutting, crushing, and soil incorporation was carried out when 50% of the plants showed open flowers, at 129 days after seeding. On the same day, spontaneous vegetation was cut and incorporated. The application of 11 t ha⁻¹ of green manure dry matter influenced the nutritional support of more than one production cycle (maize and common bean in the first harvest and broccoli in the second), and increased dry matter production, growth and production of broccoli in sequential cultivation. In a long off-season, the maize and common bean intercropping in succession to green manure are promising in increasing the agronomic and N recovery efficiencies of *C. retusa*, in sequential cultivation of broccoli. The recovery efficiency of N from green manure, in broccoli cultivation was 3.46% in the sole maize area, 1.78% in the sole common bean area, and 5.96% in the maize and common bean intercropping area. The most effective recovery of nitrogen from green manure during both sequential crop cycles was 42.83% in the maize and common bean intercropping area.

Keywords: Green manure. Growth. Recovery efficiency. Nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

A adubação verde pode ser eficiente para reduzir a dependência de fertilizantes minerais sintéticos na agricultura. Além disso, trata-se de prática de manejo de adubação sustentável e promissora para o alívio da pressão ambiental causada por aplicações excessivas de fertilizantes minerais industriais (VALADARES et al., 2016). Podendo ainda atenuar a erosão e elevar gradativamente a matéria orgânica do solo, os adubos verdes desempenham papel fundamental na nutrição de plantas e ciclagem de nutrientes (RADICETTI et al., 2017; ZHENG et al., 2018; ZHOU et al., 2020).

O N é o nutriente exigido em maior quantidade e um dos que mais limita o crescimento das plantas. Além disso, faz parte da enzima rubisco e na biossíntese da molécula da clorofila na folha, exercendo forte influência sobre a atividade fotossintética da planta. A avaliação das trocas gasosas fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i) e transpiração (E), possibilita a compreensão do metabolismo fotossintético (MARTINAZZO et al., 2013).

Os adubos verdes fornecem quantidade significativa de N ao solo, que pode servir para a nutrição de mais de uma cultura em sucessão (DINIZ et al., 2017a; VARGAS et al., 2017), porém, tratando-se de leguminosas, o período da disponibilidade do nutriente às plantas pode ser relativamente curto, devido a rápida mineralização e perdas por lixiviação, escoamento superficial ou volatilização, ou principalmente a imobilização pelos microrganismos e minerais do solo (GEZAHEGN et al., 2016; HUANG et al., 2017; LI et al., 2017; ROY et al., 2017). Uma das estratégias para a redução das perdas e promoção da reciclagem do N é o emprego do sistema de cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas em sucessão a adubação verde.

O cultivo consorciado é praticado há séculos, por pequenos agricultores, no intuito de obter o máximo de benefícios dos recursos disponíveis, uma vez que pode proporcionar maior eficiência do uso dos recursos e melhorar a produção (YANG et al., 2015; MADEMBO; MHLANGA; THIERFELDER, 2020). Os consórcios absorvem mais N e o mantêm por período mais longo em formas mineralizáveis que os cultivos solteiros. Assim, o efeito residual de N do adubo verde no solo e consequente aproveitamento pelas culturas sucessivas pode ser mais vantajoso nesses sistemas, em comparação a monocultura como primeiro cultivo após a aplicação do adubo verde, principalmente para períodos médios de produção (TOSTI et al., 2014; GEZAHEGN et al., 2016).

O efeito residual da adubação verde depende das características do solo, do tipo de adubo utilizado, da dose aplicada, da quantidade de nutrientes removidos pelas culturas

anteriores e da quantidade de nutrientes remanescentes no solo (DINIZ et al., 2017a; SUAREZ-TAPIA et al., 2018). Uma das ferramentas que pode ajudar a obter essa informação são os índices de eficiência nutricional. Através do índice de eficiência de recuperação é possível identificar a proporção do nutriente aplicado que é recuperado pela biomassa da cultura (FAGERIA et al., 2010).

Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de N residual do adubo verde *C. retusa* na nutrição, crescimento e produção de plantas de brócolis cultivadas em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão “Horta Velha” do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa - MG, localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Viçosa em 20°45’14’’S e 42°52’53’’O e 650 m de altitude, no período de 19 de fevereiro de 2019 a 14 de junho de 2021. Os dados meteorológicos obtidos durante a etapa de produção da cultura de brócolis (06/04/2021 a 14/06/2021) são encontrados na Figura 1.

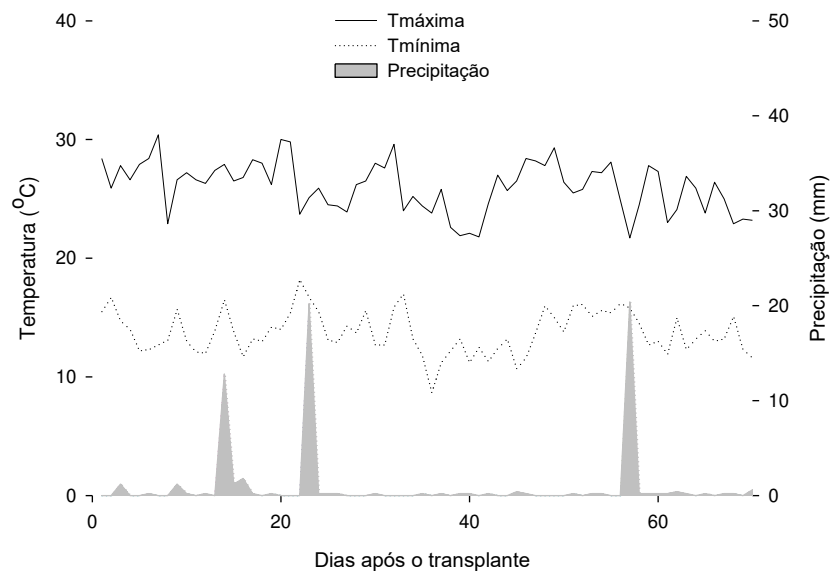


Figura 1: Temperatura máxima (Tmáxima) e mínima (Tmínima) diária e precipitação acumulada diária durante a produção de brócolis no campo, cultivado em sucessão ao milho e feijoeiro, sob pré-cultivo do adubo verde *C. retusa* e pousio, em Viçosa - MG. (Fonte: INMET).

O solo da área do experimento é classificado, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Argissolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018). Antes de iniciar o experimento foram coletadas amostras compostas do solo, na profundidade de 0 – 20 cm, para análises química e física. A granulometria do solo foi composta por 270,0 g kg⁻¹ de areia, 240,0 g kg⁻¹ de silte e 490,0 g kg⁻¹ de argila. As características químicas iniciais foram as seguintes: pH em H₂O (1:2,5): 5,4; P: 65,6 mg dm⁻³; K: 161 mg dm⁻³; Ca²⁺: 2,89 cmolc dm⁻³; Mg²⁺: 0,66 cmolc dm⁻³; Al³⁺: 0,10 cmolc dm⁻³; SB: 3,96 cmolc dm⁻³; CTC efetiva (t): 4,06

cmolc dm⁻³; CTC a pH 7,0 (T): 6,93 cmolc dm⁻³; V: 57,1%; m: 2,5%; P-rem: 27,4 mg L⁻¹ e MO: 2,69 dag kg⁻¹.

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi realizado em três etapas, na mesma área experimental. A primeira etapa, de 19 de fevereiro a 27 de junho de 2019, consistiu no cultivo do adubo verde *Crotalaria retusa* L. e da manutenção da vegetação de ocorrência espontânea. Na segunda etapa, de 15 de outubro de 2019 a 06 de abril de 2020, o ensaio foi montado em parcelas subdivididas com sistema de cultivo milho solteiro, feijoeiro solteiro e consórcio de milho e feijoeiro. Já a última etapa, objeto deste capítulo, ocorreu de 06 de abril de 2021 a 14 de junho de 2021, empregando o cultivo de brócolis, com o intuito de avaliar o efeito residual da crotalária cultivada na primeira etapa.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de pré-cultivo do adubo verde crotalária (AV) e pousio mantendo-se a vegetação espontânea (VE). Nas subparcelas foram alocados os sistemas de cultivo brócolis em sucessão ao milho solteiro (BMS), brócolis em sucessão ao feijão solteiro (BFS) e brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijão (BMF). Assim, os tratamentos resultaram da combinação das parcelas e subparcelas: brócolis em sucessão ao milho solteiro após adubação verde (BMSAV), brócolis em sucessão ao feijão solteiro após adubação verde (BFSAV), brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijão após adubação verde (BMFAV), brócolis em sucessão ao milho solteiro após vegetação espontânea (BMSVE), brócolis em sucessão ao feijão solteiro após vegetação espontânea (BFSVE) e brócolis em sucessão consórcio de milho e feijão após vegetação espontânea (BMFVE).

2.3. Cultivo do adubo verde

O adubo verde foi produzido no campo, semeado (19/02/2019) na densidade de 25 plantas por metro linear, com espaçamento de 30 cm entre linhas. O corte e trituração da crotalária foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. Para tanto, foi utilizada triturador de palhada. Na mesma ocasião foi feito o corte e trituração da vegetação espontânea.

A vegetação espontânea foi caracterizada quanto à composição florística, para tanto, foi lançado por quatro vezes aleatoriamente, em cada parcela, um quadrado metálico de 1,0 m² e determinadas as plantas contidas na área do quadro. Em seguida, foi feita a contagem das plantas e determinada a percentagem de cobertura de cada espécie. A percentagem de cobertura foi composta por *Cyperus rotundus* L. (69%), *Oxalis latifolia* Kunth (10%), *Bidens pilosa* L. (9%), *Amaranthus viridus* L. (4%), *Galinsoga parviflora* Cav. (3%), *Cyperus iria* L. (2%) e 1% para *Ageratum conyzoides* L., *Sonchus oleraceus* L. e *Amaranthus spinolus* L., respectivamente.

No mesmo dia do corte do pré-cultivo procedeu-se a incorporação do material ao solo com uso de enxada rotativa acoplada a um trator. Na ocasião de corte da crotalária e da vegetação espontânea, as plantas pertencentes a área útil de 1 m², em quatro repetições por parcela, foram cortadas rente ao solo e pesadas para a determinação da matéria fresca. Foi retirada uma amostra de aproximadamente 250 g de matéria fresca em cada repetição da parcela. Estas foram lavadas em água corrente e em seguida o material foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e estimada a produção de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 1).

Após secagem em estufa, as amostras foram moídas para a determinação do teor total de N pelo método de Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). Para os teores dos demais nutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinados teores de P por espectrofotometria de absorção molecular, K por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O teor de carbono foi determinado por meio do método da mufla (GOLDIN, 1987; CARMO; SILVA, 2012). Os teores de lignina, celulose e hemicelulose foram determinados seguindo o método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970).

Tabela 1: Características da matéria seca do adubo verde (AV) e vegetação espontânea (VE). Carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), hemicelulose (Hem), celulose (Cel), lignina (Lig), relação Lig/N e matéria seca da parte aérea (MSPA)

Pré-cultivo	C %	N %	C/N	K g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	P g kg ⁻¹	Hem %	Cel %	Lig %	Lig /N	MSPA t ha ⁻¹
AV	40,9	2,4	17,0	19,3	5,2	1,1	5,1	18,6	23,8	5,8	2,4	10,950
VE	39,9	1,1	36,2	13,6	2,1	1,0	4,3	21,2	30,5	7,5	6,8	4,329

2.4. Sistema de cultivo de milho e feijoeiro

A semeadura do milho (*Zea mays* L.) cv “UFVM-200” foi realizada no dia 15 de outubro de 2019, com o espaçamento de 1,0 m entre linhas e oito sementes por metro linear, mantendo-se um estande de 65.000 plantas por hectare, após o desbaste que ocorreu 13 dias após a emergência. O plantio do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv “Ouro da Mata” ocorreu na mesma data do milho, utilizando-se o espaçamento de 0,50 m entre linhas e 12 sementes por metro linear, perfazendo uma população de 240 mil plantas por hectare.

No consórcio, o espaçamento entre linhas de milho e entre linhas de feijoeiro foi o mesmo dos respectivos cultivos solteiros. Entretanto, foram colocadas respectivamente cinco e oito sementes por metro linear de milho e de feijão, formando população de 50 mil plantas por hectare de milho, consorciados com 160 mil de feijoeiro. Nesse sistema, o plantio de duas fileiras de feijão foi na entrelinha do milho.

A adubação no milho seguiu a recomendação de Vergütz e Novais (2015) e no feijoeiro de Vieira et al. (2015), em função do resultado da análise do solo, da necessidade da cultura e da produtividade esperada. No consórcio, a adubação seguiu a recomendação para a cultura do milho. Após a colheita dos grãos de feijão (07/01/2020) e milho (06/04/2020), restos vegetais das culturas foram deixadas nas respectivas parcelas. A descrição detalhada das produções do milho e do feijoeiro encontram-se no capítulo 1.

