

Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças

Contribution of green fertilization to the chemical, physical and biological characteristics of the soil and its influence on the nutrition of vegetables

Contribución de la fertilización verde a las características químicas, físicas y biológicas del suelo y su influencia en la nutrición de las hortalizas

Recebido: 20/05/2021 | Revisado: 31/05/2021 | Aceito: 01/06/2021 | Publicado: 14/06/2021

Mikaela de Oliveira Abranches

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8280-8593>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: mikaela.abranches@ufv.br

Guilherme Augusto Mendes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-2511>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: guilherme.silva15@estudante.ufla.br

Leônidas Canuto dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0385-4736>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: leonidas.santos1@estudante.ufla.br

Luanna Fernandes Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3197-1091>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: luanna.gbi@hotmail.com

Gilberto Bernardo de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9024-599X>
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
E-mail: bernardo@ufv.br

Resumo

A adubação verde é uma técnica milenar onde se faz o cultivo de plantas especialmente destinadas à melhoria dos parâmetros físicos, químicos e/ou biológicos do solo. Tais plantas devem apresentar características relevantes como a alta produção de biomassa, facilidade de cultivo, rusticidade, além da capacidade de fixação biológica do nitrogênio associada às plantas da família Fabaceae, sendo esta amplamente explorada. Diante disso, a presente revisão de literatura teve por objetivo levantar e reunir informações relacionadas à adubação verde e seus efeitos sobre as características do solo, influenciando a nutrição de hortaliças. Algumas das vantagens mais pronunciadas da técnica são manutenção do solo coberto, o que minimiza as perdas por erosão, e a disponibilização de nutrientes que poderão ser absorvidos pelas culturas econômicas. Além disso, foi possível identificar que grande parte dos estudos datam da década passada, sendo poucos os publicados nos últimos anos. A tendência percebida é de crescimento e ganho de espaço, devido à consolidação de benefícios e mudança do ponto de vista tanto dos agricultores quanto dos consumidores, que anseiam pelo consumo de alimentos produzidos de forma sustentável.

Palavras-chave: Plantas de cobertura; Adubação de hortaliças; Fixação biológica de nitrogênio.

Abstract

Green manure is an ancient technique where the cultivation of plants specially designed to improve the physical, chemical and/or biological parameters of the soil is carried out. Such plants must have relevant characteristics such as high biomass production, ease of cultivation, rusticity, in addition to the biological nitrogen fixation capacity associated with plants of the Fabaceae family, which is widely explored. Therefore, the present literature review aimed to collect and gather information related to green manure and its effects on soil characteristics, influencing the nutrition of vegetables. Some of the most pronounced advantages of the technique are the maintenance of covered soil, which minimizes losses due to erosion, and the availability of nutrients that can be absorbed by economic crops. In addition, it was possible to identify that most studies date from the past decade, with few being published in recent years. The perceived tendency is for growth and space gain, due to the consolidation of benefits and change in the point of view of both farmers and consumers, who yearn for the consumption of food produced in a sustainable way.

Keywords: Cover crops; Fertilization of vegetables; Biological nitrogen fixation.

Resumen

El abono verde es una técnica milenaria donde se lleva a cabo el cultivo de plantas especialmente diseñadas para mejorar los parámetros físicos, químicos y/o biológicos del suelo. Dichas plantas deben tener características relevantes como alta producción de biomasa, facilidad de cultivo, rusticidad, además de la capacidad biológica de fijación de nitrógeno asociada a plantas de la familia Fabaceae, la cual está ampliamente explorada. Por lo tanto, la presente revisión de la literatura tuvo como objetivo recopilar y recopilar información relacionada con el abono verde y sus efectos sobre las características del suelo, que influyen en la nutrición de los vegetales. Algunas de las ventajas más destacadas de la técnica son el mantenimiento del suelo cubierto, que minimiza las pérdidas por erosión, y la disponibilidad de nutrientes que pueden ser absorbidos por cultivos económicos. Además, se pudo identificar que la mayoría de los estudios datan de la última década, siendo pocos los publicados en los últimos años. La tendencia percibida es de crecimiento y ganancia de espacio, debido a la consolidación de beneficios y al cambio en el punto de vista tanto de los agricultores como de los consumidores, que anhelan el consumo de alimentos producidos de forma sostenible.

Palabras clave: Plantas de cobertura; Fertilización de hortalizas; Fijación biológica de nitrógeno.

1. Introdução

Durante as últimas décadas as formas de produção de alimentos baseadas na Agroecologia ganharam atenção. Essa ciência busca estabelecer as bases teóricas e científicas para os diversos movimentos da agricultura alternativa, buscando conhecer e entender os agroecossistemas com toda sua complexidade e as particularidades inerentes a cada um (Rosset et al., 2014). Além disso, trabalha para o desenvolvimento e conhecimento de formas de manejo que melhorem a qualidade do solo para produzir plantas saudáveis e tornar equilibrado o sistema (Altieri, 2010).

Na agricultura convencional tem-se lançado mão do uso indiscriminado de substâncias químicas, principalmente os fertilizantes solúveis, que podem sofrer com o processo de lixiviação, resultando em redução de eficiência e perda de dinheiro pelo agricultor. Segundo a Anda (2020), durante o ano de 2019, o Brasil consumiu mais de 36 milhões de toneladas de fertilizantes formulados, sendo que destes cerca de 81% foi proveniente de importação, o que demonstra a dependência de outros países como fornecedores de insumos e o grande consumo desses pelos produtores rurais brasileiros.

Este cenário é ainda mais visível e preocupante nos sistemas de produção de hortaliças, onde o solo é extremamente trabalhado durante todo o ano, em decorrência do ciclo curto das culturas, e da grande quantidade de fertilizantes demandada por essas plantas. As adubações são feitas na camada superficial do solo, a cada novo ciclo de cultivo, o que favorece o acúmulo de nutrientes nessa camada atingindo teores superiores aos extraídos pelas culturas, causando excesso na zona de crescimento radicular e trazendo prejuízo ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Andriolo, 2017).

Após a Revolução Verde o uso de adubos verdes e esterco em geral foi substituído pelos adubos solúveis, que na época foram considerados como a solução dos problemas de crescimento e desenvolvimento das plantas, o que permitiu aumento na produção de alimentos no Brasil. Entretanto, a situação saiu do controle e acabou por resultar na contaminação de recursos hídricos e na degradação dos solos antes saudáveis.

De acordo com Serra et al. (2016) a Revolução Verde foi um movimento da agricultura baseado no uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, buscando alcançar elevadas produtividades. Ainda segundo os autores, essas substâncias causam uma série de malefícios mesmo considerando seus benefícios já conhecidos, agem de forma complexa podendo sofrer transformações e danos como lixiviação, erosão, contaminação dos mananciais, entre outros. Isso contribui e culmina no esgotamento do solo tornando ainda mais necessário o uso de técnicas de manejo que visem a conservação do solo e da água.

Diante disso, a adubação verde ressurge como uma importante prática não só para a conservação, mas também para a recuperação do solo, além de contribuir com a nutrição das plantas que se beneficiam dela. É uma ferramenta relativamente simples, usada desde há muitos anos, que por um tempo ficou esquecida, mas que retorna à agricultura atual com seus benefícios consolidados, trabalhando para o manejo do solo como um sistema vivo e dinâmico. Assim, o objetivo do presente

trabalho é levantar e reunir informações acerca da adubação verde, buscando conhecer seus efeitos sobre as propriedades do solo e sua contribuição para as culturas econômicas.

2. Metodologia

O presente texto refere-se à uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo (Pereira et al., 2018) que tem como tema o uso da adubação verde com vistas a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo, e a contribuição desta melhoria para a nutrição de hortaliças. Foi redigido com base em trabalhos nacionais e internacionais, buscando conhecer como tem sido realizado os estudos, com qual foco e perspectiva. Para a busca de dados foram usadas algumas palavras-chave como green manures, cover crop, fertilization vegetables e suas respectivas traduções para a língua portuguesa, inseridas nas bases indexadoras: Web of Science, Science Direct, Google Scholar e Scielo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Adubação Verde e Agricultura

A agricultura alternativa ou também chamada de agricultura ecológica e agricultura verde surgiu, como o próprio nome diz, como uma alternativa às formas convencionais de produção agrícola. Segundo Silva et al. (2019), ela busca o equilíbrio ecológico na lavoura e entre os ciclos e interações biológicas, respeitando o ambiente, a saúde humana, além de buscar solucionar a causa dos problemas e não os sintomas por eles causados, para a produção de alimentos de qualidade.

A adubação verde contribui para tal feito, visto que consiste no cultivo de plantas com características específicas que, de forma geral, servirão como adubo para culturas de escala comercial e como proteção do solo contra as intempéries. Tais características podem ser descritas como o acúmulo de nutrientes em seus tecidos, principalmente nitrogênio, a produção de grande quantidade de biomassa, a fixação biológica de nitrogênio nas espécies leguminosas, a eficiência de cobertura do solo, entre outras.

A adubação verde tem sido abordada como uma prática agrícola de conservação do solo, sendo conhecida e aplicada aos sistemas agrícolas desde tempos anteriores à Era Cristã, com objetivo de melhorar as condições físicas e químicas de solos pobres de natureza e conservar a qualidade daqueles que são produtivos (Wildner, 2014).