2.5. Cultivo de brócolis em sucessão ao milho e feijoeiro

A avaliação do efeito residual do adubo verde *C. retusa* foi realizada por meio de cultivo de brócolis em sucessão ao milho e feijoeiro, nas mesmas parcelas, sem qualquer adubação. A produção de brócolis ocorreu 1 ano após a colheita nos sistemas de produção de milho e feijoeiro e, durante este intervalo, as parcelas foram mantidas limpas, fazendo-se periodicamente a roçagem e mantando-se o material vegetal cortado no local.

O transplante das mudas de brócolis “Master” ocorreu 34 dias após a semeadura (06/04/2021). As mudas foram transplantadas no espaçamento de 1,0 m x 0,5 m entre plantas. O controle mecânico de ervas espontâneas foi realizado aos 17, 30 e 52 dias após o transplante (DAT), através de capina manual. A irrigação foi por aspersão. Como área útil foram consideradas oito plantas da área central da subparcela (4 m²).

Foi avaliada a variável de crescimento área do dossel (dm²), calculada a partir das medidas externas do dossel em sentido transversal e longitudinal à linha de plantio. Tratam-se

de método não destrutivo de alta correlação com a produção de matéria seca (DINIZ et al., 2008). Os dados foram coletados a cada 10 dias, iniciando-se na data do transplante e prosseguindo até aos 60 DAT.

A avaliação das trocas gasosas foi realizada utilizando-se a folha índice aos 40 DAT, período de maior absorção de nutrientes pelos brócolis (BOWEN; ZEBARTH; TOIVONEN, 1999). Assim, utilizou-se um analisador de gases infravermelho em sistema aberto, acoplado a um fluorômetro (IRGA, Li-cor Inc. LI-6400XT, Lincoln, EUA). A taxa de assimilação líquida do carbono (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram determinados sob concentração controlada de CO_2 ($400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e irradiância ($1000 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com 10% de luz azul) e temperatura e vapor de água ambiente.

No dia da avaliação das trocas gasosas, foi amostrada a folha índice do brócolis, correspondente à folha recém desenvolvida na época de floração, de acordo com Martinez et al. (1999). Após a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C , as amostras de folhas foram moídas em moinho tipo Willey, para determinação de teor total de N pelo método de Kjeldhal (TEDESCO et. al., 1995). O acúmulo do nutriente foi obtido pelo produto da matéria seca com o teor do nutriente.

Na colheita de brócolis, momento que a inflorescência apresentou a máxima expansão (70 DAT), as plantas foram cortadas próximo ao solo e separadas em diferentes órgãos (inflorescência, limbo foliar, pecíolo e caule). Amostras dos órgãos foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa a 65°C até massa constante e pesadas para determinação da matéria seca total pelo somatório da matéria seca dos órgãos da planta. A produção (g planta^{-1}) foi avaliada pela matéria fresca da inflorescência cortada a 2,5 cm abaixo da haste mais baixa e determinado o diâmetro da inflorescência.

2.6. Avaliação do efeito residual de N do adubo verde

A avaliação do efeito residual de N da *C. retusa* em brócolis, por meio da eficiência nutricional (eficiência agrônômica de nitrogênio – EAN, eficiência fisiológica de nitrogênio – EFN e eficiência de recuperação de nitrogênio – ERN), foi realizada através de equações propostas por Fageria (1998) e Fageria et al. (2010):

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

$$EFN_{(kg\ kg^{-1})} = \frac{\text{massa da matéria seca da planta adubada} - \text{massa da matéria seca da planta não adubada}}{\text{nutriente acumulado na matéria seca da planta adubada} - \text{nutriente acumulado na matéria seca da planta não adubada}}$$

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

Na quantidade de N utilizada para os cálculos da EAN, EFN e ERN em brócolis, foi tomada em consideração a quantidade inicial fornecida às plantas pelo adubo verde *C. retusa* (262,80 kg ha⁻¹). Para a determinação da eficiência de recuperação de N do conjunto de cultivos, efetuou-se a soma de N do adubo verde acumulado no sistema de cultivo de milho e feijoeiro e, no brócolis.

2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos a verificação de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e a análise de variância – ANOVA no modelo de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida. Na presença de significância foi realizada a comparação de médias dos tratamentos através do teste de Tukey (p=0,05), com auxílio do programa R e o pacote ExpDes.pt.

Fez-se também a análise de regressão para verificar o comportamento da área do dossel ao longo dos 60 dias, em função dos tratamentos. Os modelos foram selecionados com base na significância dos coeficientes, no coeficiente de determinação e no fenômeno de estudo, utilizando-se o programa Sigmaplot 14.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de matéria seca em brócolis

Não houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo de matéria seca em brócolis ($p \geq 0,05$). Houve efeito isolado do pré-cultivo sobre o acúmulo de matéria seca de brócolis ($p < 0,05$). O sistema de produção não influenciou o acúmulo de matéria seca ($p \geq 0,05$). A adubação verde com *C. retusa* ($1.764,92 \text{ kg ha}^{-1}$) resultou em maior acúmulo de matéria seca que a vegetação espontânea ($1.354,05 \text{ kg ha}^{-1}$) independente do sistema de produção.

Ao comparar brócolis cultivado em sucessão aos sistemas de produção (BMS, BFS e BMF) nos diferentes pré-cultivos (AV e VE), verifica-se que plantas de brócolis acumularam 22%, 16% e 54% a mais de matéria seca total nos tratamentos BMSAV, BFSAV e BMFAV em relação aos tratamentos BMSVE, BFSVE e BMFVE, respectivamente. Estes aumentos evidenciam o efeito da adubação verde no acúmulo da matéria seca de brócolis, mesmo após período longo de pousio entre uma safra e outra.

A concentração de N nas folhas influencia a produção de biomassa, visto que grande parte do N nas folhas é incorporada às funções relacionadas à fotossíntese (WEI et al., 2016). Sua deficiência limita o crescimento de plantas, sendo os sintomas a clorose gradual das folhas mais velhas, seguida por abscisão e a redução do crescimento vegetal (LI; WANG; STEWART, 2013).

3.2. Acúmulo de N na matéria seca de brócolis

Houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo de N, ou seja, o acúmulo de N foi influenciado conjuntamente pelo pré-cultivo e pelo sistema de cultivo ($p < 0,05$). A adubação verde promoveu maior acúmulo de N no brócolis, porém, quando o brócolis foi produzido em sucessão ao feijoeiro solteiro, não houve diferença entre os pré-cultivos (Tabela 2). O acúmulo de N na matéria seca de brócolis foi maior na parcela de consórcio do que dos solteiros após adubação verde. Contudo, após vegetação espontânea não houve diferença entre os sistemas de produção.

Tabela 2: Nitrogênio (N) acumulado na matéria seca de brócolis cultivado em sucessão a milho solteiro (BMS), a feijoeiro solteiro (BFS) e ao consórcio de milho e feijoeiro (BMF), após dois pré-cultivos, AV – Adubação verde; VE – Vegetação espontânea

Pré-cultivo	N acumulado (kg ha ⁻¹)		
	BMS	BFS	BMF
AV	29,44 aB	25,40 aB	36,21 aA
VE	20,43 bA	20,75 aA	20,58 bA

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p=0,05$).

Neste estudo, após adubação verde, plantas de brócolis em sucessão ao feijoeiro solteiro ou milho solteiro acumularam menores quantidades de N, indicando por um lado uma possível perda de N por lixiviação ou volatilização, ou ainda a imobilização em frações menos solúveis na matéria orgânica do solo. Isso demonstra que a longo prazo, os consórcios de gramínea e leguminosa em sucessão à adubação verde apresentam maior potencial para fornecer N à cultura em sucessão. Ou seja, uma vez tendo mais N no sistema pela aplicação do adubo verde, o consórcio, por absorver mais N no sistema, acaba também tornando disponível mais N depois para o brócolis.

Nos sistemas solteiros, uma parte do N do adubo verde pode ter sido perdido ou imobilizado na matéria orgânica do solo. Esta perda pode ser devido a rápida mineralização de N do adubo verde, porém, não estando em sincronia com a demanda nutricional da cultura. Nestas situações, 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 (GEZAHEGN et al., 2016; HUANG et al., 2017; LI et al., 2017; ROY et al., 2017).

3.3. Área do dossel de brócolis

Não houve influência do sistema de produção sobre a área da planta ocupada pelas folhas de brócolis aos 60 DAT ($p \geq 0,05$). A área do dossel de brócolis aos 60 DAT foi influenciada isoladamente pelo pré-cultivo (Tabela 3). A maior área do dossel foi encontrada nas áreas com adubação verde em pré-cultivo. Houve aumento crescente na área do dossel ao longo dos dias após o transplante da cultura (Figuras 2). Observa-se uma tendência mais elevada de área de dossel nas parcelas que receberam adubação verde, evidenciando o efeito residual do pré-cultivo com *C. retusa*.

Tabela 3: Área do dossel (AD), diâmetro da inflorescência (DInflor) e produção (Prod.) de brócolis, em função dos pré-cultivos com adubação verde (AV) e vegetação espontânea (VE)

	AD (dm ²)	DInflor (cm)	Prod. (g/inflorescência)
Pré-cultivo			
AV	10,73 a	30,04 a	190,42 a
VE	7,94 b	23,20 b	108,96 b
CV ₁ (%)	11,66	22,70	26,90

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$). Médias de três sistemas de cultivo. CV₁ – coeficiente de variação do pré-cultivo.

A maior área da planta ocupada pelas folhas é importante para maior produção de carboidratos que responderão a demanda das folhas jovens e o início da formação da inflorescência (BALLIU et al., 2017) e, como resultado, elevadas produções, como verificado no presente experimento.

Apesar do período de pousio de 12 meses após o cultivo de milho e feijoeiro, a aplicação de 262,80 kg ha⁻¹ de N do adubo verde no pré-cultivo promoveu aumentos na área do dossel de brócolis. O aumento na quantidade de nutrientes, até certo ponto, resulta em plantas com maior área foliar, número de folhas, produção, ganho de matéria seca e acúmulo de nutrientes (BASUMATARY et al., 2017; EL-BASSIONY et al., 2017; KUMAR et al., 2017).

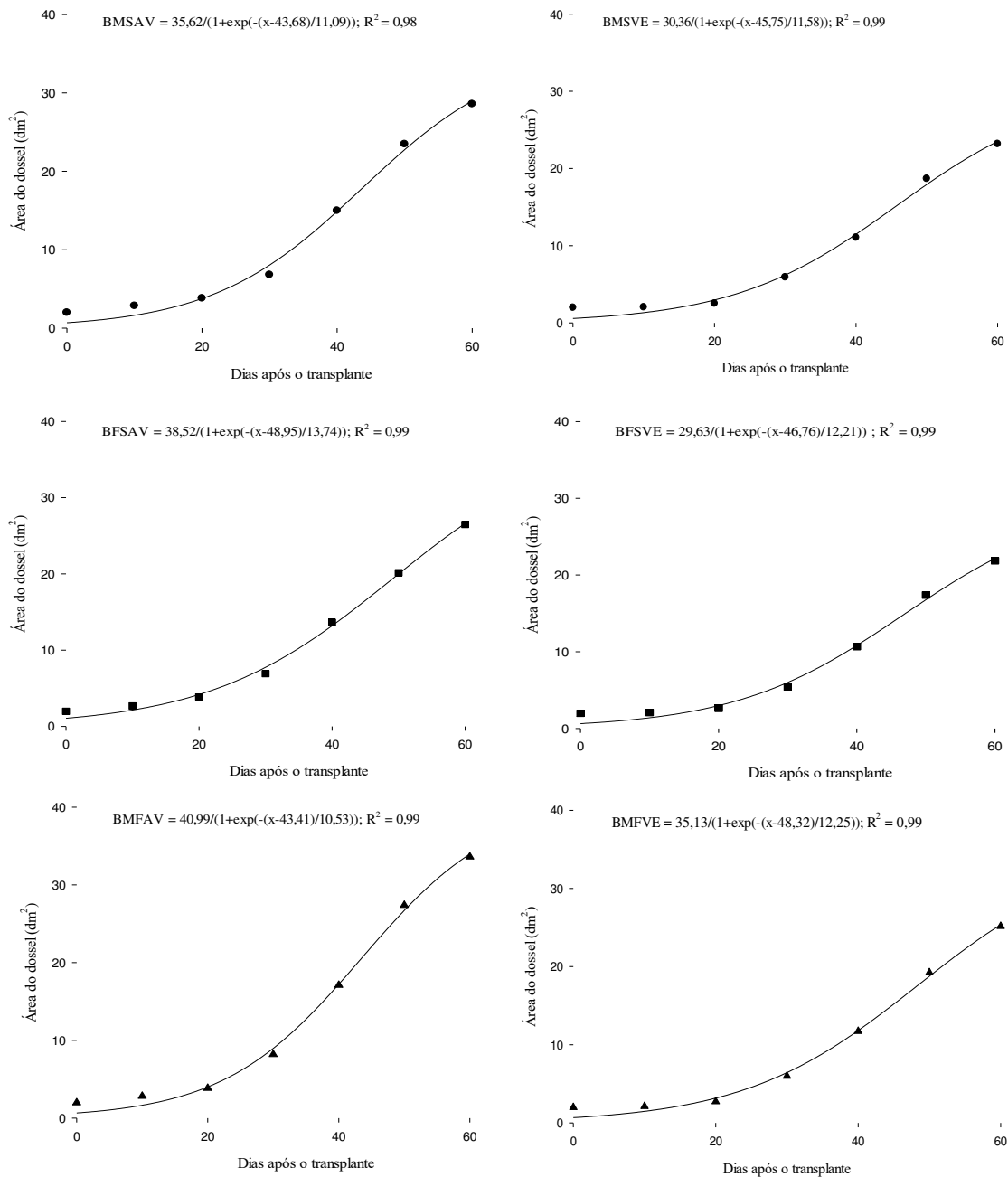


Figura 2: Área da planta ocupada pelas folhas de brócolis ao longo dos dias após o transplante da cultura. BMSAV – brócolis em sucessão ao milho solteiro, sob pré-cultivo do adubo verde *C. retusa*; BFSAV – brócolis em sucessão ao feijoeiro solteiro, sob pré-cultivo do adubo verde *C. retusa*; BMFAV – brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro, sob pré-cultivo do adubo verde *C. retusa*; BMSVE – brócolis em sucessão ao milho solteiro, sob vegetação espontânea; BFSVE – brócolis em sucessão ao feijoeiro solteiro, sob vegetação espontânea; BMFVE – brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro, sob vegetação espontânea.