Para as condições do cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha, Teodoro et al. (2011) estudaram o comportamento e desenvolvimento de diferentes adubos verdes (mucuna-cinza, mucuna preta, lab-lab, feijão de porco, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e guandu-anão) buscando conhecer seu ciclo em dias até o florescimento, a taxa de cobertura do solo, o potencial de deposição de folhas, o fornecimento de macronutrientes, entre outras características. Com relação à ciclagem e disponibilização de nutrientes, destaca-se a mucuna cinza por acumular 33,9 kg ha⁻¹ de nitrogênio aos 90 dias após a semeadura e 1,65 kg ha⁻¹ de fósforo no mesmo período, diferindo significativamente das outras espécies. Quanto aos nutrientes potássio, cálcio e magnésio o lab-lab disponibilizou 15,4, 19,7 e 15,4 kg ha⁻¹, respectivamente, ilustrando a possibilidade das duas espécies em serem empregadas no manejo nutricional de culturas econômicas.

Quanto a eficiência de cobertura do solo e supressão de plantas espontâneas, Cantanhede et al. (2018) trabalharam com quatro espécies de adubos verdes, sendo estas a mucuna-preta, mucuna-anã, feijão-de-porco e calogopônio, e avaliaram sua capacidade de competição com plantas daninhas. A primeira avaliação ocorreu aos 15 dias após a emergência das leguminosas e, nesta, a mucuna-anã e mucuna-preta já haviam coberto 52,83 e 44,33% do solo, respectivamente, atentando a possibilidade do seu uso nas entrelinhas de culturas em que são adotados espaçamentos maiores, como forma de supressão das plantas espontâneas e, também, no momento após a colheita de grãos, por exemplo, onde o solo fica descoberto e exposto a processos erosivos que podem vir a ser prevenidos pela implantação das duas espécies. Aos 60 dias após a emergência, além

das duas espécies já citadas o feijão-de-porco também já cobria mais de 90% do solo, mostrando a eficiência de tais plantas para cobertura do mesmo e consequente supressão de plantas espontâneas.

Diante do conhecimento das vantagens oferecidas pelo uso da adubação verde, Ambrosano et al. (2016) realizaram experimento buscando conhecer os teores de nutrientes e a transferência de nitrogênio no cultivo de tomate orgânico consorciado com adubo verde. As plantas foram marcadas pelo método da abundância natural de ^{15}N e, por isso, foi possível constatar que 21,15% do nitrogênio presente nas folhas do tomateiro foi proveniente dos adubos verdes (feijão-de-porco, feijão-mungo e *Crotalaria juncea*) destacando a importância de tais plantas para redução no uso de fertilizantes nitrogenados solúveis que, muitas vezes, oneram os custos de produção além de serem fabricados por métodos que utilizam de fontes de energia não-renováveis o que torna o processo caro e insustentável.

Plantas de *Crotalaria juncea* tem sido amplamente utilizadas como adubo verde na região do Cerrado, devido sua alta produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes (Costa et al., 2012; Soratto et al., 2012). Desta forma, Silva et al. (2017) estudaram o acúmulo de macro e micronutrientes e a massa seca produzida por este adubo verde cultivado em solo de Cerrado. A produção de matéria seca no primeiro ano de experimento foi de 19,72% o que indica que a crotalaria se desenvolve bem mesmo em solos ácidos (pH 5,1 no experimento) e pobre em nutrientes como acontece no Cerrado.

Além disso, os autores determinaram, por meio de análise foliar, os teores de nutrientes nas plantas de crotalaria. Tiveram como resultado, no primeiro ano de experimento, uma quantidade de 19,65 g kg⁻¹ de N; 3,36 g kg⁻¹ de P; 20,08 g kg⁻¹ de K; 6,83 g kg⁻¹ de Ca; 3,50 g kg⁻¹ de Mg e 2,83 g kg⁻¹ de S, além dos micronutrientes com 33,33 mg kg⁻¹ de Cu; 946,67 mg kg⁻¹ de Fe; 75,01 mg kg⁻¹ de Mn e 32,00 mg kg⁻¹ de Zn. Considerando os macronutrientes primários nitrogênio, fósforo e potássio, e a conversão dos valores acima citados para disponibilização do nutriente em quilos por hectare (kg ha⁻¹) em função da quantidade de matéria seca produzida pelo adubo verde, tem-se 387,49 kg ha⁻¹ de N, 151,78 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 480,59 kg ha⁻¹ de K₂O. Tais valores suprem a demanda total de N e K, e parcial de P, em algumas hortaliças, a exemplo da abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) (Trani, Passos & Araújo, 2014), alface (*Lactuca sativa*) (Trani et al., 2014) e do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*).

O emprego das culturas de cobertura, outra denominação para adubos verdes, é realizado com o objetivo de obter serviços agrônômicos e ecológicos (Elhakeem et al., 2019) que possibilitam a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (Devincentins et al., 2020). Normalmente os benefícios da utilização dos adubos verdes devem ser considerados em longo prazo, em decorrência destes compõem a matéria orgânica do solo, e esta pode estar em diferentes estágios de decomposição, assim os nutrientes minerais se dividem em parte imobilizada, não estando disponíveis para a absorção pelas plantas, e em parte mineralizada, prontamente acessível às plantas. Tal sistema é dinâmico e muda a todo tempo, explicando a necessidade de período maior de avaliação.

Vargas et al. (2011), estudando o efeito da adubação verde com crotalaria e feijão-de-porco sob a nutrição de plantas de repolho, puderam observar o efeito residual promovido pelos adubos. No segundo cultivo da hortaliça, plantas que receberam tratamento com adubação verde apresentaram produtividade superior àquelas que receberam adubação química com nitrogênio, mostrando que o efeito da adubação verde é positivo, também, ao longo dos cultivos subsequentes, em detrimento à adubação inteiramente química, cujos benefícios, na maior parte das vezes, se restringem ao primeiro cultivo, principalmente em solos mais arenosos com menor teor de matéria orgânica e argila.

Como as olerícolas são plantas de ciclo curto, o nitrogênio proveniente dos adubos verdes geralmente não é utilizado em um único ciclo, podendo este ficar retido na matéria orgânica do solo e à outra parte no material vegetal ainda não decomposto, até que ocorra a completa decomposição (Sediyama; Santos; Lima, 2014). Dessa forma, o uso da adubação verde é uma ferramenta importante e sustentável, que contribuirá para a incorporação de nutrientes e matéria orgânica ao solo, para a

manutenção da umidade do mesmo, além de formar uma barreira contra o crescimento de plantas espontâneas o que resultará em redução da necessidade de mão-de-obra com capinas (Castro & Devide, 2018).

No Brasil, plantas da família Fabaceae têm sido as mais empregadas na adubação verde. Entretanto, muitos trabalhos, principalmente no semiárido nordestino, têm voltado as atenções para plantas espontâneas ou exóticas, que apresentam alto potencial de produção de biomassa e dessa forma chamam atenção para seu fim útil (Morais et al., 2018).

Para ilustrar o potencial de tais plantas, Ramalho et al. (2016) realizaram um trabalho com três espécies espontâneas comumente encontradas na região da Caatinga: a jitrana (*Merremia aegyptia*), o mata-pasto (*Senna uniflora*) e a flor-de-seda (*Calotropis procera*). Os benefícios foram avaliados por meio do efeito residual da adubação verde na cultura do rabanete, refletidos em maior altura de planta (média de 9,9 cm planta⁻¹ na quantidade de 30 t ha⁻¹, acréscimo médio de 8,1 cm entre a maior e menor quantidade de adubo verde aplicado), maior número de folhas por planta (média de 7 folhas planta⁻¹ na quantidade de 30 t ha⁻¹) e aumento na produtividade média de raízes (1,5 kg m⁻² de canteiro na quantidade de 27,6 t ha⁻¹, valor superior ao encontrado por Linhares et al. (2010) que chegaram a uma produção média de 0,959 kg m⁻² de canteiro).

3.1.1 Formas de Cultivo

O cultivo dos adubos verdes pode ocorrer na mesma área de plantio da cultura econômica ou em área adjacente. No caso de ocorrer na mesma área, poderá ser estabelecido o sistema de consórcio ou a produção das plantas anteriormente ao plantio da cultura principal, podendo ser realizada a incorporação ou ceifa do material vegetal que será mantido sob o solo. Quando o cultivo dos adubos acontece em áreas adjacentes, existe a necessidade de se realizar o corte das plantas e o transporte para a área de produção comercial, demandando mão-de-obra.

Apesar do grande número de benefícios promovidos pela adubação verde, ainda é possível perceber resistência por parte dos produtores rurais em adotar a prática, pois, segundo eles, as plantas usadas como adubo verde não trarão benefícios econômicos diretos e imediatos além de demandarem cuidado semelhante à outra cultura econômica (Tivelli et al., 2013).

Muitos trabalhos (Oliveira et al., 2006; Tivelli et al., 2013; Oliveira et al., 2004) têm sido realizados com o uso da adubação verde na forma de consórcio ou aléias para que os pequenos agricultores e/ou agricultores familiares possam incorporar a prática da adubação verde em seu sistema de manejo, quando a rotação com adubos verdes não for viável, além de buscar conhecer quais combinações de plantas são sinérgicas de modo que não haja prejuízo para a cultura comercial, fonte de renda do produtor.

Um exemplo de trabalho como esse foi o realizado por Medeiros et al. (2019), quando avaliaram o consórcio entre caupi-hortaliça e beterraba cultivados sob diferentes quantidades de flor-de-seda incorporadas ao solo. Segundo os autores, houve aumento no peso de 100 grãos e número de grãos por vagem de caupi-hortaliça tratado com 47,53 e 46,49 t ha⁻¹ de flor-de-seda, respectivamente. Tal resultado foi atribuído à sincronia entre a mineralização de nutrientes do adubo verde e a demanda pela cultura. Quanto a produtividade comercial, atingiu-se um valor de 18,59 t ha⁻¹ na quantidade de 55 t ha⁻¹ de flor-de-seda, valor dentro do intervalo sugerido por Tivelli et al. (2010) mas próximo ao limite inferior. Segundo os autores, o resultado pode estar relacionado a uma competição interespecífica entre as duas culturas no período de maior demanda de nutrientes, principalmente por potássio, elemento importante no metabolismo das hortaliças.

Além disso, Medeiros et al. (2019) concluíram que o consórcio caupi-hortaliça/beterraba oferece vantagem econômica e agrônômica, ilustrado pelo valor máximo da variável uso eficiente da terra (UET) de 1,24 na quantidade de 55 t ha⁻¹ de flor-de-seda. Valores acima de 1 indicam eficiência no consórcio e permitem inferir que as culturas se complementam e aproveitam melhor os recursos disponíveis em sistemas de consórcio.

Diante disso, cresce a necessidade da geração de conhecimento científico acerca da adubação verde e das plantas

usadas para esse fim, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura. Além disso, estudos voltados para a rentabilidade e formas otimizadas de uso dos adubos verdes também devem ser considerados.

Dessa forma, Souza et al. (2015) buscaram estudar a rentabilidade da cultura da rúcula sob fertilização com flor-de-seda, em duas épocas de cultivo (primavera/verão e outono), na região de Serra Talhada no Pernambuco. Com o trabalho os autores puderam observar que a produtividade de rúcula aumenta à medida que se aumenta a quantidade de adubo verde aplicada, sendo alcançado, no período do outono, a produtividade de 36,79 t ha⁻¹ quando da incorporação de 15,6 t ha⁻¹ de flor-de-seda, 20 dias antes do plantio da rúcula. Já no período da primavera/verão, a produtividade alcançada foi de 35,12 e 36,79 t ha⁻¹ de rúcula sob aplicação de 12,2 e 15,6 t ha⁻¹ do adubo verde, respectivamente. Quanto a renda líquida obtida com os cultivos, no período da primavera/verão alcançou-se acima de R\$ 44,5 mil em função da incorporação do adubo 20 dias antes do plantio da cultura comercial, na dose de 12,2 e 15,6 t ha⁻¹, enquanto que no período de outono foi possível obter renda líquida mais elevada, chegando a R\$ 59 mil por hectare. Tal renda foi compatível com o capital investido (R\$ 5.630,58 na primavera/verão e R\$ 6.347,60 no outono) e existe a possibilidade de maior redução dos custos pelo uso da mecanização, visto que no experimento os tratos culturais foram realizados de forma manual e o custo da adubação verde foi menor ou igual ao custo com agrotóxicos que não foram utilizados durante o cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2015) que utilizaram quantidades de flor-de-seda e tempos de incorporação semelhantes, porém aplicados à cultura do rabanete, onde puderam definir o tempo de 22 dias antes do plantio para incorporação do adubo como o mais viável e a renda líquida de mais de R\$ 34 mil condizente com o investimento inicial.

O resultado do experimento demonstra a viabilidade econômica na adoção da adubação verde como ferramenta para adubação de hortaliças, principalmente quando as espécies utilizadas como adubo são de fácil aquisição e preparo, o que otimiza seu uso pelos produtores rurais que buscam alternativas para o manejo da nutrição das culturas em sistema agroecológico e orgânico. Entretanto, algumas plantas, a exemplo da flor-de-seda, são típicas de determinado bioma ou região, sendo assim pertinente a inclusão nos custos de produção o valor do possível transporte até o local de utilização ou a estimativa de um valor de compra.

Para a cultura da cana-de-açúcar cultivada na região de Piracicaba (SP) foi avaliado por Torquato et al. (2015) o potencial econômico do uso da *Crotalaria juncea* e do sulfato de amônio como ferramentas de adubação para a cultura. A crotalária foi manejada aos 90 dias de crescimento e mantida sobre o solo 3 meses antes do plantio da cana. Os tratamentos consistiram de quatro sistemas de produção: um com somente uso de adubação mineral na forma de sulfato de amônio, um com somente o uso de crotalária, um sistema com a combinação das duas fontes de nutrientes e um sistema controle sem qualquer tipo de adubação. Resultado interessante foi obtido no curto prazo, quando realizou-se a análise química do solo na ocasião do corte da crotalária e foi observado aumento no pH (de 4,1 para 4,5 na camada de 0 – 20 cm e de 4,0 para 4,7 na camada de 20 – 40 cm), redução da acidez potencial (de 50 para 36 mmolc dm⁻³ na camada de 0 – 20 cm e de 68 para 31 mmolc dm⁻³ na camada de 0 – 40 cm), além de aumento nos teores de Ca, Mg e saturação de bases. Dentre os sistemas de produção testados, aquele com o uso conjunto da adubação mineral e adubação verde se mostrou como o mais rentável, por propiciar maior produtividade atingindo 258,18 t ha⁻¹ quando o sistema controle apresentou produtividade de 194,17 t ha⁻¹, o que resultou em maior renda bruta e líquida. Ponto importante a ser mencionado quanto ao experimento consiste nos custos de produção que incluíram o valor das sementes de crotalária, diferente do trabalho anteriormente citado, tornando mais real o valor do custo e, conseqüentemente, da renda obtida com o cultivo.

3.2 Efeitos da Adubação Verde

Muitos são os efeitos gerados pelos adubos verdes sobre o sistema agrícola de forma geral, desde a supressão de

plantas invasoras, conforme relatado por Tivelli et al. (2013) até a contribuição positiva no metabolismo microbiano no solo, constatado por Zhou et al. (2019).

Segundo Sagrilo et al. (2009) os efeitos mais pronunciados da adubação verde com relação à elevação da qualidade do solo deve-se à sua capacidade de aumentar o conteúdo de matéria orgânica, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e da liberação de nutrientes, a formação de ácidos orgânicos que são importantes para o incremento dos nutrientes minerais na solução do solo, a complexação do alumínio trocável e o melhor aproveitamento dos nutrientes que se encontram mobilizados ou que foram lixiviados ficando, assim, não acessíveis ao uso pelas culturas.

Entretanto, a adubação verde vem sendo amplamente usada apenas com a finalidade de incorporar nitrogênio ao sistema produtivo, ou seja, como um adubo nitrogenado e como estímulo para a microvida do solo, sendo raramente usada com o objetivo de aumentar a matéria orgânica decomposta (húmus) no sistema produtivo, apesar de grandes efeitos desse material já terem sido elucidados (Primavesi & Primavesi, 2018).

As plantas de cobertura podem atuar, também, na redução da variação na temperatura do solo, principalmente no período do verão. Segundo Melo, Madeira & Peixoto (2010) solos cultivados com plantas de cobertura têm sua temperatura de superfície reduzida em 2°C a 2,3°C, redução de 1,6°C a 2°C na profundidade de 5 cm e 1,3°C na profundidade de 10 cm em comparação com cultivo convencional, ou seja, sem cobertura do solo. Temperaturas mais baixas próximo ao colete e em maior profundidade contribuem para o melhor crescimento e desenvolvimento das culturas, o que poderá trazer acréscimo em produção.

Silva et al. (2020), buscando conhecer o efeito da adubação verde na qualidade nutricional do milho (*Zea mays* L.), trabalharam com três espécies de leguminosas, sendo elas crotalária (*Crotalaria juncea* L.), feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp) e feijão guandu-anão (*Cajanus cajan* L. Mill) em diversas doses aplicadas ao solo anteriormente ao cultivo da gramínea, além de tratamentos com composto orgânico e adubação mineral convencional. Dos adubos verdes merece destaque o feijão macassar que proporcionou grãos com 11,02% de proteína, 9,04% de lipídeos e com valor energético de 4.351,04 Kcal kg⁻¹, enquanto que plantas tratadas apenas com adubo mineral produziram grãos com 7,59% de proteína, 6,59% de lipídeos e 4.252,34 Kcal por quilo de grãos de milho. Tal resultado evidencia que os benefícios da adubação verde não são restritos ao solo ou a nutrição de plantas, mas que vão além, contribuindo para a melhoria da qualidade do produto final, no caso para os grãos de milho.