3.4. Análises de trocas gasosas

Não houve efeito do pré-cultivo ou do sistema de produção sobre a fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i) e transpiração (E), em folhas de

brócolis, 40 DAT ($p \geq 0,05$). As alterações destes parâmetros fisiológicos, neste estudo, não foram afetadas pela adubação verde e pelos sistemas de produção (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados para as variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i); e transpiração (E), em folhas de brócolis, 40 DAT

A ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)			
Pré-cultivo	BMS	BFS	BMF
AV	30,77 ^{ns}	30,40 ^{ns}	30,28 ^{ns}
VE	28,33	28,77	28,89
CV ₁ (9,92%)			
CV ₂ (4,18%)			
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$)			
Pré-cultivo	BMS	BFS	BMF
AV	0,41 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,46 ^{ns}
VE	0,47	0,44	0,39
CV ₁ (32,47%)			
CV ₂ (13,87%)			
C_i ($\mu\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}$)			
Pré-cultivo	BMS	BFS	BMF
AV	275,50 ^{ns}	276,08 ^{ns}	289,50 ^{ns}
VE	291,56	279,02	244,50
CV ₁ (18,07%)			
CV ₂ (11,78%)			
E ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)			
Pré-cultivo	BMS	BFS	BMF
AV	3,30 ^{ns}	3,25 ^{ns}	3,70 ^{ns}
VE	3,67	3,65	3,18
CV ₁ (11,50%)			
CV ₂ (10,78%)			

BMS – cultivo de brócolis em sucessão ao milho solteiro; BFS – cultivo de brócolis em sucessão ao feijoeiro solteiro; BMF – cultivo de brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro. AV – Adubação verde; VE – Vegetação espontânea. CV₁ – coeficiente de variação do pré-cultivo; CV₂ – coeficiente de variação do sistema de produção; ^{ns} = Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

O N faz parte da enzima Rubisco e na biossíntese da molécula de clorofila na folha, exercendo forte influência sobre as taxas fotossintéticas. Dependendo da forma como o N é absorvido pelas plantas, as características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas podem ser afetadas e induzidas a respostas distintas, a exemplo do crescimento de raízes, taxas fotossintéticas, condutância do mesófilo, assim como quantidades de proteínas e açúcares e atividade enzimática (PATTERSON et al., 2010; LI; WANG; STEWART, 2013).

Contudo, os parâmetros fisiológicos analisados foram tomados em um único dia e em condições de campo, sujeitas a grandes influências de temperatura, umidade do ar e do solo no momento das leituras e que não puderam ser associadas aos efeitos de maior crescimento, acúmulo de N e produção do brócolis. Melhores respostas dos parâmetros fisiológicos são

observadas em ambientes controlados e em estudos relacionados à estresses abióticos severos (PARROTTA et al., 2020).

3.5. Crescimento e produção da inflorescência de brócolis

Não houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o diâmetro e produção de inflorescência de brócolis ($p \geq 0,05$). O diâmetro da inflorescência foi influenciado apenas pelo pré-cultivo ($p < 0,05$). O sistema de cultivo não afetou o diâmetro da inflorescência de brócolis ($p \geq 0,05$). O maior diâmetro da inflorescência da cultura foi encontrado no cultivo de brócolis das parcelas que receberam adubação verde, resultado em sintonia com aqueles de produção de inflorescência (Tabela 3).

O sistema de produção não influenciou a produção de inflorescência da cultura de brócolis ($p \geq 0,05$). Houve efeito do pré-cultivo sobre a produção de inflorescência de brócolis ($p < 0,05$). O maior peso por inflorescência de brócolis foi obtido nas áreas com adubação verde em pré-cultivo, equivalentes a $3,81 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabela 3). Nesta pesquisa, o uso do adubo verde *C. retusa* promoveu aumento em 75% da produção de inflorescência de brócolis.

Neto et al. (2021), utilizando o cultivar Master[®], aplicaram 1 t ha^{-1} de esterco de cama de aves (com 2% de N) e obtiveram peso médio de inflorescência de 260 gramas. O peso médio de brócolis encontrado por estes autores foi superior em relação ao obtido nesta pesquisa pode ser devido ao momento da aplicação do adubo. A produção de brócolis no presente estudo foi sob efeito residual do adubo verde aplicado dois anos antes do cultivo da cultura e sem qualquer outra adubação, além de suceder cultivos de milho ou feijoeiro.

A data de aplicação dos adubos verdes pode influenciar no acúmulo de matéria seca e produção do brócolis (DINIZ et al., 2007). Há relatos de aumentos significativos de produção de brócolis com aplicação isolada de leguminosas (JOKELA; NAIR, 2016; BALLIU et al., 2017; BRANCO et al., 2017), porém, em períodos próximos ao transplante da cultura. Além da data de aplicação dos adubos, outros fatores podem influenciar o crescimento, rendimento, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em brócolis, tais como o cultivar, tipo e dose de adubação e características do clima e do solo.

O fato de o sistema de produção não ter influenciado no peso da inflorescência de brócolis indica que, a médio prazo, os diferentes sistemas de cultivo de milho e feijoeiro em sucessão a AV apresentam os mesmos efeitos sobre a produção de inflorescência de brócolis em sequência. Porém, os consórcios resultaram em maior acúmulo de N na matéria seca de brócolis (Tabela 2). Era esperado efeito do sistema de cultivo sobre a produção de brócolis,

realmente há esta tendência (143,91 g/inflorescência – BMS; 140,62 g/inflorescência – BFS e 164,53 g/inflorescência – BMF), mas possivelmente o CV mais elevado (27,48%) impediu a expressão da significância. O fato de a área permanecer parada por um ano, em virtude da paralização das atividades durante a pandemia, certamente contribuiu para a elevação desse CV e alguma redução do efeito dos sistemas de produção.

Devido a sua baixa relação C/N, bem como teores baixos de lignina e relação lignina/N (Tabela 1) as leguminosas tendem a mineralizar os nutrientes rapidamente quando incorporadas ao solo e seus efeitos sobre a produção de plantas em sucessão são prontamente verificáveis. Assim, tratando-se de sucessão de leguminosa, era de se esperar maiores produções de brócolis em parcelas de cultivo de feijoeiro, porém, ao longo do tempo esse efeito se dissipa (GRANT et al., 2016), devido às características da mineralização de nutrientes. Os consórcios absorvem mais N e o mantêm por período mais longo em formas mineralizáveis que os cultivos solteiros, o que pode ter contribuído para o maior acúmulo do nutriente no brócolis, mesmo um ano após sua colheita.

Contudo, ao comparar parcelas AV e VE, verifica-se maiores produções de inflorescência de brócolis em parcelas AV, evidenciando o efeito residual do adubo verde em dois cultivos sequenciais, como já observado em outros estudos (ST LUCE et al., 2015; DINIZ et al., 2017a; VARGAS et al., 2017). Ou seja, no presente estudo, a aplicação de 11 t ha⁻¹ de matéria seca do adubo verde *C. retusa* resultou em efeito nutricional de mais de um ciclo de produção (milho e feijoeiro na primeira safra e brócolis na segunda), mesmo com o intervalo de 12 meses entre o término de uma safra e início da outra.

A produção média nos tratamentos da parcela VE foi menor do que com AV, refletindo menor capacidade nutricional da área (Tabela 3). Nesta parcela, houve maior densidade de plantas invasoras em relação a parcela AV, o que de certa forma promoveu a competição por água e nutrientes encontrados no solo. Portanto, foram demonstrados os benefícios dos adubos verdes no cultivo residual de brócolis. A contribuição dos adubos verdes para a diminuição da infestação de plantas invasoras já foi relatada por Muoni et al. (2019).

3.6. Eficiências agrônômica, fisiológica e de recuperação de N da *C. retusa*

O tratamento BMF resultou em eficiências agrônômica (EAN) e de recuperação de nitrogênio (ERN) pelas plantas de brócolis mais elevadas que os cultivos solteiros, mas não maior eficiência fisiológica (EFN) (Figura 3). Ou seja, o pré-cultivo de crotalária seguido do consórcio milho-feijoeiro resultou em EAN (8,20 kg kg⁻¹) e ERN (5,96%), mais elevada que o

pré-cultivo seguido de milho ou feijão em solteiro. Houve provável perda de N nas parcelas que receberam apenas feijoeiro solteiro, devido ao efeito da dissipação ao longo do tempo (GRANT et al., 2016).

O tratamento BFS apresentou a mais elevada EFN, com $31,30 \text{ kg kg}^{-1}$, indicando que a planta de brócolis foi capaz de produzir maior quantidade de matéria seca por cada grama de N acumulado. Após o consórcio, brócolis acumula matéria seca por quantidade de N na adubação verde (EFN) intermediária entre as obtidas após feijão solteiro e milho solteiro. Esse é um efeito esperado: plantas com menores teores de nutrientes nos tecidos tendem a apresentar maior EFN, resultado obtido também no presente trabalho. No entanto, apesar da EFN, há maior produção da parte comercial por cada unidade de N (EAN) após o consórcio e também maior recuperação do N proveniente da adubação verde nesse sistema.

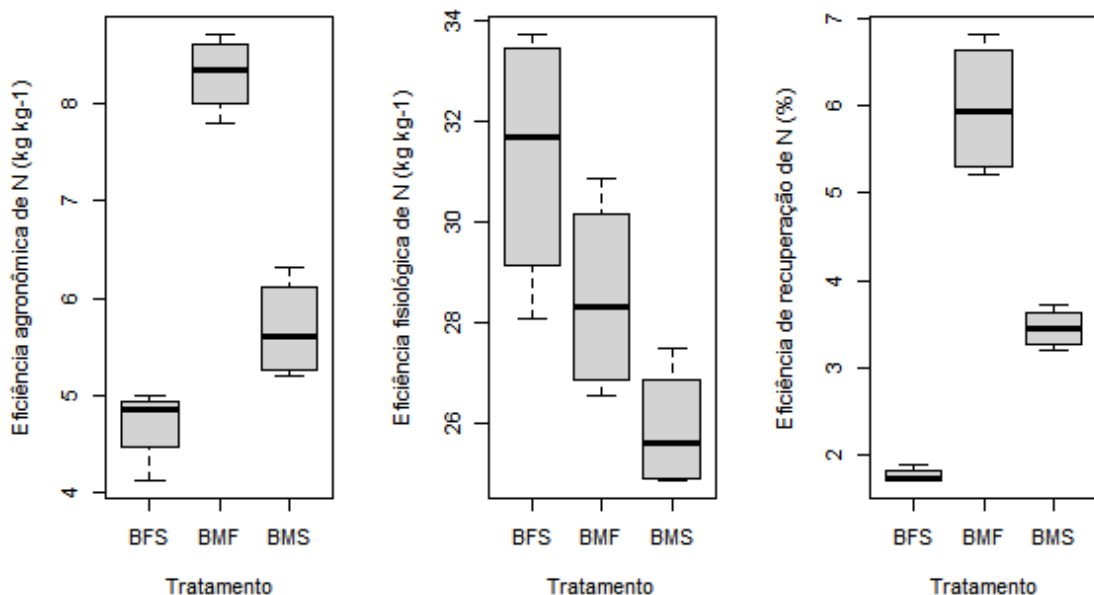


Figura 3: Eficiência agrônômica, eficiência fisiológica e eficiência de recuperação de nitrogênio (N) no brócolis cultivado em sucessão ao milho e feijoeiro, em áreas que receberam adubação verde comparativamente a áreas com vegetação espontânea. BMS – brócolis em sucessão ao milho solteiro; BFS – brócolis em sucessão ao feijoeiro solteiro; BMF – brócolis em sucessão ao consórcio de milho e feijoeiro.