Quanto a persistência e liberação de nutrientes pela fitomassa de *Crotalaria juncea* L., foi desenvolvido um experimento por Costa et al. (2012), que permitiu o conhecimento da escala de liberação e disponibilização de nutrientes por parte do adubo verde. Segundo eles, aos 75 DAE a produção de fitomassa seca era na ordem de 8.040 kg ha⁻¹ com uma taxa de decomposição diária de 34 kg ha⁻¹. Tais resultados foram obtidos e embasados na relação C/N, C/P, C/S e C/Si, que, excetuando a relação C/Si, aumentam com a decomposição da palhada devido a liberação dos nutrientes, o que não acontece para o Si, que pode estar associado a estruturas de difícil degradação. A liberação de macronutrientes após 18 dias do manejo do adubo verde estava na taxa de 3,18; 0,31; 3,65; 1,65; 0,31 e 0,19 kg ha⁻¹ dia⁻¹, para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Quanto ao Si, os autores registram liberação média de 0,22 kg ha⁻¹ dia⁻¹ durante todo o período de avaliação que consistiu de 0 a 90 dias após o manejo do adubo verde. Tais dados são de suma importância pois auxiliam no planejamento e sincronização da demanda de nutrientes pela cultura econômica e a disponibilização pela crotalária, para que o uso da adubação verde seja feito de forma acertada e seus resultados potencializados.

Diante dos vários benefícios promovidos pela adubação verde, Pantaleão et al. (2012) realizaram experimento utilizando adubos verdes para avaliar a possibilidade de supressão de plantas daninhas. Os tratamentos consistiam na utilização de quatro adubos verdes: calopogônio, crotalária, milheto, mucuna preta e o tratamento controle que permaneceu em pousio.

Na ocasião o milheto foi o adubo verde que apresentou a maior fitomassa verde e seca, 58,4 t ha⁻¹ e 17,4 t ha⁻¹, respectivamente. Em relação ao número total de plantas daninhas presentes, a mucuna preta apresentou o melhor desempenho, cerca de 65 plantas, seguida pelo milheto com 185 plantas, enquanto a testemunha, ao final do experimento, possibilitou o crescimento de 93.616 plantas daninhas. Os bons resultados obtidos com a mucuna preta ocorrem devido a sua grande produção de massa verde (53 t ha⁻¹ em 93 dias) que favorece seu destaque na competição com as plantas invasoras, principalmente por luminosidade. Os resultados atentam para se uso tanto em consórcios, quanto em períodos de entressafra, pois além de dificultar a emergência e crescimento das plantas invasoras, devido a ampla cobertura do solo, atua também na proteção deste contra processos erosivos, sobretudo aqueles causados pelo impacto da gota d'água.

Para as condições de Latossolo-Amarelo Distrófico em Goiás, Guimarães et al. (2019) avaliaram o desenvolvimento inicial da cultura da mangabeira, consorciada com adubos verdes. Após 15 dias do plantio das mudas de *H. speciosa* os adubos verdes foram semeados em sulcos manualmente, sendo eles crotalária juncea, mucuna preta, feijão-guandu e feijão de porco. Os adubos verdes foram incorporados ao solo quando apresentaram 50% de floração. Para crotalária, mucuna e feijão de porco a incorporação ocorreu aos 90 dias após a semeadura, já para o feijão-guandu aos 120 dias. Mediante avaliações no final do experimento, foi possível observar que a média de incremento em altura durante o período da experimentação foi de 6,47 centímetros no tratamento com feijão-guandu, valor aproximadamente 40% superior à altura obtida com o tratamento controle. Quanto ao diâmetro das mudas, o tratamento com feijão de porco proporcionou o melhor desempenho, com 0,94 centímetros de incremento médio, enquanto a testemunha permaneceu com 0,54 centímetros. Os resultados destacam mais um dos efeitos benéficos da adubação verde, possibilitando a formação de mudas mais vigorosas, principalmente pelo fato dos adubos realizarem a fixação biológica do nitrogênio, enriquecendo o solo com tal nutriente que será assimilado pela planta e inserido no seu metabolismo.

3.3 Influência da Adubação Verde nas Características Químicas, Físicas e Biológicas do Solo

3.3.1 Características Químicas

A grande parte das espécies de plantas usadas como adubo verde se encontram dentro de três famílias básicas, sendo elas a família Fabaceae, que é composta pelas plantas popularmente chamadas de leguminosas; a família Brassicaceae, tida como a família da couve, repolho, couve-flor, entre outras; e a família Poaceae, que é constituída pelas gramíneas (Elhakeem et al., 2019). Nos sistemas de produção brasileiros, plantas da família das leguminosas são as mais utilizadas para adubação verde (Morais et al., 2018) devido a sua capacidade de fixar o nitrogênio presente no ar (N₂) em seus tecidos, que posteriormente retornarão ao solo como uma fonte desse nutriente para as culturas econômicas, reduzindo assim os custos de produção (oliveira et al., 2004) e contribuindo para a agricultura sustentável.

Dessa forma, torna-se importante o estudo das plantas leguminosas, inclusive segregando-as em partes (raiz e parte aérea) buscando conhecer de forma minuciosa seu manejo e efeitos na produção de alimentos, além da geração de conhecimento científico para a prática da adubação verde como um todo (Vargas et al., 2011).

Oliveira et al. (2006) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar o crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de guandu sob sistema orgânico de produção. Suas avaliações possibilitaram inferir que mediante a poda do guandu, houve um aporte de 159 kg ha⁻¹ de nitrogênio ao solo, e que, cerca de 45% desse valor foi oriundo na fixação biológica, evidenciando a importância do processo para a agricultura além da capacidade das plantas de guandu em contribuir com a fertilidade do solo. Não obstante, foi avaliado ainda a contribuição do material proveniente da poda do guandu para o incremento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no sistema, chegando à conclusão de que foram disponibilizados, em média, 20 kg ha⁻¹ de P, 136 kg ha⁻¹ de K, 6 kg ha⁻¹ de Ca e 16 kg ha⁻¹ de Mg, além da incorporação de 6,58 t ha⁻¹ de matéria

orgânica ao solo (Oliveira et al., 2006). No experimento, a produção de inhame não foi afetada pelos tratamentos, não havendo diferenças significativas, apesar da média de 12,37 a 13,53 t ha⁻¹ observada pelos autores estar próxima da média regional do local de realização do trabalho. A não influência dos tratamentos na produção de inhame pode ser explicada pelo curto período de realização do experimento, visto que a mineralização dos nutrientes presentes nos ramos podados de guandu poderia acontecer a médio prazo e os benefícios serem evidenciados nas culturas subsequentes, o que contribui para a não sincronia entre liberação e demanda de nutrientes pela cultura.

Para as condições de Piracicaba-SP e diante do destaque das diversas espécies de mucuna utilizadas nos agroecossistemas, Ambrosano et al. (2016) realizaram experimento para comparar quatro espécies quanto ao seu efeito nos atributos do solo. As quatro espécies estudadas foram: mucuna-anã, mucuna-cinza, mucuna-preta e mucuna-verde. O experimento foi conduzido em dois ciclos (2001 e 2002), com 5 tratamentos, sendo cada espécie um tratamento e a testemunha, sem o cultivo da adubação verde. Na época de colheita das mucunas ocorreu a amostragem de solo na profundidade de 0-20 cm e a partir do resultado da análise, foi possível identificar alterações nos atributos químicos. O teor de K do solo diminuiu nos tratamentos com adubação verde, tal fato pode ser explicado pelo acúmulo destes na matéria seca das plantas. Em relação ao teor de Ca e Mg no solo a mucuna verde promoveu o maior valor nos teores, sendo eles 45,6 e 33,3 mmolc dm⁻³, respectivamente, diferindo estatisticamente dos valores da testemunha (34 mmolc dm⁻³ de Ca e 22,8 mmolc dm⁻³ de Mg). Da mesma forma, a mucuna verde promoveu um incremento na capacidade de troca catiônica do solo, com valor de 97,98 mmolc dm⁻³ enquanto a testemunha apresentou 79,37 mmolc dm⁻³. Realizando uma análise crítica da experimentação, pode-se concluir que a mucuna-verde apresenta alto potencial em alterar os atributos químicos do solo, num período de aproximadamente 150 dias, sendo útil em solos distróficos e até mesmo degradados.

Com o objetivo de avaliar o consórcio de milho com quatro diferentes plantas de cobertura Arf et al. (2018), realizaram dois experimentos em anos distintos, com cinco tratamentos cada, sendo eles: milho, milho + *Crotalaria spectabilis*, milho + guandu, milho + feijão-de-porco e milho + *Urochloa ruziziensis*. A implantação das culturas de cobertura ocorreu nas entrelinhas da cultura do milho, sendo o semeio realizado simultaneamente. Foi realizada a avaliação da produção do milho e dos teores de nitrogênio, potássio e fósforo. Pela avaliação da massa seca das plantas de milho, foi possível observar que houve incremento na ordem de 45% e 69%, para o primeiro e segundo experimento, respectivamente, quando a cultura foi consorciada. Em relação a produtividade final de milho, observou-se que o cultivo solteiro foi superior aos demais tratamentos, podendo tal efeito ser atribuído ao estabelecimento de competição entre as plantas por luz, água e nutrientes. Na avaliação dos teores de nutrientes na massa seca dos tratamentos milho e milho consorciado, foi possível observar que o consórcio propiciou o retorno de aproximadamente 100 kg ha⁻¹ de N e K, e 18 kg ha⁻¹ de P, enquanto o milho solteiro promoveu o retorno de cerca de 56 kg ha⁻¹ de N, 7,2 kg ha⁻¹ de P e 55 kg ha⁻¹ de K. Desta forma, pode se aferir que o consórcio de milho com leguminosas ou gramíneas proporciona, aproximadamente o dobro no acúmulo dos teores de N, P e K, entretanto deve-se ter atenção ao porte que os adubos verdes podem atingir, visando a não competição com a cultura econômica.

3.3.2 Características Físicas

Os solos brasileiros, por serem formados sob clima tropical, passam por um intenso processo de intemperismo e, além disso, são formados a partir de material de origem pobre, que muitas vezes dá origem aos solos tipicamente ácidos e com baixo teor de matéria orgânica, como pode ser visto na maior parte do Brasil. Como evidencia Longo et al. (2010), muitas vezes não se reconhece mais o solo, mas sim uma matriz mineral pobre física e quimicamente, que fornece muitos poucos nutrientes às plantas.

Mais uma vez a adubação verde se sobressai como proposta de recuperação desses solos, visto que as plantas usadas para esse fim produzem grande quantidade de biomassa, que ao ser incorporada ao solo passa pelo processo de decomposição que resulta na matéria orgânica, importante agente cimentante das partículas do solo, afetando de forma positiva a estrutura do solo (Wenneck et al., 2017). Várias propriedades físicas do solo são afetadas pela elevação dos teores de matéria orgânica, merecendo destaque a densidade, porosidade, retenção de umidade, estabilidade dos agregados de formação e infiltração de água (Espíndola, Guerra & Almeida, 1997).

Rós e Hirata (2019) realizaram um trabalho buscando conhecer os efeitos de diferentes manejos da cobertura do solo sob as propriedades físicas do mesmo e sob a produtividade de mandioca. Os tratamentos consistiram do corte e incorporação de *Crotalaria ochroleuca* (1), corte de *Crotalaria ochroleuca* (2), corte e incorporação da comunidade de plantas espontâneas (3) e o tratamento controle sem plantas espontâneas (solo descoberto) (4). Foi possível observar redução da densidade e aumento da porosidade total nos tratamentos em que houve revolvimento do solo (1 e 3), sendo que tal resultado pode não estar associado ao tipo de cobertura visto que os tratamentos sem revolvimento (2 e 4) apresentaram valores superiores de densidade. Quanto ao rendimento de mandioca, não houve diferença significativa na produtividade comercial, apesar do tratamento 1 apresentar o valor de 30,91 t ha⁻¹, o maior dentre os outros tratamentos (2 – 28,50 t ha⁻¹; 3 – 25,97 t ha⁻¹; 4 – 30,54 t ha⁻¹).

Os resultados acima implicam na necessidade da avaliação da contribuição da adubação verde nos atributos físicos do solo por um maior período de tempo, visto que estes são influenciados pelo teor de matéria orgânica que, para ser elevado a níveis consideráveis, necessita de repetidas adições, devido aos processos de transformação e perdas que podem ocorrer, principalmente pela ação dos microrganismos (Soares et al., 2018; Oliveira, Filho & Barbosa, 2016).

Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2020) que testaram onze espécies de plantas de cobertura (braquiária brizantha, crotalaria breviflora, crotalaria juncea, crotalaria ochroleuca, estilosantes campo grande, feijão de porco, guandu anão, guandu comum, milheto, mucuna preta e mucuna cinza) e sua influência na densidade e porosidade do solo, acabando por concluir que não houve influência das espécies sobre as características do solo num período de 90 dias após o plantio das mesmas.

Com o mesmo objetivo de conhecer os efeitos da adubação verde nas características físicas do solo, Cardoso et al. (2014) estudaram seis tipos de cobertura do solo: aveia branca (*Avena Sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), guandu anão (*Cajanus cajan*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), tremoço branco (*Lupinus albus*) e a testemunha (pousio). O teor de matéria orgânica do solo não foi influenciado pelos tratamentos, não havendo diferenças significativas entre eles. Entretanto a densidade do solo apresentou diferenças significativas, principalmente na camada de 0 - 5 cm onde se destaca o efeito do nabo forrageiro que proporcionou 0,35 Mg m³. Na camada de 5 - 10 cm de profundidade o nabo forrageiro também ofereceu melhor efeito (0,39 Mg m³) apesar deste não ter sido significativo em comparação com o guandu anão (0,38 Mg m³) e com o pousio (0,37 Mg m³).

Tais resultados permitem inferir que o efeito da adubação verde sobre a densidade do solo é mais pronunciado, no médio prazo (5 meses), nas camadas superficiais. É espero que as camadas subsuperficiais sejam beneficiadas com o uso da adubação verde a longo prazo. O nabo forrageiro, como mostrado no experimento, é uma alternativa para quando se requerem efeitos a curto/médio prazo limitados às camadas superficiais.

Da mesma forma, em um experimento realizado por Ramos et al. (2019), onde se fez uso do consórcio de plantas de maracujá (*Passiflora edulis* Sims. f. *Flavicarpa* Deg) com o adubo verde *Crotalaria juncea*, não foi possível observar efeito do tratamento nos atributos físicos do solo, sendo tal fato explicado pela pouca sensibilidade de tais atributos às mudanças de manejo no solo no primeiro ano de implantação. Assim, verifica-se a necessidade de estudos mais prolongados e voltados para

a elucidação dos efeitos da adubação verde sob as características físicas do solo, para que a ferramenta de manejo não seja tida como ineficaz.

3.3.3 Características Biológicas

Zhou et al. (2019) estudaram o impacto da decomposição de três tipos de plantas (plantas invasoras naturalmente presentes da área, trevo vermelho e azevém) na atividade de microrganismos do solo. Segundo os autores, a decomposição de todas as espécies possibilitou a reprodução plena de bactérias benéficas ao solo, em comparação com o tratamento controle, devido a melhoria do metabolismo do carbono. Além disso, puderam observar que a combinação de plantas de diferentes estratos potencializa os benefícios, em comparação com o uso de apenas um tipo de planta.

Para avaliar o efeito da micorrização em cafeeiros cultivados, Alves et al. (2014) realizaram experimento consorciando o café com gliricídia (sistema agroflorestal) e com adubos verdes, dentre eles o feijão de porco e o lablabe. O cultivo de café é consorciado com a gliricídia desde 2007. Além disso, desde então, anualmente ocorre o plantio dos adubos verdes em outubro, com corte realizado em dezembro. Foram coletadas amostras de solo de cada parcela para avaliação dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA's). Para avaliação das estruturas fúngicas presentes nas raízes do cafeeiro, foram coletadas as raízes absorventes por meio de escavação até a profundidade de 15 centímetros. Ao final do experimento observou-se maior porcentagem de fragmentos de raiz contendo arbúsculo no tratamento sombreado com gliricídia, cerca de 45%, seguido do tratamento com feijão de porco que proporcionou 30% do total de raízes com estruturas fúngicas e do tratamento controle com 21%. Quanto ao número de esporos, o tratamento controle a pleno sol apresentou cerca de 80 esporos por 50 g de solo, indicando que tal sistema proporciona maior estresse ambiental, quando comparado com os outros tratamentos, visto que a liberação de esporos é maior nessa situação. O adubo verde lablabe apresentou pouco mais de 40 esporos por 50 g de solo, em decorrência de minimizar os impactos causados pelo monocultivo.

A presença de FMA's no sistema solo-planta favorece a absorção de nutrientes, principalmente os pouco móveis, como o fósforo (Abreu et al., 2018), contribuindo dessa forma para absorção de considerável quantia que será incrementada no metabolismo nutricional do vegetal.

Oliveira et al. (2012) realizaram experimento para avaliar a influência da adubação verde e adubação orgânica nos atributos biológicos do solo no cultivo de alface. Os tratamentos aplicados foram: esterco bovino, adubo orgânico comercial e o controle sem adubação. Os tratamentos foram aplicados 15 dias após o manejo inicial com a mucuna preta. Os dois tipos de manejo foram: incorporado ao solo (manejo 1) e roçada sem incorporação (manejo 2), ambos foram executados na plena floração e 55 dias antes do plantio da alface. Antes do manejo com a mucuna preta foi realizada a avaliação inicial da biomassa microbiana na profundidade de 0-5 cm sendo registrado o valor de 143,36 mg kg⁻¹. Após 15 dias da realização do manejo com a mucuna, verificou-se biomassa microbiana de 167,32 mg kg⁻¹ no manejo 1 e de 203,72 mg kg⁻¹ no manejo 2. Na avaliação inicial da presença de bactérias no solo foi registrado o valor de 51,5 x 10² UFC g⁻¹ de solo, 15 dias após o manejo da mucuna preta o manejo 1 registrou 97 x 10² UFC g⁻¹ e para o manejo 2 foram 193,66 x 10² UFC g⁻¹ de solo. Além disso, foi observado aumento na população de fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) e redução na população de nematoides. Apesar da produção de alface não ter sido avaliada em função dos tratamentos, é notável a contribuição do adubo verde para melhoria da fração biológica do solo, notadamente o aumento da biomassa microbiana que contribuirá com a ciclagem de nutrientes e decomposição de resíduos orgânicos, a aumento da quantidade de FMA's também relatado por Júnias et al. (2014) e a redução na população de nematoides que causam danos conhecidos às raízes e prejudicam a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Oliveira et al. (2016) realizaram experimento consorciando a cultura da beterraba com rúcula e quatro quantidades de