A eficiência de recuperação de N do conjunto de cultivos (soma de N do adubo verde acumulado no sistema de cultivo de milho e feijoeiro e, no brócolis), seguiu a ordem de parcela: BMF (42,83%) > BFS (33,90%) > BMS (27,87%). Neste experimento foi observado que a ERN no FS foi mais elevada que no MS (primeiro cultivo, capítulo 1), evidenciando mais exportação de N pelo feijoeiro. Porém, no segundo cultivo com brócolis, a tendência reverteu, com ERN mais elevada na parcela que recebeu milho solteiro, BMS > BFS. Esta situação pode ser

explicada pela redução de N do adubo verde nas parcelas de FS, devido as perdas do nutriente ao longo do tempo.

A rápida decomposição e mineralização de resíduos das leguminosas condicionou perdas de N durante o período de entressafra, reduzindo a quantidade do nutriente no sistema. O processo de mineralização de N correlaciona-se positivamente com a concentração de N total e negativamente com o teor de lignina (WATTHIER et al., 2020), conforme pode ser verificado na Tabela 1. Assim, parcelas de cultivo solteiro de feijoeiro possivelmente apresentaram elevadas concentrações iniciais de N e aumento de perdas ao longo do período da entressafra, devido a sua relação C/N baixa, o que condicionou a recuperação de N pelo brócolis.

Enquanto isso, os resultados sugerem que houve maior retenção de N no sistema promovido pelo monocultivo do milho. A palhada de milho tem relação C/N mais alta e busca o N do solo para se decompor. Embora um ano depois, esse efeito pode ter contribuído para maior recuperação de N na parcela do milho solteiro em relação a do feijoeiro solteiro. Ademais, a cultura do milho absorveu o N da adubação verde durante o cultivo, sendo que após a colheita, parte de N não extraído pela cultura retornou ao solo através da decomposição do resíduo, promovendo assim a reciclagem do nutriente. Os sistemas radiculares das gramíneas são fasciculados e tornam o processo de absorção de nitrato eficiente por reduzir as perdas por lixiviação (WHITE et al., 2013).

Além de proporcionar aumento da disponibilidade de nutrientes, cultivos consorciados de gramínea e leguminosa promovem maior efeito residual de N a longo prazo, pelo fato de o processo da decomposição e mineralização do nutriente ser mais lento do que em cultivo solteiro de leguminosa (TOSTI et al., 2014; GEZAHEGN et al., 2016; WATTHIER et al., 2020). Com isso, dependendo do objetivo do agricultor, a escolha do sistema de cultivo em sucessão à adubação verde, o período de pousio entre uma safra e outra e as condições climáticas do local são de extrema importância para assegurar melhores resultados produtivos em sequência.

4. CONCLUSÕES

O pré-cultivo de *C. retusa* apresenta efeito nutricional de mais de um ciclo de produção e eleva a matéria seca, crescimento e produção de brócolis em cultivo sem adubação e sequencial ao milho e feijoeiro.

O adubo verde *C. retusa* promoveu aumento em 75% da produção de inflorescência de brócolis.

A eficiência de recuperação de N da *C. retusa* no cultivo de brócolis em sucessão ao milho e feijoeiro foi de 3,46% na área de milho solteiro, 1,78% na área de feijoeiro solteiro e 5,96% na área de consórcio de milho e feijoeiro.

A mais elevada eficiência de recuperação de N do adubo verde *C. retusa* nos dois ciclos de cultivo sequenciais foi de 42,83% obtida na parcela que recebeu consórcio de milho e feijoeiro.

REFERÊNCIAS

- BALLIU, A. et al. The influence of legume crops on subsequent vegetable (cole) crops. **EuroLegume**, p. 1–18, 2017.
- BASUMATARY, P. et al. Combined effect of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on yield and quality of broccoli [*Brassica oleraceae* (L.) var. italica]. **Research on Crops**, v. 18, n. 3, p. 468-471, 2017.
- 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, n. 2, 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.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1211-1220, 2012.
- DINIZ, E. R. et al. Green manure incorporation timing for organically grown broccoli. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, 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, Ellen Rúbia 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. Doses de *Crotalaria juncea*: Efeito residual no cultivo de abobrinha e milho em sequência ao brócolis. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017a.
- 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, 2017b.
- EL-BASSIONY, A. E. et al. Influence of different levels of phosphorus supply on growth, yield and quality of some broccoli varieties under sandy soil. **Bioscience Research**, v. 14, n. 3, p. 694-704, 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.
- GEZAHEGN, A. M. et al. Decomposition and nitrogen mineralization of individual and mixed maize and soybean residue. **Journal of Agricultural Science**, v. 2, p. 28-45, 2016.
- GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses: apparatus, reagents, procedures, and some applications**. Washington: Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1970.

- GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.
- 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.
- HUANG, J. et al. Nitrogen mobility, ammonia volatilization, and estimated leaching loss from long-term manure incorporation in red soil. **Journal of integrative agriculture**, v. 16, n. 9, p. 2082-2092, 2017.
- JOKELA, D.; NAIR, A. No tillage and strip tillage effects on plant performance, weed suppression, and profitability in transitional organic broccoli production. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1103-1110, 2016.
- KUMAR, P. et al. Comparative performance of organic and inorganic fertilizers on plant growth, head yield, soil health and severity of black rot in sprouting broccoli cv Green Head. **International Journal of Farm Sciences**, v. 7, n. 1, p. 69-76, 2017.
- LI, X. G. et al. Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 112, p. 47-55, 2017.
- MADEMBO, C.; MHLANGA, B.; THIERFELDER, C. Productivity or stability? Exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder Conservation Agriculture farmers in Zimbabwe. **Agricultural Systems**, v. 185, n. 102921, 2020.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.
- MARTINEZ, E. P. M.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. CFSEMG, Viçosa-MG, 1999. p. 143-168.
- MARTINAZZO, E. G. et al. Photosynthetic activity in japanese plum under water deficit and flooding. **Ciência Rural**, v. 43, p. 35–41, 2013.
- MUONI, T. et al. The Role of *Mucuna pruriens* in Smallholder Farming Systems of Eastern and Southern Africa: A Review. **Agronomic Crops**, p. 485-498, 2019.
- NETO, J. V. et al. Brócolis em diferentes manejos fitossanitários nos cultivos de verão/outono, sob plantio direto, em Santa Catarina. **Revista Thema**, v. 19, n. 2, p. 210-220, 2021.
- PATTERSON, K. et al. Distinct signalling pathways and transcriptome response signatures differentiate ammonium - and nitrate - supplied plants. **Plant, cell & environment**, v. 33, n. 9, p. 1486-1501, 2010.
- PARROTTA, L. et al. Chronic heat stress affects the photosynthetic apparatus of *Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 154, p. 463-475, 2020.

- PISANTE, M. et al. Conservation agriculture and climate change. **Conserv. Agric.** p. 579–620, 2015.
- 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.
- ROY, E. D. et al. Soil phosphorus sorption capacity after three decades of intensive fertilization in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 249, p. 206-214, 2017.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SUAREZ-TAPIA, A. et al. Residual N effect of long-term applications of cattle slurry using winter wheat as test crop. **Field Crops Research**, v. 221, p. 257-264, 2018.
- 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.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- 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.
- VALADARES, R. V. et al. Green manures and crop residues as source of nutrients in tropical environment. In: Larramendy, M. L.; Soloneski, S (Orgs.). **Organic fertilizers: From basic concets to applied outcomes**. IntechOpen, 2016, p. 51-84.
- VARGAS, T. O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209-213, 2017.
- VERGÜTZ, L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de Corretivos e Adubação. In: BORÉM, A.; GALVÃO, A. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Orgs.). **MILHO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 108-136.
- VIEIRA, R. F.; LIMA, M. S.; NEVES, J. C. L.; ANDRADE, M. J. B. Adubação. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. (Orgs.). **FEIJÃO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 145-172.
- WATTHIER, M. et al. Decomposition of green manure with different grass: legume ratios. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 7, p. 913-924, 2020.
- WEI, S. et al. The mechanisms of low nitrogen induced weakened photosynthesis in summer maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 105, p. 118-128, 2016.
- WHITE, P. J. et al. Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, n. 2, p. 207-222, 2013.
- YANG, F. et al. Yield response to different planting geometries in maize–soybean relay strip intercropping systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 1, p. 296-304, 2015.

ZHENG, W. et al. Effects of cover crop in an apple orchard on microbial community composition, networks, and potential genes involved with degradation of crop residues in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, n. 6, p. 743-759, 2018.

ZHOU, G. et al. Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China. **Soil and Tillage Research**, v. 197, n. 104499, 2020.

Capítulo 3: Eficiência do consórcio milho e feijão cultivados em sucessão à adubação verde

RESUMO: Os adubos verdes podem promover o aumento da eficiência do consórcio, através do fornecimento de nutrientes e consequentes melhores rendimentos das culturas. A utilização desses adubos, antecedendo ao consórcio de milho e feijoeiro, pode auxiliar no emprego de sistemas de produção sob bases agroecológicas de menor uso de insumos externos, principalmente fertilizantes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação verde na produtividade e nos indicadores de eficiência e desempenho do consórcio de milho e feijoeiro. O experimento foi realizado em duas etapas, no campo experimental do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG. A primeira etapa consistiu no cultivo do adubo verde *Crotalaria retusa* L. e a manutenção da vegetação espontânea. Na segunda etapa o experimento foi implantado os sistemas de cultivo solteiro e consorciado de milho e feijoeiro. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de pré-cultivo da crotalária e pousio mantendo-se a vegetação espontânea nas parcelas e sistemas de cultivo de milho e feijoeiro nas subparcelas. O corte, trituração e incorporação da crotalária ao solo foi realizado quando 50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. No mesmo dia procedeu-se o corte e incorporação da vegetação espontânea. Foram avaliados os componentes de produção e produtividade das culturas componentes do consórcio, e os índices de eficiência do consórcio. A aplicação de 10,95 t ha⁻¹ de matéria seca da *C. retusa*, no pré-cultivo, melhorou o estado nutricional das plantas em sucessão e aumentou suas respectivas produtividades em 22% e 34% para milho e feijoeiro solteiros e em 15% e 42% para milho e feijoeiro em consórcio. O índice de eficiência da terra apresentou valores maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso do adubo verde *C. retusa* (1,22) como no pousio (1,25), indicando eficiência de consórcio milho e feijoeiro. No sistema consorciado, o milho foi mais competitivo que o feijoeiro, expressando maior habilidade competitiva na área que não recebeu adubo verde crotalária. A adubação verde reduz a competição do milho com o feijoeiro.

Palavras-chave: Consorciação. Crotalária. Nitrogênio. Produtividade.

ABSTRACT: Green manure can increase intercropping efficiency by improving soil conditions and consequently crop yields. The use of these products, before intercropping maize and common beans, can facilitate the use of agroecological production systems based on less-used external inputs, mainly conventional fertilizers. The objective of this work was to evaluate the effect of green manure on productivity and on the efficiency and performance indicators of the intercropping of maize and common bean. The trials were conducted in two stages, in the same field, in the 'Horta Velha' experimental field of the Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – MG, Brazil. The first phase consisted of cultivating *Crotalaria paulina* Schrank and maintaining the spontaneous vegetation. In the second stage, the assay was carried out in subdivided plots with sole and intercropping maize and common bean growing systems. The experimental design used consisted of randomized blocks and four replicates. Treatments consisted of pre-growing crotalaria and fallow maintaining spontaneous vegetation in plots, and cropping systems of maize and common beans in subplots. Cutting, crushing, and soil incorporation of *Crotalaria* occurred when 50% of the plants exhibited open flowers, 129 days after planting. On the same day, spontaneous vegetation was cut and incorporated. The production and productivity components of the intercropping crops and the efficiency indexes were evaluated. The application of 11 t ha⁻¹ of *Crotalaria retusa* L. dry matter, in the pre-cultivation, improves the plants nutritional status in succession and increases their respective yields by 22% and 34% for single maize and common bean and by 15% and 42% for maize and common bean intercropped. The land efficiency index showed values greater than 1 in both pre-cultivations, using green manure (1.22) and in fallow keeping the spontaneous vegetation (1.25), indicating the efficiency of maize and common bean intercropping. In the intercropping system, maize was more competitive than common bean, expressing improved competitiveness in the field without crotalaria application. Green manure reduces the competition between corn and common bean.

Keywords: Intercropping. *Crotalaria*. Nitrogen. Productivity.