flor-de-seda (*Calotropis procera*), sendo elas 10, 25, 40 e 50 t ha⁻¹, para avaliação das propriedades microbiológicas e nutricionais do solo. A flor-de-seda passou pelo processo de corte, trituração mecânica e secagem ao sol. Foram realizadas duas incorporações do adubo verde, a primeira 20 dias antes do plantio e a segunda 45 dias após. Para avaliação do solo, foram coletadas 5 amostras simples de cada parcela experimental antes do plantio e uma no final do cultivo das culturas, ambas na profundidade de 0-20 centímetros. Na avaliação do número de unidades formadoras de colônias de fungos e bactérias, observou-se que ocorreu incremento à medida em que a quantidade de flor de seda é aumentada. A média geral de bactérias na primeira avaliação foi de 40.254,33 e de fungos 330,65, enquanto que na avaliação do solo no final do experimento a maior dose de flor de seda proporcionou 310.200,00 e 1.108,67 unidades de bactérias e fungos, respectivamente. A explicação para o aumento expressivo nas unidades tanto de bactérias como de fungos, ocorre em função da aplicação de resíduos orgânicos no solo que proporciona estímulos para o desenvolvimento de microrganismos no solo. Estes, por sua vez, são capazes de aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas sendo esperado reflexo positivo no crescimento, além de melhorar a habilidade competitiva do vegetal, conforme ilustrado por Massensini et al. (2014).

3.4 Fixação Biológica do Nitrogênio e Adubação Verde

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) atmosférico (N₂) acontece quando microrganismos de vida livre se associam a plantas ou simbioses e realizam a redução do N₂ a amônia (NH₃). A FBN é um processo de suma importância para a sustentabilidade da agricultura, pois produz nitrogênio assimilável pelas plantas, causando mínimo impacto em comparação com os fertilizantes nitrogenados (Vieira, 2017).

Sabe-se que o nitrogênio é um elemento essencial às plantas, mas informações sobre sua quantificação e metabolismo ainda são escassos. Uma das formas que têm sido estudadas é o fracionamento isotópico do nitrogênio, que nos permite segregar e conhecer as diferentes frações do nutriente no sistema solo/planta (Lopes; Moraes; Lang, 2016).

Outra observação de suma importância foi feita por Schultz et al. (2016) em um experimento de avaliação da produtividade e diluição isotópica de 15N em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. Segundo os autores, a abundância natural de 15N nas folhas indicadoras sofre redução à medida em que a cultura avança em seu ciclo, indicando que a fixação biológica do nitrogênio aumenta quando o nitrogênio disponível nos solos diminui. Tal fato ressalta a importância da realização da adubação equilibrada e do manejo correto para que a FBN exerça seus benefícios.

Buscando explorar ainda mais a ferramenta de quantificação, Sousa et al. (2017) realizaram um experimento onde foi feito o plantio de espécies leguminosas (*Dolichos lablab* e *Canavalia ensiformis*) em pré-cultivo do consórcio feijoeiro/café. Com o trabalho puderam observar que as plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) apresentam 50,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio advindos da fixação biológica, enquanto que para o lablab (*Dolichos lablab*) o valor foi de 14,91 kg ha⁻¹. Apesar dos números, não houve acréscimo significativo na produção do feijoeiro, que pode ser explicado pela falta de sincronia entre a mineralização dos nutrientes e a demanda pela cultura econômica e, também, parte do nitrogênio pode ter sido perdida devido à alta instabilidade do nutriente no sistema solo/planta. Os resultados podem contribuir na tomada de decisão de manejo pelos produtores rurais, que muitas vezes não têm acesso a essa informação e acabam por deixar de fazer uso da adubação verde ou a fazem de forma equivocada.

Sant'Anna et al. (2018) buscaram quantificar a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas no sudeste do Brasil. Para tanto foram cultivadas em três ciclos (2014, 2015 e 2016) os adubos verdes feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão veludo (*Mucuna pruriens*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e o milho (*Zea mays*) como controle por ser uma planta não leguminosa. As plantas foram cultivadas em cada um dos anos, com semeio na segunda semana de dezembro, sendo realizado o corte e duas semanas após o plantio de abóbora. Os autores puderam observar que no primeiro ciclo de cultivo de 64 a 77%

do N acumulado nos resíduos dos adubos foram provenientes da matéria orgânica já presente no solo, o que pode ser explicado pela mineralização favorecida pelo preparo do solo anterior ao semeio dos adubos verdes. Já no segundo ano de cultivo 85% do N presente nos resíduos de feijão de porco foram advindos da FBN, sendo quantificado por meio da técnica da diluição isotópica de ^{15}N , superior à crotalária com 58% e ao feijão veludo com 53%. No terceiro ano de cultivo a mesma tendência se manteve, sendo os resíduos de feijão de porco os mais abundantes em nitrogênio proveniente da FBN (71%). O aumento da contribuição do N atmosférico na constituição dos adubos verdes pode ser explicado pela maior qualidade do solo em função do uso da adubação verde no primeiro ano, o que pode ter permitido maior extensão do sistema radicular e a criação de condições adequadas para realização eficiente da FBN. Quanto à produção de abóbora, houve diferença significativa apenas entre as leguminosas e o milho (não leguminosa), com produções variando de 12,5 a 15,7 t ha⁻¹ para as leguminosas e 2,3 t ha⁻¹ para o tratamento com milho, podendo atribuir tais produções ao maior aporte de N realizado pelos adubos verdes.

3.5 Principais Espécies de Adubos Verdes Associadas à Produção de Hortaliças

Os produtores de hortaliças vêm a cada ano modificando seus sistemas de produção, na forma de incremento de tecnologias, buscando o aumento de produtividade e qualidade das culturas produzidas, satisfazendo assim a demanda do mercado consumidor (Morais et al., 2018). Uma das ferramentas que têm sido usadas é o cultivo consorciado da cultura econômica com adubos verdes, que traz benefícios econômicos, nutricionais e ambientais (Oliveira et al., 2004).

Neto et al. (2014) realizaram um trabalho buscando a otimização agroeconômica na cultura da cenoura fertilizada com diferentes doses de jitrana (*Merremia aegyptia*), planta nativa do nordeste brasileiro e que tem sido usada para fins de adubação verde. Foi possível alcançar a maior produtividade de raízes comerciais (32 t ha⁻¹) com a incorporação de 15 t ha⁻¹ de jitrana, apesar do melhor desempenho agroeconômico ter sido viabilizado na quantidade de 13 t ha⁻¹ que proporciona a produção de aproximadamente 30 t ha⁻¹ de raízes comerciais de cenoura em cultivo solteiro. Segundo os autores, os resultados positivos alcançados no experimento aconteceram devido à sincronia na decomposição e mineralização do adubo verde com a fase de maior exigência em nutrientes da hortaliça, resultando em maior produtividade à medida que se aumentava as doses do adubo verde, a saber que a primeira incorporação de 50% da quantidade total do adubo ocorreu 20 dias antes da semeadura da cenoura e os 50% restantes, 55 dias após o plantio.

Diante da importância da cultura do quiabo para os povos de regiões da Nigéria e a baixa produtividade alcançada em seu cultivo, Adekiya et al. (2019) elaboraram um estudo utilizando quatro espécies de plantas (*Carica papaya* L., *Azadirachta indica*; *Moringa oleifera*; *Prosopis africana*) tidas como adubos verdes e abundantes na região, que foram incorporadas ao solo de cultivo, na dose de 5 t ha⁻¹, 2 semanas antes do semeio do quiabo. Os autores puderam observar que a incorporação da biomassa das plantas contribuiu para a redução da densidade do solo, aumento da porosidade, aumento dos teores de N, P, K, Ca e Mg, além da incorporação de matéria orgânica ao mesmo, o que resultou em aumento de produtividade semelhante à adubação química convencional. Quanto a produção de quiabo, a incorporação de *Prosopis africana* se mostrou mais vantajosa, atingindo 10,9 t ha⁻¹, seguido de *Azadirachta indica* que resultou em 9,6 t ha⁻¹, quando o tratamento com fertilizante NPK se limitou a 6,1 t ha⁻¹. A partir da média de avaliação dos dois anos de experimento, *Prosopis africana* propiciou aumento da produção na ordem de 214% e 53% quando em comparação com o tratamento controle e com uso de fertilizante NPK, respectivamente.

De acordo com Mditshwa et al. (2017) hortaliças e frutas orgânicas tem maior quantidade de vitaminas, antioxidantes e fenóis em sua composição quando cultivadas em sistema orgânico de produção do que no sistema convencional. Dados obtidos por Carrillo et al. (2019) comparando beterrabas orgânicas e convencionais corroboram com tal afirmação, quando constata que beterrabas produzidas em sistema orgânico apresentam conteúdo de betalaína, considerada como um pigmento

indicador da qualidade, cerca de 32% mais elevado do que aquelas produzidas de forma convencional. Quanto ao conteúdo de polifenóis os autores destacaram cerca de 37% a mais nas beterrabas orgânicas, além da maior capacidade antioxidante apresentada por elas. Entretanto, este sistema apresenta alguns empasses em relação à escassez de insumos, principalmente para adubação (Ambrosano et al., 2018).