1. INTRODUÇÃO

Os pequenos agricultores de países tropicais enfrentam problemas de declínio da fertilidade do solo e efeitos de clima com ampla variabilidade e eventos extremos, resultando em baixos rendimentos das culturas e afetando disponibilidade de alimentos e a segurança alimentar e nutricional de suas populações em rápido crescimento (WHEELER; VON BRAUN, 2013; NYAGUMBO et al., 2016). Projeta-se um cenário climático pior para o futuro e a diversificação de produção de culturas na mesma área, com inclusão de leguminosas no sistema, além de mitigar declínio da fertilidade do solo, pode aumentar a resiliência, protegendo a produção agrícola dos efeitos da mudança climática (SMITH et al., 2016; STAGNARI et al., 2017), além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa por redução de adubação nitrogenada industrial.

Nesse sentido, uma das estratégias é o uso de espécies leguminosas como adubos verdes em sistemas consorciados de milho e feijão. Os adubos verdes favorecem a conservação do solo produzindo elevadas quantidades de massa em curto espaço de tempo, além disso, contribuem de forma considerável na ciclagem e aporte de nutrientes ao sistema (BRENNAN; BOYD; SMITH, 2013; ZHU et al., 2014). Um dos nutrientes fornecido ao solo pelos adubos verdes, em quantidade significativa, é o nitrogênio (N), obtido parcialmente por via da fixação biológica. O N, requerido pelas plantas em grandes quantidades, pode ser utilizado no cultivo em sequência (COUEDEL et al., 2018), reduzindo a necessidade da adubação nitrogenada e proporcionando aumento de rendimento as culturas (RADICETTI et al., 2017). Ademais, o N fornecido pelos adubos verdes pode servir para nutrição de mais de um ciclo de cultura em sucessão (DINIZ et al., 2017; VARGAS et al., 2017), evidenciando seu efeito residual.

O cultivo consorciado é praticado há séculos, por pequenos agricultores, na tentativa de obter o máximo de benefícios dos recursos disponíveis, uma vez que pode proporcionar maior eficiência do uso dos recursos (YANG et al., 2015; TEMESGEN; FUKAI; RODRIGUEZ, 2015), consequentemente aumentando a produção (MAHALLATI et al., 2015; MADEMBO; MHLANGA; THIERFELDER, 2020). Além disso, o consórcio é promissor para combinar altas produtividades e benefícios ecológicos que podem contribuir para mitigar os impactos ambientais dos agroecossistemas, como mudanças climáticas (NAUDIN et al., 2014).

Sistemas consorciados podem proporcionar maiores produtividades e estabilidade do rendimento nos campos dos agricultores (LITHOURGIDIS et al., 2011; RUSINAMHODZI; MAKOKO; SARIAH, 2017). Podem ainda compensar a perda de safra de uma das culturas, garantindo assim a produtividade do sistema (RUSINAMHODZI et al., 2012). Trata-se de uma

estratégia para os agricultores com restrições de área de cultivo aumentarem seus índices de eficiência de terra (MUPANGWA et al., 2019). Geralmente os sistemas consorciados são eficientes por apresentarem maiores rendimentos totais que os cultivos solteiros.

A eficiência na utilização de recursos, por meio de sistemas de cultivos promissores, como o consórcio, destaca-se como o primeiro passo na transição para uma agricultura mais ecológica e sustentável. Além disso o cultivo de adubos verdes antecedido ao sistema consorciado parece ser uma abordagem nova, porém, de grande impacto para uma agricultura sustentável de baixo insumo e menores emissões gases de efeito estufa.

Por se tratar de duas ou mais culturas em cultivo simultâneo, os consórcios tendem a ser mais exigentes por recursos importantes como luz, água e nutrientes, por conta da competição, que pode comprometer o rendimento de uma ou ambas as culturas (GEBRU, 2015). Os adubos verdes podem promover o aumento da eficiência do consórcio, através da melhoria das condições do solo e consequentes melhores rendimentos das culturas.

Assim, a adubação verde antecedida ao consórcio de milho e feijão pode contribuir de forma significativa na nutrição das plantas consorciadas e reduzir a competição por nutrientes. Neste contexto, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar o efeito da adubação verde na produtividade e nos indicadores de desempenho e eficiência do consórcio de milho e feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão “Horta Velha” do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa - MG, localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Viçosa em 20°45’14’’S e 42°52’53’’O e 650 m de altitude, no período de 19 de fevereiro de 2019 a 06 de abril de 2020. Os dados de temperatura e precipitação obtidos durante a condução do experimento são encontrados na Figura 1.

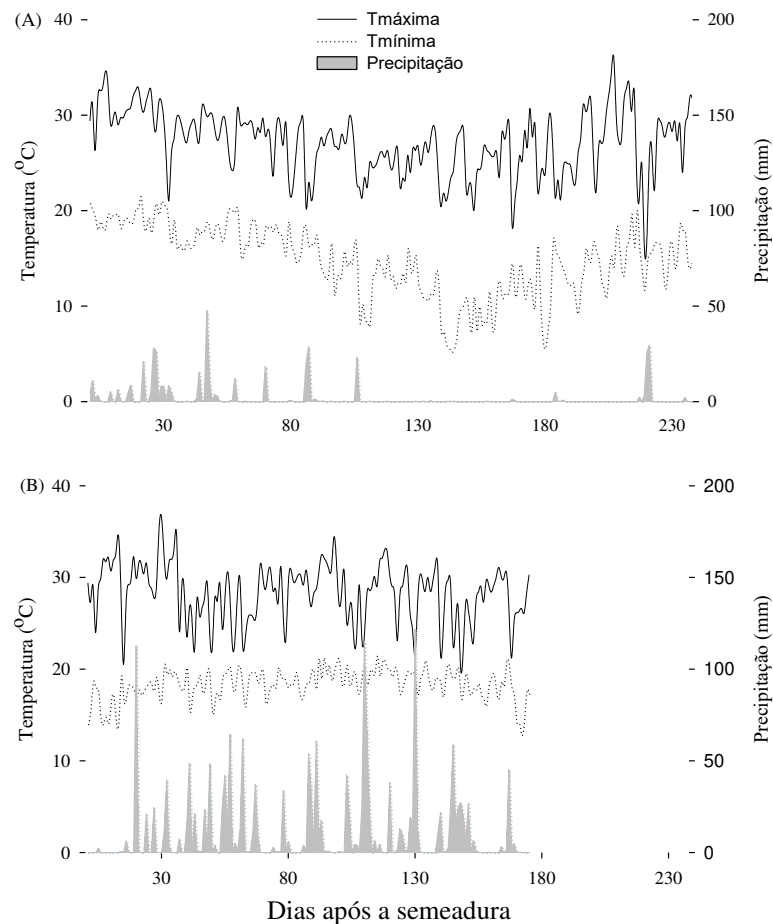


Figura 1: (A) Temperatura máxima (Tmáxima) e mínima (Tmínima) diária e precipitação acumulada diária durante o pré-cultivo do adubo verde *C. retusa*, em Viçosa - MG. (B) Temperatura máxima e mínima diária e precipitação acumulada diária durante os cultivos de milho e feijoeiro, após cultivo do adubo verde *C. retusa*, na mesma área, em Viçosa - MG. (Fonte: INMET).

O solo da área do experimento é classificado, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Argissolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018). Antes de

iniciar o experimento foram coletadas amostras compostas do solo, na profundidade de 0 – 20 cm, para análises química e física. A granulometria do solo foi composta por 270,0 g kg⁻¹ de areia, 240,0 g kg⁻¹ de silte e 490,0 g kg⁻¹ de argila. Os resultados de análise química do solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de análise química do solo da área experimental

pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	P-rem
	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³						%		mg L ⁻¹	
5,4	2,69	65,6	161	2,89	0,66	0,10	2,97	3,96	4,06	6,93	57,1	2,5	27,4

Legenda: P - fósforo, Extrator Mehlich 1; K - potássio, Extrator Mehlich 1; Ca - cálcio, Mg - magnésio e Al - alumínio, Extrator KCl 1 mol/L; H + Al, Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0; SB - soma de bases trocáveis; t - capacidade de troca catiônica efetiva; T - capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - índice de saturação por bases; m - índice de saturação por alumínio; MO - matéria orgânica; Mat. Orgânica = C.Org x 1,724 - pelo método de Walkley - Black; P-rem - fósforo remanescente.

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi realizado em duas etapas, na mesma área experimental. A primeira etapa, 19 de fevereiro a 27 de junho de 2019, consistiu no cultivo do adubo verde *Crotalaria retusa* L. e, em parcela separada, a manutenção da vegetação de ocorrência espontânea. Na segunda etapa, de 15 de outubro de 2019 a 06 de abril de 2020 foram realizados os cultivos solteiro e consorciado de milho e feijoeiro.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de pré-cultivo do adubo verde crotalária (AV) e pousio mantendo-se a vegetação espontânea (VE). Nas subparcelas foram alocados os sistemas de cultivo milho solteiro (MS), feijoeiro solteiro (FS) e consórcio de milho (MC) e feijoeiro (FC). Assim, os tratamentos resultaram da combinação das parcelas e subparcelas: milho solteiro após adubação verde (MSAV), milho consorciado após adubação verde (MCAV), milho solteiro após vegetação espontânea (MSVE), milho consorciado após vegetação espontânea (MCVE), feijão solteiro após adubação verde (FSAV), feijão consorciado após adubação verde (FCAV), feijão solteiro após vegetação espontânea (FSVE), feijão consorciado após vegetação espontânea (FCVE).

2.3. Cultivo do adubo verde

O adubo verde *C. retusa* L. foi semeado na densidade de 25 plantas por metro linear, com espaçamento de 30 cm entre linhas. O corte e trituração da crotalária foi realizado quando

50% das plantas apresentaram flores abertas, aos 129 dias após a semeadura. Para tanto, foi utilizado o triturador de palhada. Na mesma ocasião foi feito o corte e trituração da vegetação espontânea.

A vegetação espontânea foi caracterizada quanto à composição florística (Tabela 2). Para tanto, foi lançado aleatoriamente, por quatro vezes aleatoriamente, em cada parcela, um quadrado metálico de 1,0 m² e determinadas as plantas contidas na área do quadro. Em seguida, foi feita a contagem das plantas e determinada a percentagem de cobertura de cada espécie de vegetação espontânea.

Tabela 2: Composição florística da vegetação espontânea na área do experimento

Espécie	Percentagem de cobertura (%)
<i>Cyperus rotundus</i> L.	69,33
<i>Oxalis latifolia</i> Kunth	9,66
<i>Bidens pilosa</i> L.	9,46
<i>Amaranthus viridus</i> L.	3,75
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	3,06
<i>Cyperus iria</i> L.	2,07
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	0,99
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,99
<i>Amaranthus spinolus</i> L.	0,69

No mesmo dia do corte do pré-cultivo procedeu-se a incorporação do material ao solo com uso de enxada rotativa. Na ocasião de corte da crotalaria e da vegetação espontânea, as plantas pertencentes a área útil de 1,0 m² foram cortadas rente ao solo e pesadas para a determinação da matéria fresca. Foi retirada uma amostra de aproximadamente 250 g de matéria fresca de cada parcela. Estas foram lavadas em água corrente e em seguida o material vegetal foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e estimada a produção de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 3).

Após secagem em estufa, as amostras foram moídas para a determinação do teor total de N pelo método de Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). Para os teores dos demais nutrientes foi feita digestão nítrico-perclórica e determinados teores de P por espectrofotometria de absorção, K por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989). O teor de carbono foi determinado por meio do método da mufla (GOLDIN, 1987; CARMO; SILVA, 2012). Os teores de lignina, celulose e hemicelulose foram determinados seguindo o método de fibra em detergente ácido e neutro (GOERING; VAN SOEST, 1970).

Tabela 3: Características da matéria seca do adubo verde (AV) e vegetação espontânea (VE). Carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), hemicelulose (Hem), celulose (Cel), lignina (Lig), relação Lig/N e matéria seca da parte aérea (MSPA)

Pré-cultivo	C	N	C/N	K	Ca	Mg	P	Hem	Cel	Lig	Lig /N	MSPA
	%				g kg ⁻¹			%				t ha ⁻¹
AV	40,9	2,4	17,0	19,3	5,2	1,1	5,1	18,6	23,8	5,8	2,4	10,950
VE	39,9	1,1	36,2	13,6	2,1	1,0	4,3	21,2	30,5	7,5	6,8	4,329

2.4. Cultivo consorciado e solteiro de milho e feijoeiro

A semeadura do milho (*Zea mays* L.) cv “UFVM-200” foi realizada no dia 15 de outubro de 2019, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e oito sementes por metro linear, mantendo-se um estande de 65.000 plantas por hectare, após o desbaste que ocorreu 13 dias após a emergência. A área da subparcela experimental foi de 20 m² e constituída de quatro fileiras com 5,0 m de comprimento cada, considerando-se a área útil as fileiras centrais.

A semeadura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv “BRSMG Marte” ocorreu na mesma data da semeadura do milho, utilizando-se o espaçamento de 0,50 m entre linhas e 12 sementes por metro linear, perfazendo uma população de 240 mil plantas por hectare. A área da subparcela foi de 20 m² e constituída de oito linhas de 5,0 m de comprimento, sendo as duas centrais consideradas área útil.

No consórcio, o espaçamento entre linhas de milho e entre linhas de feijoeiro foi o mesmo dos respectivos cultivos solteiros, com área da subparcela de 20 m². Entretanto, foram colocadas respectivamente cinco e oito sementes por metro linear de milho e de feijão, formando população de 50 mil plantas por hectare de milho, consorciados com 160 mil de feijoeiro. Assim, no consórcio as populações de milho e feijão foram de respectivamente 77% e 67% daquelas em cultivo solteiro. Nesse sistema, o plantio de duas fileiras de feijão foi na entrelinha do milho, utilizando-se o modelo aditivo de população de plantas. Logo após a semeadura foi feita a irrigação, em toda área, utilizando-se aspersores. Em todos os sistemas de cultivo, foram desconsiderados 0,50 m em cada extremidade das linhas colhidas.

A adubação no milho seguiu a recomendação de Vergütz e Novais (2015) e no feijoeiro a de Vieira et al. (2015), ambas sem a adição de N, em função do resultado da análise do solo, da necessidade da cultura e da produtividade esperada. No milho foi aplicado a dose de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Já no feijoeiro aplicou-se equivalente a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 20 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Os adubos foram misturados e

distribuídos na linha de semeadura por ocasião do plantio, em todas as subparcelas. No consórcio, a adubação seguiu a recomendação para a cultura do milho.

O controle mecânico de ervas espontâneas foi realizado aos 17 e 29 dias após o plantio (DAS), através de capina manual. O florescimento do milho (50% das plantas no embonecamento) ocorreu aos 66 DAS. Na ocasião, foi tomado o terço médio da folha oposta e abaixo da primeira espiga, em 10 plantas, amostradas aleatoriamente em cada subparcela, para determinação do teor de N nas folhas, conforme metodologia de Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995). Ainda no florescimento, dez plantas de milho em cada subparcela foram cortadas próximo ao solo, colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e determinada a matéria seca da parte aérea. O acúmulo de N na matéria seca foi obtido pelo produto da massa da matéria seca pelo teor do nutriente.

No florescimento da cultura do feijoeiro (41 DAS), foram tomadas aleatoriamente 30 folhas do terço mediano (VIEIRA et al., 2015), em plantas de cada subparcela, para determinação do teor de N nas folhas. Ainda neste estágio, dez plantas de feijoeiro de cada subparcela foram cortadas próximo ao solo, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir massa constante, e determinada a matéria seca da parte aérea. O acúmulo de nutrientes na matéria seca do feijoeiro foi obtido pelo produto da massa da matéria seca pelo teor do nutriente.

A colheita no milho foi manual e realizada aos 175 DAS, sendo a produtividade determinada pela massa total de grãos da área útil da subparcela (13% umidade), com os dados expressos em kg ha⁻¹. No feijoeiro, a colheita (84 DAS) foi realizada manualmente e a produtividade de grãos da cultura, em kg ha⁻¹, foi determinada através da coleta de todas as plantas contidas na área útil da subparcela experimental.

2.5. Índices de eficiência e desempenho no consórcio

Para medir a eficiência do consórcio de milho e feijão (utilizando-se produtividade de grãos como característica mensurada), foram avaliados os seguintes índices:

Índice de eficiência da terra (IET), calculado pela expressão descrita por Willey (1979).

$$IET = \frac{Y_{mf}}{Y_m} + \frac{Y_{fm}}{Y_f} = PR_m + PR_f$$

Onde:

Y_{mf} = produtividade (kg ha⁻¹) de grãos de milho, em consórcio com feijoeiro;

Y_m = produtividade (kg ha⁻¹) de grãos de milho solteiro;

Y_{fm} = produtividade (kg ha⁻¹) de grãos de feijão, em consórcio com milho;

Y_f = produtividade (kg ha⁻¹) de grãos de feijão solteiro;

PR_m = produtividade relativa do milho;

PR_f = produtividade relativa do feijão.

O índice de equivalência relativa de área/tempo (ERAT) de cada cultura componente do consórcio foi obtido a partir da produtividade relativa da cultura multiplicada pelo seu tempo em campo e dividida pelo tempo total do consórcio (HIEBSCH; MCCOLLUM, 1987). A ERAT parcial é expressa como:

$$ERAT(parcial) = \frac{PR_i \times t_i}{T}$$

Onde PR_i é a produtividade relativa da cultura i no consórcio e t_i é o tempo, em dias, dessa cultura em campo, e T é o tempo total do consórcio em campo.

A ERAT total é o somatório das ERAT parciais, no caso do consórcio de milho e feijão, pode ser expressa como:

$$ERAT(total) = \frac{(PR_m \times t_m) + (PR_f \times t_f)}{T}$$

Onde:

t_m = tempo da cultura do milho em campo;

t_f = tempo da cultura do feijoeiro em campo.

Índice de agressividade foi determinado para averiguar as relações de competitividade entre as culturas. A equação que calcula esse indicador foi proposta por McGilchrist e Trenbath (1971):

$$AGR_m = PR_m \times Z_{mf} - PR_f \times Z_{fm} \text{ e } AGR_f = PR_f \times Z_{fm} - PR_m \times Z_{mf}$$

Onde:

AGR_m e AGR_f = são os índices de agressividade das culturas de milho e feijoeiro respectivamente;

Z_{mf} = representa a proporção populacional de milho em consórcio com o feijoeiro (0,77);

Z_{fm} = representa a proporção populacional do feijoeiro em consórcio com o milho (0,67).

Índice de razão competitiva (RC) foi calculado conforme a equação proposta por Willey e Rao (1980):

$$RC_m = \frac{PR_m}{PR_f} \times \frac{Z_{fm}}{Z_{mf}} \text{ e } RC_f = \frac{PR_f}{PR_m} \times \frac{Z_{mf}}{Z_{fm}}$$

Onde:

RC_m e RC_f = são os índices de razão competitiva do milho e do feijoeiro.

Índice de perda ou ganho real de rendimento (PGRR) foi proposto por Banik (1996) e é calculado pela seguinte expressão:

$$PGRR_m = \left[\left(\frac{Y_{mf}}{D_{mf}} \right) : \left(\frac{Y_m}{D_m} \right) \right] - 1 \text{ e } PGRR_f = \left[\left(\frac{Y_{fm}}{D_{fm}} \right) : \left(\frac{Y_f}{D_f} \right) \right] - 1$$

Onde:

$PGRR_m$ e $PGRR_f$ = são os índices de perda ou ganho real de rendimento das culturas de milho e feijoeiro respectivamente;

D_{mf} = representa a densidade populacional de milho em consórcio com feijoeiro (50000);

D_m = representa a densidade populacional de milho solteiro (65000);

D_{fm} = representa a densidade populacional de feijoeiro em consórcio com milho (160000);

D_f = representa a densidade populacional de feijoeiro solteiro (240000).

2.6. Análise econômica de sistemas de cultivo - renda bruta

A renda bruta (R\$ ha⁻¹) das culturas de milho e feijão foi obtida tomando-se por base os respectivos preços de venda dos produtos e multiplicando-os pelos valores correspondentes à produtividade de cada cultura (kg ha⁻¹). Os preços por saca de milho e feijão consultados foram de R\$ 51,87/sc 60 kg e R\$ 159,60/sc 60 kg, respectivamente, tomando como referência o mês de abril de 2020 (CEPEA, 2021).

2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos a verificação de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e a análise de variância – ANOVA no modelo de blocos casualizados em esquema de parcela subdividida. Na presença de significância da interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo foi realizada a comparação de médias dos tratamentos dos grupos de milho e feijão, através do teste de F (p<0,05), com auxílio do programa R e o pacote ExpDes.pt.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Acúmulo de N na matéria seca de milho e feijoeiro

Não houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo de N na matéria seca do milho ($p \geq 0,05$). Houve efeito isolado do pré-cultivo e do sistema de cultivo sobre o acúmulo de N na matéria seca ($p < 0,05$). A adubação verde resultou em maior acúmulo de N na matéria seca do milho ($277,16 \text{ kg ha}^{-1}$) do que a vegetação espontânea ($223,14 \text{ kg ha}^{-1}$). Houve maior acúmulo de N na matéria seca da cultura do milho em cultivo solteiro ($275,12 \text{ kg ha}^{-1}$) do que consorciado ($225,18 \text{ kg ha}^{-1}$), independente do pré-cultivo.

No milho, observou-se que as parcelas que não receberam adubo verde *C. retusa*, as folhas apresentavam coloração amarelada, demonstrando menor presença de N, em comparação aos demais tratamentos. As folhas funcionam como reservatório de N durante o estágio vegetativo e posteriormente, no estágio reprodutivo, o nutriente acumulado é remobilizado para a espiga (CIAMPITTI; VYN, 2013), melhorando o desenvolvimento e qualidade dos grãos, e aumento de peso final.

Não houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre o acúmulo de N na matéria seca do feijoeiro ($p \geq 0,05$). O acúmulo de N na matéria seca do feijoeiro foi influenciado isoladamente pelo pré-cultivo e pelo sistema de produção ($p < 0,05$). O pré-cultivo com *C. retusa* resultou em maior acúmulo de N na matéria seca do feijoeiro ($166,09 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação a vegetação espontânea ($97,41 \text{ kg ha}^{-1}$), independente do sistema de produção. O N acumulado na matéria seca foi maior nos feijoeiros em cultivo solteiro ($163,68 \text{ kg ha}^{-1}$) do que consorciado ($99,82 \text{ kg ha}^{-1}$), em ambos pré-cultivos.

Neste estudo, foi verificado que plantas de milho e de feijoeiro da parcela de *C. retusa* apresentaram valores mais elevados de teores de N (Tabela 5 do Capítulo 1), o que promoveu maior acúmulo do nutriente entre os pré-cultivos. A área de vegetação espontânea foi majoritariamente constituída por gramínea *C. rotundus*, cerca de 70% (Tabela 2), e apresentou menor teor de N e relação C/N mais elevada em comparação à *C. retusa* (Tabela 3). Este fator condicionou presença de N nas folhas dos cultivos após vegetação espontânea.

A composição química inicial dos adubos verdes influencia diretamente na mineralização de N. A mais alta relação C/N como encontrado na parcela de vegetação espontânea (Tabela 3), limita o N aos microrganismos do solo, que geralmente são fungos decompositores que promovem uma baixa disponibilização de nutrientes e aumento no sequestro de C do solo. Ao contrário, baixas relações C/N, como no adubo verde *C. retusa*

(Tabela 3), favorecem uma via de decomposição bacteriana com rápida mineralização de nutrientes e aumento da respiração de carbono (CHAUVIN et al., 2015). Assim, a utilização do *C. retusa* como adubo verde resultou em maior mineralização de N e aumento do teor e disponibilidade de N nos solos.

Por outro lado, maior relação lignina/N, como encontrado em vegetação espontânea (Tabela 3), ocasiona em reduções de velocidade de mineralização de N. A lignina forma uma barreira estrutural nos tecidos em decomposição que impede o acesso de enzimas à maior parte dos compostos lábeis de carbono, assim, há uma resistência à degradação microbiana e com isso diminui a velocidade de mineralização de N (AUSTIN; BALLARÉ, 2010). Tecidos vegetais com maior teor de lignina, lignina/N e C/N, são importantes para preservação da umidade do solo e proteção do solo contra a erosão.

3.2. Produtividade de milho e feijoeiro

Houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre a produtividade do milho ($p < 0,05$). A adubação verde com *C. retusa* aumentou a produtividade do milho tanto em consórcio quanto em cultivo solteiro (Tabela 4). A produtividade do milho foi maior no cultivo solteiro do que no consórcio após o pré-cultivo com o adubo verde. Porém, após a vegetação espontânea não houve diferença de produtividade entre os sistemas de produção.

A semelhança do milho, houve interação entre pré-cultivo e sistemas de cultivo sobre a produtividade do feijoeiro ($p < 0,05$). Embora a análise de variância indicasse efeito da interação, o teste de média indica que ocorreu aumento significativo da produtividade do feijoeiro com a aplicação do adubo verde *C. retusa* tanto em consórcio quanto em cultivo solteiro (Tabela 4). A produtividade do feijoeiro foi maior no cultivo solteiro do que no consórcio tanto após a adubação verde como após a vegetação espontânea.

Tabela 4: Produtividade das culturas de milho e feijoeiro em diferentes sistemas de cultivo, após pré-cultivo com adubação verde (AV) e vegetação espontânea (VE). MS – cultivo de milho solteiro; MC – cultivo de milho em consórcio com feijoeiro; FS – cultivo de feijoeiro solteiro; FC – cultivo de feijoeiro em consórcio com milho

Pré-cultivo	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	MS	MC
AV	10.122,5 aA	8.156,25 aB
VE	7.905 bA	6.970 bA
	FS	FC
AV	3.022,5 aA	1.252,5 aB
VE	1.992,5 bA	732,5 bB

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula em cada coluna no mesmo sistema de cultivo e maiúscula em cada linha não diferem entre si pelo teste F ($p \geq 0,05$).