Com base nisso e buscando conhecer os efeitos da consorciação de tomate cereja com adubos verdes, no sistema orgânico de produção, Ambrosano et al. (2018) realizaram um experimento com diferentes adubos verdes em consórcio com tomate. Foram utilizados os adubos verdes o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), o tremoço branco (*Lupinus albus* L.), a crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), a mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*), o feijão mungo (*Vigna radiata*) e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Os resultados mostraram que o uso da adubação verde contribuiu para a maior produção por planta, com destaque para o feijão-de-porco que permitiu uma média de 1410,8 g planta⁻¹ enquanto que o tratamento controle proporcionou uma média de 1297,9 g planta⁻¹. Já mucuna-anã proporcionou maior número de frutos comerciais por planta (129 frutos comerciais) apesar do peso comercial se configurar próximo ao tratamento controle, indicando que provavelmente as plantas produziram maior número de frutos, porém de tamanho reduzido.

4. Considerações Finais

Diante do exposto, não restam dúvidas quanto a veracidade dos benefícios da adubação verde para as características químicas, físicas e biológicas do solo, contribuindo para maior disponibilização de nutrientes, melhoria da estrutura do solo a longo prazo e produção das culturas de forma satisfatória. Entretanto, é importante a realização de estudos mais específicos para cada grupo de culturas econômicas e com abordagem mais ampla e a longo prazo dos efeitos.

Conforme dito no texto, muitos trabalhos têm voltado sua atenção para o uso dos adubos verdes apenas com o objetivo de levar nitrogênio ao sistema de produção, quando essa prática se estende a muitas outras vantagens, principalmente a sua contribuição para o incremento de matéria orgânica ao solo, que por ser tão dinâmica requer maior atenção. Contudo, a avaliação das características químicas do solo frente ao uso adubação verde também é de suma importância, visto que, além de tudo, tal prática fornece nutrientes para o solo de cultivo das culturas econômicas, que serão utilizados por estas, reduzindo a dependência externa de fertilizantes químicos.

Além disso, necessário se faz o estudo de formas rentáveis de aplicação dos adubos verdes, visto que muitos produtores ainda hoje não apresentam condições de reservar uma área específica para o cultivo dessas plantas nem de resguardar um intervalo de tempo durante o ano para tal fim. Uma das alternativas tem sido o uso dos adubos verdes na forma de consórcios, atentando para o porte do adubo em função da cultura econômica e para o adequado cultivo buscando a sincronia entre disponibilização de nutrientes e a demanda destes pela cultura.

Quanto a contribuição da adubação verde para as características biológicas do solo e sua relação com a nutrição de hortaliças, faltam dados que relacionem os dois fatores de forma direta, para que sejam estabelecidas boas correlações, seja com o teor de carbono orgânico do solo, com a população de fungos micorrízicos arbusculares, com a presença de colônias de bactérias e/ou fungos benéficos ao solo e raízes, entre outras observações.

Por fim, é conveniente ressaltar a importância dos estudos envolvendo técnicas de quantificação do nitrogênio, ligado à FBN, principalmente a do fracionamento isotópico, para que as avaliações sejam cada vez mais precisas, contribuindo para decisões acertadas de manejo e para o uso eficiente das leguminosas como adubo verde, visto que o nitrogênio é um nutriente muito dinâmico o que pode limitar sua quantificação e seu manejo via adubação verde.

Referências

- Abreu, G. M., Schiavo, J. A., Abreu, P. M., Bobadilha, G. S., & Rosset, J. S. (2018). Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. *Revista de Ciências Agrárias*. 41 (1), 156-164.
- Adekia, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., & Ugbe, J. O. (2019). Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18 (2), 218-223.
- Altieri, M. A. (2010). Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. *Revista Nera*. 13(16), 22-32.
- Alves, J. M., Martins, R. C., Freitas, R. A., Barreira, T. P., & Campos, A. N. R. (2014). Efeito da adubação verde com espécies herbáceas e arbóreas na micorrização do cafeeiro. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*. 4(1), 11-16.
- Ambrosano, E. J., Salgado, G. C., Otsuk, I. P., Patri, P., Henrique, C. M., & Melo, P. C. T. (2018). Organic cherry tomato yield and quality as affect by intercropping green manure. *Acta Scientiarum Agronomy*. 40.
- Ambrosano, E. J., Rossi, F., Salgado, G. C., Otsuk, I. P., & Trivelin, P. C. O. (2016). Teores de nutrientes e transferência de nitrogênio no tomate orgânico em cultivo intercalar com adubo verde e aplicação de homeopatia. *Cadernos de Agroecologia*. 11(2).
- Ambrosano, E. J., Wutke, E. B., Salgado, G. C., Rossi, F., Dias, F. L. F., Tavares, S., & Otsuk, I. P. (2016). Caracterização de cultivares de mucuna quanto a produtividade de fitomassa, extração de nutrientes e seus efeitos nos atributos do solo. *Cadernos de Agroecologia*. 11(2).
- ANDA (2020). Associação Nacional para Difusão de Adubos. *Pesquisa Setorial*. www.anda.org.br.
- Andriolo, J. L. (2017). *Olericultura Geral*. (3a ed.), Editora UFSM.
- Arf, O., Meireller, F. C., Portugal, J. R., Buzetti, S., De Sá, M. E., & Rodrigues, R. A. F. (2018). Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 17(3), 431-444.
- Cantanhede, J. D., Marinho, T. R. S., Alves, G. L., Jesus, A. C., Santos, R. F., & Silva, M. R. M. (2018). Adubos verdes na supressão de plantas espontâneas. *Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF*. 13(1).
- Cardoso, R. A., Bento, A. S., Moreski, H. M., & Gasparotto, F. (2014). Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*. 35(2), 51-60.
- Carrillo, C., Wilches-Pérez, D., Hallmann, E., Kazimierzczak, R., & Rembialszkowac, E. (2019). Organic versus conventional beetroot: bioactive compounds and antioxidant properties. *LWT - Food Science and Technology*. 116(22).
- Carvalho, C. A., Ferreira, R. L. F., Andrade, R. A., Brito, R., Pereira, T. C. R., & Lima, T. J. L. (2020). Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. *Scientia Naturalis*. 2(2), 38-41.
- Castro, C. M., & Devede, A. C. P. (2018). Plantas de cobertura e manejo de aléias no plantio direto de brócolis. *Revista de Ciências Agrônomicas*. 27(4), 471-481.
- Costa, C. H. M., Crusciol, C. A. C., Soratto, R. P., & Ferrani Neto, J. (2012). Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. *Bioscience Journal*. 28(3), 384-394.
- Devincentins, A. J., Solis, S. S., Bruno, E. M., Leavitt, A., Gomes, A., Rice, S., & Zaccaria, D. (2020). Using cost-benefit analysis to understand adoption of winter cover cropping in California's specialty crop systems. *Journal of Environmental Management*. 261.
- Elhakeem, A., Werf, W. D., Ajal, J., Lucà, D., Claus, S., Vico, R. A., & Bastiaans, L. (2019). Cover crop mixtures result in a positive net biodiversity effect irrespective of seeding configuration. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 285.
- Espíndola, J. A. A., Guerra, J. G. M., & Almeida, D. L. (1997). *Adubação Verde: Estratégia Para uma Agricultura Sustentável*. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).
- Guimarães, R. R., Vieira, M. C., Rocha, E. C., Peixoto, N., Schetin, B. V., & Pires, L. L. (2019). Cultivo inicial de mangabeira consorciada com adubos verdes no cerrado do sudeste de Goiás. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*. 10(2), 65-73.
- Linhares, P. C. F., Pereira, M. F. S., Oliveira, B. S., Henriques, G. P. S. A., & Maracajá, P. B. (2010). Produtividade de rabanete em sistema orgânico de produção. *Revista Verde*. 5(5), 94-101.
- Longo, R. M., Ribeiro, A. Í., & Melo, W. J. (2011). Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. *Bragantia*. 70(1), 139-146.
- Lopes, E. C. P., Moraes, A., & Lang, C. R. (2016). Estudo do fracionamento isotópico de nitrogênio aplicado à gramíneas e leguminosas forrageiras. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, 9(1), 121-130.
- Massensini, A. M., Bonduki, V. H. A., Melo, C. A. D., Tótola, M. R., Ferreira, F. A., & Costa, M. D. (2014). Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. *Planta Daninha*. 32(4), 873-884.
- Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., & Mbili, N. (2019). Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. *Scientia Horticulture*. 216, 148-159.

- Medeiros, M. L. S., Demartelaere, A. C. F., Lima, J. S. S., Silva, M. L., & Pádua, G. V. G. (2019). Consorciação de caupi-hortaliça e beterraba sob diferentes quantidades de flor-de-seda incorporadas ao solo. *Revista Verde*. 14(1), 12-20.
- Melo, R. A. C., Madeira, N. R., & Peixoto, J. R. (2010). Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. *Horticultura Brasileira*. 28(1), 23-28.
- Morais, E. C., Lima, J. S. S., Neto, F. B., Silva, J. N., Nunes, R. L. C., & Linhares, P. C. A. (2018). Habilidade competitiva e biológica do consórcio beterraba com caupi-hortaliça proveniente de adubação verde e de arranjos espaciais. *Revista Ceres*. 65(5), 433-442.
- Neto, F. B., Oliveira, L. J., Santos, A. P., Lima, J. S. S., & Silva, I. N. (2014). Otimização agroeconômica da cenoura fertilizada com diferentes doses de jitrana. *Revista Ciência Agronômica*. v45(2), 305-311.
- Oliveira, K. J. B., Lima, J. S. S., Ambrósio, M. M. Q., Neto, F. B., & Chaves, A. P. (2017). Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. *Revista de Ciências Agrárias*. 40(1), 23-33.
- Oliveira, J. G. R., Filho, J. T., & Barbosa, G. M. C. (2016). Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. *Geographia Opportuno Tempore*. v. 2(2).
- Oliveira, L. C., Stangarlin, J. R., Lana, M. C., Simon, D. N., Zimmermann, A. (2012). Influência de adubações e manejo de adubo verde nos atributos biológicos de solo cultivado com alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema de cultivo orgânico. *Arquivos do Instituto Biológico*. 79(4), 557-565.
- Oliveira, F. L., Guerra, J. G. M., Junqueira, R. M., Silva, E. E., Oliveira, F. F., Espindola, J. A., Almeida, D. L., Ribeiro, R. L. D., & Urquiaga, S. (2006). Crescimento e produtividade do inhame cultivado entre faixas de gandu em sistema orgânico. *Horticultura Brasileira*. 24(1), 53-58.
- Oliveira, F. L., Ribeiro, R. L. D., Silva, V. V., Guerra, J. G. M., & Almeida, D. L. (2004). Desempenho do inhame (taro) em plantio direto e no consórcio com crotalária, sob manejo orgânico. *Horticultura Brasileira*. 22(3), 638-641.
- Pantaleão, P. S., Laca-Buendía, J. P., Brito, L. F., Godinho, N. C. A., & Bernardes, A. G. (2012). Supressão de plantas daninhas pela cobertura com adubos verdes em solo de cerrado. *FAZU em Revista*. 1(9), 30-43.
- Pereira A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM.
- Primavesi, A., Primavesi, A. (2018). *A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal*. 1ª ed. São Paulo: Expressão Popular.
- Ramalho, W. B., Linhares, P. C. F., Assis, J. P., Almeida, A. M. B., & Cunha, L. M. M. (2016). Adubação verde com espécies espontâneas da caatinga no cultivo do rabanete em sucessão a rúcula. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 11(2), 66-70.
- Ramos, A. M. R., Amorim, B. M. B., Freire, C. T. M., & Lima, D. L. F. A. (2019). Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*Passiflora edulis* Sims). *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. 13(1), 80-87.
- Recalde, K. M. G., Carneiro, L. F., Carneiro, D. N. M., Felisberto, G., Nascimento, J. S., & Padovan, M. P. (2015). Weed suppression by green manure in an agroecological system. *Revista Ceres*. 62(6), 546-552.
- Rós, A. B., & Hirata, A. C. S. (2019). Soil physical properties and cassava yield under different soil cover managements. *Científica*. 47(4), 411-418.
- Rosset, J. S., Coelho, G. F., Greco, M., Strey, L., & Junior, A. C. G. (2014). Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. *Scientia Agraria Paranaensis*. 13(2), 80-94.
- Sagrilo, E., Leite, L. F. C., Galvão, S. R. S., & Lima, E. F. (2009). *Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde*. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 22 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 193).
- Sant'anna, S. A. C., Martins, M. R., Goulart, J. M., Araújo, S. N., Araújo, E. S., Zamanc, M., Jantalia, C.P., Alves, B. J. R., Boddey, R., & Urquiaga, S. (2018). Biological nitrogen fixation and soil N₂O emissions from legume residues in an Acrisol in SE Brazil. *Geoderma Regional*. v. 15.
- Schultz, N., Pereira, W., Reis, V. M., & Urquiaga, S. (2016). Produtividade e diluição isotópica de ¹⁵N em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 51(9), 1594-1601.
- Sediyama, M. A. N., Santos, I. C., & Lima, P. C. (2014). Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. *Revista Ceres*. 61(suppl.), 829-837.
- Serra, L. S., Mendes, M. R. F., Soares, M. V. A., & Monteiro, I. P. (2016). Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. *Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB (CEDS)*. 1(4).
- Silva, A. S., Oliveira, M., Moura, M. F., & Silva, S. P. (2020). Efeito da Adubação Verde na Qualidade Nutricional do Milho (*Zea mays* L.). *Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*. 6(1), 31-37.
- Silva, A. F. A., Souza, E. G. F., Santos, M. G., Júnior, A. P. B., Neto, F. B., & Silveira, L. M. (2015). Rentabilidade do rabanete adubado com flor-de-seda em duas épocas de cultivo no semiárido de Pernambuco. *Revista de Ciências Agrárias*. 58(2), 198-207.
- Silva, M. S., Oliveira, G. R. F., Merloti, L. F., & Sá, M. E. (2017). Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. 11(1), 26-36.
- Soares, M. D. R., Campos, M. C. C., Cunha, J. M., Mantovanelli, B. C., Oliveira, I. A., Filho, E. G. B., & Leite, A. F. L. (2018). Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. *Gaia Scientia*. 12(2), 125-133.

- Soratto, R. P., Crusciol, C. A. C., Costa, C. H. M., Ferrani Neto, J., & Castro, G. S. A. (2012). Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 47(10), 1462-1470.
- Sousa, F. F., Santos, R. H. S., Carneiro, J. S., & Urquiaga, S. (2017). Adubação verde de feijoeiro em consórcio com cafeeiro na agricultura familiar de Araponga, Minas Gerais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 12(4), 674-679.
- Souza, E. G. F., Júnior, A. P. B., Neto, F. B., Silveira, L. M., Leal, Y. H., & Alves, M. J. G. (2014). Rentabilidade da rúcula fertilizada com biomassa de flor-de-seda em função da época de cultivo. *Revista Caatinga*. v. 28(1), 65-77.
- Teodoro, R. B., Oliveira, F. L., Silva, D. M. N., Fávero, C., & Quaresma, M. A. L. (2011). Aspectos agrônômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 35(2), 635-643.
- Tivelli, S. W., Kano, C., Purquerio, L. F. V., Wutke, E. B., & Ishimura, I. (2013). Desempenho do quiabeiro consorciado com adubos verdes eretos de porte baixo em dois sistemas de cultivo. *Horticultura Brasileira*. 31(3), 483-488.
- Tivelli, S. W., Factor, T. L., Teramoto, J. R. S., Fabri, E. G., Moraes, A. R. A., Trani, P. E., & May, A. *Beterraba: do plantio à comercialização*. Série Tecnologia APTA (Boletim Técnico 210). : Instituto Agronômico, 2011.
- Torquato, S. A., Sachs, R. C. C., Dias, F. L. F., Rossi, F., Tavares, S., Salgado, G. C., Ambrosano, G. B., & Ambrosano, E. J. (2015). Potencial econômico do uso de crotalária-júncea e sulfato de amônio em cana-de-açúcar. *IX Workshop Agroenergia*. <http://www.infobibos.com/anais/agroenergia/9/Resumos/ResumoAgroenergia_2015_060.pdf>.
- Trani, P. E., Passos, F. A., & Araújo, H. S. (2020). *Calagem e adubação da abobrinha italiana (de moita) (Cucurbita pepo), abóbora brasileira (Cucurbita moschata), moranga (Cucurbita maxima) e abóbora japonesa (híbrida)*. <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/96.pdf>.
- Trani, P. E., Purquerio, L. F. V., Figueiredo, G. J. B., Tivelli, S. W., & Blat, S. (2020). *Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula*. IAC: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/97.pdf>.
- Trani, P. E., Passos, F. A., Pereira, J. E., & Semis, J. B. (2015). *Calagem e adubação do feijão-vagem, feijão-fava (ou fava-italiana), feijão-de-lima e ervilha torta (ou ervilha-de-vagem)*. 2020 <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/99.pdf>.
- Vargas, T. O., Diniz, E. R., Santos, R. H. S., Lima, C. T. A., Urquiaga, S., & CECON, P. R. (2011). Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. *Horticultura Brasileira*. 29(4), 562-568.
- Vieira, R. F. (2017). *Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas*. Embrapa.
- Wenneck, G. S., Teles, M. S., Saath, R., Françoso, R. V., & Silva, F. C. (2017). Avaliação das propriedades físicas em diferentes sistemas de cultivo no município de Glicério-SP. *Anais X EPCC*.
- Wildner, L. D. P. (2014). Adubação Verde: conceitos e modalidades de cultivo. In: Lima Filho, O. F. D., Ambrosano, E. J., Rossi, F., Carlos, J. A. D. (Orgs) *Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa. Cap. 14. p. 21-44.
- Zhou, T., Jiao, K., Qin, S., & Lyu, D. (2019). The impact of cover crop shoot decomposition on soil microorganisms in an apple orchard in northeast China. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26(8), 1936-1942.