No milho, a menor produtividade encontrada no consórcio (MC) em relação ao cultivo solteiro (MS) também pode ser explicada devido a população nos sistemas de produção, visto que a população do milho solteiro foi 23% maior que o consorciado, o que certamente contribuiu para a redução da produtividade. Porém, quando o milho foi consorciado com o feijoeiro, após pousio, não foi observada diferença de produtividade com o cultivo solteiro. Estes fatos por um lado comprovam o efeito da adubação verde na produtividade da cultura e por outro, demonstram resultados satisfatórios de produção do milho em consórcio. A estabilidade da produção do milho consorciado com feijão, em agricultura de conservação, também foi obtida por Mupangwa et al. (2021).

Já foi demonstrado em pesquisas que, à medida que se aumenta a disponibilidade de N no solo, a produtividade de grãos de milho e a concentração de N nos grãos também tendem a aumentar (CHEN et al., 2015; MADEMBO; MHLANGA; THIERFELDER, 2020). No sistema consorciado após adubação verde, há aumento de N no solo fornecido por adubos verdes, e pode ocorrer redução da competição por N, sobrando mais N para cada cultura. As crotalárias são capazes de fixar o N atmosférico e fornecer ao solo, contribuindo assim para o aumento e a manutenção da fertilidade do solo e, conseqüentemente, da produtividade das culturas.

A semelhança do milho, o feijoeiro solteiro foi cultivado na densidade populacional superior em relação ao consorciado, cerca de 33% a mais. Este fato certamente contribuiu para a redução produtividade. Porém, o número de vagens por planta pode ter sido a variável que mais refletiu na produtividade. A planta do feijoeiro é C3, com necessidade de reduzidos valores de radiação luminosa para saturação. Porém, a planta pode ficar prejudicada quando cultivada em consórcio com o milho, porque a planta de milho absorve os principais comprimentos de onda responsáveis pela fotossíntese, permitindo a passagem de uma quantidade reduzida de comprimentos de onda fotossinteticamente ativos. Este fenômeno de sombreamento condiciona a produção de flores de feijoeiro, afetando negativamente a produção de vagens por planta e conseqüentemente a produtividade (LEGWAILA et al., 2012).

3.3. Índices de eficiência e desempenho do consórcio

Da tabela 5, verifica-se que o índice de eficiência da terra (IET) apresentou valores maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso do adubo verde como no pousio mantendo-se a vegetação espontânea, indicando eficiência de consórcio milho e feijoeiro. Neste caso, são necessários 22% e 25% a mais de área sob monocultivo dessas espécies, após AV e VE, respectivamente, para ter os mesmos rendimentos de consórcio. Áreas de menor fertilidade

tendem a apresentar maiores IETs, embora com produtividades menores das culturas, como verificado com os presentes resultados. Entretanto, mesmo com IET em AV e VE apresentando pouca diferença, o uso do adubo verde aumentou produtividades de milho solteiro e consorciado em 28% e 17%, respectivamente. Já para o feijoeiro, a adubação verde proporcionou aumentos em 52% e 71% no monocultivo e cultivo consorciado, respectivamente (Tabela 4), sugerindo que beneficiou mais o feijoeiro do que o milho quando em consórcio.

A produtividade relativa (PR) do milho foi 7% menor enquanto a PR do feijão foi 4% maior nas áreas com adubação verde, embora ambas as culturas apresentassem maiores produtividades nas áreas com adubação verde. Este resultado sugere que a AV reduziu a competição entre milho e feijão no consórcio.

Nesta pesquisa, as culturas apresentaram tempos de permanência em campo diferentes, tornando o índice de equivalência relativa de área por tempo (ERAT) mais apropriado para a análise do uso eficiente da terra, que o IET. O ERAT foi similar nas áreas após AV e VE, indicando o efeito positivo da consorciação em relação ao cultivo solteiro (Tabela 5). Isso significa que são necessários 110% e 120% a mais de área de monocultivo das espécies, após AV e VE, respectivamente, para que as culturas, com ciclos produtivos diferentes, produzam o equivalente ao rendimento em consórcio.

O ERAT considera que a cultura de ciclo mais curto - feijoeiro, possa ser cultivada mais de uma vez durante o período de permanência em campo do consórcio. Ou seja, já que o milho foi colhido aos 175 DAS e o feijoeiro aos 84 DAS, considera que o feijoeiro possa ser cultivado duas vezes com o milho, subestimando os rendimentos do consórcio devido a suposição de que o rendimento é uma função do tempo total possível de permanência das culturas no consórcio. Porém, o ERAT não considera o período de preparo, implantação e colheita das culturas, ou seja, o fator tempo em ERAT tem limitações em situações práticas da agricultura.

ERAT do milho diminui com o pré-cultivo de adubo verde. Isso se deve à redução da PR do milho com a adubação verde. ERAT do milho tende a ser maior devido ao tempo de permanência da cultura no campo que é superior em relação ao período do consórcio. ERAT do feijão aumenta com o pré-cultivo de adubo verde. Isso se deve ao aumento da PR do feijão com a adubação verde. ERAT tende a ser similar à PR nesse caso pois o tempo do feijoeiro no campo é igual ao tempo total do consórcio.

Tabela 5: Índices de avaliação do consórcio milho e feijoeiro em função de pré-cultivo com adubo verde (AV) ou vegetação espontânea (VE)

Pré-cultivo	PR		IET	PGRR			
	Milho	Feijão		Milho	Feijão		
AV	0,81	0,41	1,22	0,05	-0,38		
VE	0,88	0,37	1,25	0,15	-0,45		
Pré-cultivo	ERAT parcial		ERAT	AGR		RC	
	Milho	Feijão		Milho	Feijão	Milho	Feijão
AV	1,68	0,41	2,1	0,34	-0,34	1,69	0,59
VE	1,84	0,37	2,2	0,43	-0,43	2,08	0,48

PR – Produtividade relativa; IET – índice de eficiência da terra; PGRR – índices de perda ou ganho real de rendimento; ERAT – índice de equivalência relativa de área/tempo; AGR – índice de agressividade; RC – índice de razão competitiva.

O índice de perda ou ganho real de rendimento (PGRR) permite comparar proporcionalmente quanto cada planta produziu no consórcio em relação a cada planta no cultivo solteiro, suprimindo o efeito de diferentes populações. Neste trabalho, os resultados da PGRR indicaram, na consorciação, o milho teve um ganho real no rendimento produtivo por planta comparativamente aos cultivos solteiros, tanto após AV como em VE (Tabela 5). Esse resultado pode ser devido à menor população de milho no consórcio, onde as plantas exercem mais competição do que o feijoeiro. Os ganhos de produção por planta de milho foram menores com AV em relação à VE. Maior ganho de rendimento por planta consorciada nas áreas após VE pode ser atribuído ao aumento geral das produtividades após a adubação verde, diminuindo então os efeitos da consorciação e menores populações de milho.

Houve perda de produção por planta de feijoeiro nos consórcios, mesmo com uma população menor. Estas perdas podem estar relacionadas à competição por recursos, sugerindo que plantas de feijoeiro no sistema consorciado são menos eficientes na aquisição de recursos em relação ao milho. A maior capacidade na aquisição de recursos pelo milho está relacionada ao ser uma gramínea C4 e apresentar maior eficiência fotossintética (LEGWAILA et al., 2012), e melhor aproveitamento do uso de água. Contudo, no consórcio ocorreram maiores perdas de rendimento por planta nas áreas após VE do que após AV, indicando que a adubação verde, além de aumentar a produtividade geral, reduziu a competição entre feijoeiro e milho quando em consórcio.

A cultura do milho apresentou maior agressividade (AGR) que a cultura do feijoeiro, tanto após AV como após VE, (Tabela 5). Maior valor do AGR encontrado no milho após a VE, indica relação inversa entre a competitividade e AV, ou seja, a adubação verde reduziu a competitividade do milho sobre o feijoeiro no consórcio. O AV apresenta características nutricionais superiores em relação à VE (Tabela 3).

O índice de razão competitiva (RC) indica o número de vezes pelo qual uma cultura componente do consórcio é mais competitiva que a outra. Nesta pesquisa, foram encontrados valores de RC maiores em milho, reforçando que foi a espécie mais competitiva no consórcio. A cultura do milho foi mais competitiva que a cultura do feijoeiro, após a AV e VE, respectivamente (Tabela 5). Como observado, maior valor de RC em milho foi encontrado na área que não recebeu adubo verde crotalária, indicando maior competitividade da cultura nessa condição. Assim, a adubação verde reduz a competitividade do milho sobre o feijoeiro, como já sugerido por outros índices de avaliação dos consórcios. O maior RC obtido pelo milho em relação ao feijoeiro, deve-se à maior habilidade competitiva que essa cultura exerceu na utilização de recursos como água, luz e nutrientes, durante o consórcio.

3.4. Renda bruta

De forma geral, em termos de renda bruta, a consorciação de milho e feijão após adubação verde foi mais eficiente (Tabela 6). Neste sistema, a renda bruta foi de R\$ 10.378,65, enquanto após a vegetação espontânea a renda bruta foi de R\$ 7.950,73. Estes resultados demonstram vantagens monetárias para o produtor, pelo uso da adubação verde em cultivos consorciado. Deste modo, houve incremento bruto por hectare de 30%, correspondente a R\$ 2.407,40, no consórcio de milho e feijão após adubação verde. Ainda assim, observa-se que após vegetação espontânea, o consórcio obteve valor de renda bruta (R\$ 7.971,25) próximo às rendas brutas das culturas em cultivo solteiro após adubação verde.

Os valores obtidos para a renda bruta são coerentes com as citações de Sullivan (2001), de que o aumento da produtividade por unidade de área é uma das razões mais importantes para emprego de sistemas consorciados, porque permite melhor uso e aproveitamento da terra e de outros recursos disponíveis, resultando em maior rendimento econômico.

Tabela 6: Renda bruta estimada obtida pelas culturas de milho e feijão, em sistemas de cultivo solteiro e consorciado, após adubação verde (AV) e vegetação espontânea (VE)

Pré-cultivo	Renda bruta (R\$ ha ⁻¹)	
	MS	MC
AV	8.745,84	7.047,00
VE	6.829,92	6.022,08
	FS	FC
AV	8.039,85	3.331,65
VE	5.300,05	1.948,45

MS – cultivo de milho solteiro; MC – cultivo de milho em consórcio com feijoeiro; FS – cultivo de feijoeiro solteiro; FC – cultivo de feijoeiro em consórcio com milho.

A adubação verde com *C. retusa* incrementou a renda bruta tanto no milho como feijoeiro em cultivos solteiros, reforçando a importância da adubação no aumento da produtividade e consequente rendimentos econômico. O incremento monetário bruto por hectare de milho e feijão solteiros, após adubação verde, foram de R\$ 1.915,92 e R\$ 2.739,80, respectivamente (Tabela 6). Portanto, independentemente do sistema de cultivo utilizado, a adubação verde proporcionou incrementos monetário bruto.

4. CONCLUSÕES

O pré-cultivo de *Crotalaria retusa* L. com 11 t ha⁻¹ de matéria seca, melhora o estado nutricional das plantas em sucessão e aumenta suas respectivas produtividades em 28% e 52% para milho e feijoeiro solteiros e em 17% e 71% para milho e feijoeiro em consórcio.

O consórcio foi mais eficiente que os cultivos solteiros em termos de produtividade, com o índice de eficiência da terra apresentando valores maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso da *C. retusa* (1,22) como no pousio (1,25).

A adubação reduziu a competição entre as culturas, notadamente aquela exercida pelo milho sobre o feijoeiro.

O uso do adubo verde promoveu incremento monetário bruto de milho e feijão, sendo, por hectare, de R\$ 1.915,92 em milho solteiro, 2.739,80 em feijão solteiro e R\$ 2.407,40 no consórcio de milho e feijão.

REFERÊNCIAS

- 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. 4618-4622, 2010.
- BANIK, P. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1: 1 and 2: 1 Row-replacement series system. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 176, n. 5, p. 289-294, 1996.
- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo ¹⁵N. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAF, 1994. p.471-494.
- 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 mineralization. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 171-182, 2013.
- CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1211-1220, 2012.
- CEPEA DATA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, www.cepea.esalq.usp.br, acessado em 11/10/2021.
- 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 field soil. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 131-140, 2015.
- CHEN, Y. et al. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. **European Journal of Agronomy**, v. 62, p. 79-89, 2015.
- CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Grain nitrogen source changes over time in maize: a review. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 366-377, 2013.
- COUEDEL, A. et al. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 254, p. 50-59, 2018.
- DINIZ, E. R. et al. Doses de *Crotalaria juncea*: Efeito residual no cultivo de abobrinha e milho em seqüência ao brócolis. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 600-606, 2017.
- GEBRU, Hailu. A review on the comparative advantages of intercropping to mono-cropping system. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 5, n. 9, p. 1-13, 2015.
- GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses: apparatus, reagents, procedures, and some applications**. Washington: Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1970.

- GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.
- LEGWAILA, G. M. et al. Effects of intercropping on the performance of maize and cowpeas in Botswana. **International journal of Agriculture and Forestry**, v. 2, n. 6, p. 307-310, 2012.
- LITHOURGIDIS, A. S. et al. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian journal of crop science**, v. 5, n. 4, p. 396-410, 2011.
- MADEMBO, C.; MHLANGA, B.; THIERFELDER, C. Productivity or stability? Exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder Conservation Agriculture farmers in Zimbabwe. **Agricultural Systems**, v. 185, n. 102921, 2020.
- MAHALLATI, M. N. et al. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 343-350, 2015.
- MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, p. 659-671, 1971.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989.
- MUPANGWA, W. et al. Productivity and profitability of manual and mechanized conservation agriculture (CA) systems in Eastern Zambia. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 34, n. 5, p. 380-394, 2019.
- MUPANGWA, W. et al. Maize yields from rotation and intercropping systems with different legumes under conservation agriculture in contrasting agro-ecologies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 306, p. 107170, 2021.
- NAUDIN, C. et al. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: a new method for handling the impacts of co-products. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 80-87, 2014.
- NYAGUMBO, I. et al. Maize yield effects of conservation agriculture based maize-legume cropping systems in contrasting agro-ecologies of Malawi and Mozambique. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, n. 3, p. 275-290, 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.
- RUSINAMHODZI, L. et al. Maize-grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. **Field crops research**, v. 136, p. 12-22, 2012.
- RUSINAMHODZI, L.; MAKOKO, B.; SARIAH, J. Ratooning pigeonpea in maize-pigeonpea intercropping: productivity and seed cost reduction in eastern Tanzania. **Field Crops Research**, v. 203, p. 24-32, 2017.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

- SMITH, A. et al. Doubled-up legume rotations improve soil fertility and maintain productivity under variable conditions in maize-based cropping systems in Malawi. **Agricultural Systems**, v. 145, p. 139-149, 2016.
- STAGNARI, F. et al. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2017.
- SULLIVAN, P. Intercropping principles and production practices: Appropriate technology transfer for rural areas (ATTRA). **Fayetteville (AR): USDA Rural Business**, 2001.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- TEMESGEN, A.; FUKAI, S.; RODRIGUEZ, D. As the level of crop productivity increases: Is there a role for intercropping in smallholder agriculture. **Field Crops Research**, v. 180, p. 155-166, 2015.
- VARGAS, T. O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Scientia Horticulturae**, v. 214, p. 209-213, 2017.
- VERGÜTZ, L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de Corretivos e Adubação. In: BORÉM, A.; GALVÃO, A. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Orgs.). **MILHO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 108-136.
- VIEIRA, R. F.; LIMA, M. S.; NEVES, J. C. L.; ANDRADE, M. J. B. Adubação. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. (Orgs.). **FEIJÃO - do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p. 145-172.
- WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate change impacts on global food security. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 508-513, 2013.
- WILLEY, R.W. Intercropping - its importance and research needs. Part. 2. Agronomy and research approaches. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n. 2, p. 73-85, 1979.
- WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. **Experimental Agriculture**, v. 16, n. 2, p. 117-125, 1980.
- YANG, F. et al. Yield response to different planting geometries in maize–soybean relay strip intercropping systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 1, p. 296-304, 2015.
- ZHU, Bo et al. Nitrogen release from incorporated ¹⁵N-labelled Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) residue and its dynamics in a double rice cropping system. **Plant and soil**, v. 374, n. 1, p. 331-344, 2014.

CONCLUSÕES GERAIS

Consórcio de milho e feijoeiro foi mais eficiente em relação aos cultivos solteiros, apresentando valores de índice de eficiência da terra maiores que 1 tanto no pré-cultivo com o uso do adubo verde como no pousio mantendo-se a vegetação espontânea.

Milho foi mais competitivo que o feijoeiro, expressando maior habilidade competitiva na área sem adubação verde.

A adubação verde promoveu aumentos significativos na produtividade de milho e feijão, tanto nos cultivos solteiros como em consórcio.

Maior crescimento, acúmulo de N e de matéria seca, produção de inflorescência, foram obtidos em cultivo de brócolis na área do pré-cultivo com *C. retusa*, evidenciando o efeito residual do adubo verde.

A adubação verde promoveu incremento de 75% na produção de inflorescência de brócolis.

Maiores eficiências agrônômica e de recuperação de N do adubo verde *C. retusa* foram obtidas em brócolis cultivado em sucessão ao consórcio de milho e feijão.

ANEXO

Tabelas de análise de variância dos capítulos (ANOVA)

ANOVA do capítulo 1

Análise de variância de matéria seca da parte aérea do milho

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	190197.000000	63399.000000	0.153	0.9213
PARCELA	1	6355441.000000	6355441.000000	15.346	0.0296
erro 1	3	1242453.000000	414151.000000		
SUBPARCELA	1	23088025.000000	23088025.000000	67.004	0.0002
PARCELA*SUBPARCELA	1	221841.000000	221841.000000	0.644	0.4529
erro 2	6	2067466.000000	344577.666667		
Total corrigido	15	33165423.000000			
CV 1 (%) =		6.55			
CV 2 (%) =		5.97			
Média geral:		9828.7500000			

Análise de variância de matéria seca da parte aérea do feijoeiro

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	61192.500000	20397.500000	2.070	0.2827
PARCELA	1	4631104.000000	4631104.000000	469.932	0.0002
erro 1	3	29564.500000	9854.833333		
SUBPARCELA	1	16064064.000000	16064064.000000	1642.626	0.0000
PARCELA*SUBPARCELA	1	238144.000000	238144.000000	24.351	0.0026
erro 2	6	58677.000000	9779.500000		
Total corrigido	15	21082746.000000			
CV 1 (%) =		2.44			
CV 2 (%) =		2.43			
Média geral:		4074.0000000			

Análise de variância de produtividade do milho

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2973767.187500	991255.729167	1.938	0.3003
PARCELA	1	11585514.062500	11585514.062500	22.645	0.0176
erro 1	3	1534842.187500	511614.062500		
SUBPARCELA	1	8417251.562500	8417251.562500	67.542	0.0002
PARCELA*SUBPARCELA	1	1063476.562500	1063476.562500	8.534	0.0266
erro 2	6	747734.375000	124622.395833		
Total corrigido	15	26322585.937500			
CV 1 (%) =		8.63			
CV 2 (%) =		4.26			
Média geral:		8288.4375000			

Análise de variância de produtividade do feijoeiro

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	116650.000000	38883.333333	3.921	0.1456
PARCELA	1	2402500.000000	2402500.000000	242.269	0.0006
erro 1	3	29750.000000	9916.666667		
SUBPARCELA	1	9180900.000000	9180900.000000	567.306	0.0000
PARCELA*SUBPARCELA	1	260100.000000	260100.000000	16.072	0.0070
erro 2	6	97100.000000	16183.333333		
Total corrigido	15	12087000.000000			
CV 1 (%) =	5.69				
CV 2 (%) =	7.27				
Média geral:	1750.0000000				

ANOVA do capítulo 2

Análise de variância de matéria seca da parte aérea de brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	567972.536046	189324.178682	6.269	0.0829
PARCELA	1	1012905.485004	1012905.485004	33.538	0.0102
erro 1	3	90604.438546	30201.479515		
SUBPARCELA	2	177791.767508	88895.883754	2.001	0.1778
PARCELA*SUBPARCELA	2	272744.751258	136372.375629	3.070	0.0838
erro 2	12	533054.058033	44421.171503		
Total corrigido	23	2655073.036396			
CV 1 (%) =	11.14				
CV 2 (%) =	13.51				
Média geral:	1559.4820833				

Análise de variância de N acumulado na matéria seca de brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	131.241650	43.747217	3.156	0.1852
PARCELA	1	571.936067	571.936067	41.265	0.0076
erro 1	3	41.580000	13.860000		
SUBPARCELA	2	116.426158	58.213079	5.508	0.0201
PARCELA*SUBPARCELA	2	122.351908	61.175954	5.788	0.0174
erro 2	12	126.832000	10.569333		
Total corrigido	23	1110.367783			
CV 1 (%) =	14.62				
CV 2 (%) =	12.76				
Média geral:	25.4691667				

Análise de variância de área do dossel de brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	254.151090	84.717030	8.788	0.0537
PARCELA	1	281.107038	281.107038	29.160	0.0124
erro 1	3	28.920882	9.640294		
SUBPARCELA	2	93.547075	46.773537	2.819	0.0992
PARCELA*SUBPARCELA	2	14.604015	7.302007	0.440	0.6540
erro 2	12	199.123698	16.593641		
Total corrigido	23	871.453798			
CV 1 (%) =	11.66				
CV 2 (%) =	15.30				
Média geral:	26.6190625				

Análise de variância de fotossíntese em brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	156.163083	52.054361	6.046	0.0868
PARCELA	1	19.801667	19.801667	2.300	0.2266
erro 1	3	25.829233	8.609744		
SUBPARCELA	2	0.007758	0.003879	0.003	0.9975
PARCELA*SUBPARCELA	2	1.196558	0.598279	0.391	0.6845
erro 2	12	18.347083	1.528924		
Total corrigido	23	221.345383			
CV 1 (%) =	9.92				
CV 2 (%) =	4.18				
Média geral:	29.5741667				

Análise de variância de condutância estomática em brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	0.021246	0.007082	0.364	0.7858
PARCELA	1	0.000004	0.000004	0.000	0.9892
erro 1	3	0.058379	0.019460		
SUBPARCELA	2	0.002858	0.001429	0.403	0.6773
PARCELA*SUBPARCELA	2	0.017408	0.008704	2.452	0.1280
erro 2	12	0.042600	0.003550		
Total corrigido	23	0.142496			
CV 1 (%) =	32.47				
CV 2 (%) =	13.87				
Média geral:	0.4295833				

Análise de variância de concentração interna de CO₂ em brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	3357.897767	1119.299256	0.450	0.7356
PARCELA	1	450.320067	450.320067	0.181	0.6992
erro 1	3	7463.137833	2487.712611		
SUBPARCELA	2	1121.591108	560.795554	0.531	0.6015
PARCELA*SUBPARCELA	2	4132.104408	2066.052204	1.955	0.1842
erro 2	12	12684.600950	1057.050079		
Total corrigido	23	29209.652133			
CV 1 (%) =	18.07				
CV 2 (%) =	11.78				
Média geral:	276.0266667				

Análise de variância de diâmetro da inflorescência de brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	22.453125	7.484375	1.668	0.3423
PARCELA	1	46.760417	46.760417	10.419	0.0483
erro 1	3	13.463542	4.487847		
SUBPARCELA	2	1.524740	0.762370	0.284	0.7578
PARCELA*SUBPARCELA	2	2.212240	1.106120	0.412	0.6715
erro 2	12	32.231771	2.685981		
Total corrigido	23	118.645833			
CV 1 (%) =	22.70				
CV 2 (%) =	17.56				
Média geral:	9.3333333				

Análise de variância de produção da inflorescência de brócolis

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	34840.885417	11613.628472	7.162	0.0700
PARCELA	1	39812.760417	39812.760417	24.551	0.0158
erro 1	3	4864.843750	1621.614583		
SUBPARCELA	2	2687.109375	1343.554688	0.794	0.4745
PARCELA*SUBPARCELA	2	2247.786458	1123.893229	0.664	0.5327
erro 2	12	20309.895833	1692.491319		
Total corrigido	23	104763.281250			
CV 1 (%) =	26.90				
CV 2 (%) =	27.48				
Média geral:	149.6875000				

ANOVA do capítulo 3

Análise de variância de N acumulado na matéria seca do milho

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	722.101850	240.700617	0.566	0.6741
PARCELA	1	11614.372900	11614.372900	27.317	0.0136
erro 1	3	1275.528850	425.176283		
SUBPARCELA	1	10041.042025	10041.042025	18.610	0.0050
PARCELA*SUBPARCELA	1	415.140625	415.140625	0.769	0.4141
erro 2	6	3237.322550	539.553758		
Total corrigido	15	27305.508800			
CV 1 (%) =		8.24			
CV 2 (%) =		9.28			
Média geral:		250.3600000			

Análise de variância de N acumulado na matéria seca do feijoeiro

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	314.316850	104.772283	2.516	0.2342
PARCELA	1	18854.036100	18854.036100	452.796	0.0002
erro 1	3	124.917350	41.639117		
SUBPARCELA	1	16286.864400	16286.864400	88.626	0.0001
PARCELA*SUBPARCELA	1	974.064100	974.064100	5.300	0.0609
erro 2	6	1102.623100	183.770517		
Total corrigido	15	37656.821900			
CV 1 (%) =		4.90			
CV 2 (%) =		10.29			
Média geral:		131.7725000			