

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS**

**SUCESSÃO DE CULTURAS NA CULTURA NA CANA-DE-
AÇÚCAR: EFEITOS DE LEGUMINOSAS NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO**

Bruna Cássia Rodrigues Guardiano
Licenciada em Geografia

**FRUTAL-MG
2021**

Bruna Cássia Rodrigues Guardiano

**SUCESSÃO DE CULTURAS NA CULTURA NA CANA-DE-
AÇÚCAR: EFEITOS DE LEGUMINOSAS NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora
Dra. Osania Emerenciano Ferreira
Co-orientador
Dr. Gustavo Henrique Gravatim Costa

**FRUTAL-MG
2021**

G914s Guardianio, Bruna Cássia Rodrigues
Sucessão de culturas na cultura na cana-de-açúcar: efeitos de leguminosas nos atributos químicos e microbiológicos do solo / Bruna Cássia Rodrigues Guardianio. – 2021.
68 f. : il., tab.

Orientador: Osania Emerenciano Ferreira.
Co-orientador: Gustavo Henrique Gravatim Costa.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Adubação verde. 2. Microbiologia agrícola. I. Ferreira, Osania Emerenciano. II. Gustavo Henrique Gravatim. III. Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal. IV. Título.

CDD – 633
CDU – 633.4



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

BRUNA CÁSSIA RODRIGUES GUARDIANO

SUSSESSÃO DE CULTURAS NA CANA-DE-AÇÚCAR; EFEITO DE LEGUMINOSAS NAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, área de concentração Multidisciplinar, Linha de Pesquisa Tecnologia, Ambiente e Sociedade, para à obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de julho de 2021.

Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. Marcos Vinícius Bohrer Monteiro Siqueira UEMG Frutal

Profa. Dra. Osania Emerenciano Ferreira
Orientadora



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Vinícius Bohrer Monteiro Siqueira, Professor de Educação Superior**, em 21/07/2021, às 16:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Osania Emerenciano Ferreira, Professora de Educação Superior**, em 21/07/2021, às 16:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **MIGUEL ANGELO MUTTON, Usuário Externo**, em 21/07/2021, às 16:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **32599856** e o código CRC **734DBB53**.

Referência: Processo nº 2350.01.0006265/2020-30

SEI nº 32599856

Dedicatória

A todos que direta ou indiretamente participaram deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dr.^a Osania Emerenciano Ferreira, pela dedicação na orientação do experimento e dissertação.

Ao meu co-orientador, Prof. Gustavo Henrique Gravatim, pela dedicação na orientação da pesquisa e dissertação.

À Universidade do Estado de Minas Gerais, pela oportunidade de cursar o Mestrado de Ciências Ambientais e ao aparato na preparação e análise das amostras laboratoriais. Agradeço em especial às servidoras Fernanda Cássia Guidastre e a Adriana Barbosa.

Ao Senhor Gabriel Henrique Lopes, por ter cedido a área experimental.

A empresa Radrifo e Sementes Esperança, pela doação das sementes de crotalária e amendoim utilizadas no experimento.

Aos discentes do curso de Engenharia Agrônômica pelo auxílio em campo, em especial aos alunos José Neto Negrão e Luiz Gustavo.

Agradeço aos servidores e colegas de trabalho da Universidade do Estado de Minas Gerais pelo apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho.

E por fim agradeço ao professor Dr. Leandro de Souza Pinheiro, docente do curso de Licenciatura em Geografia, que por vezes acreditou em mim mais do que eu mesma. Obrigada pelo incentivo e por despertar em mim o interesse pela pesquisa.

RESUMO

A utilização de áreas de cerrado para atividades agrícolas tem-se intensificado nos últimos anos. Diante deste crescimento, e para melhorar a aptidão agrícola e manter a biodiversidade microbiana, é necessária a adoção de práticas sustentáveis do manejo do solo, visando ao menor impacto ambiental. A Região do Triângulo Mineiro, onde se localiza o município de Frutal-MG, faz parte do cerrado e se destaca por ser grande produtora de cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adubação verde com leguminosas em uma área de reforma de canavial. O experimento foi realizado no município de Frutal-MG, e para tanto foram realizadas análises biológicas e químicas do solo antes e após o plantio das leguminosas. A rotação de cultura foi feita com amendoim (Sementes Esperança[®]), *Crotalaria spectabilis* (Radrifo[®]) e Soja NS 7667 IPRO[®]. Para o cultivo das leguminosas foi realizado o preparo da área com NPK na fórmula de 05-25-25 kg/ ha⁻¹. Para avaliação da biomassa vegetal foram determinadas a massa úmida e a massa seca de cada cultivo, sendo esta última utilizada para determinação do teor de nitrogênio mineral pelo método de Kjeldahl. Para as análises de solo foram coletadas amostras em cada cultivo na profundidade de 0-10cm e 0-20cm, onde foi determinado: pH, umidade, carga microbiana de bactérias totais, bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos totais. Para avaliação do crescimento quantitativo de bactérias totais utilizou-se Ágar Nutriente para bactérias fixadoras de Nitrogênio (Meio NFb) e para Fungos Totais (Meio Martin). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) com 3 repetições e 4 tratamentos. Dos cultivos analisados, os que mais se destacaram na recuperação do solo foram: a *C. Spectabilis*, que apresentou os melhores resultados dos parâmetros químicos no perfil do solo na profundidade de 0-10 cm. Neste cultivo também se obteve os melhores resultados na produção de biomassa. No perfil de 10-20 cm a cultura de amendoim foi a que mais contribuiu para melhorar os parâmetros químicos do solo. Quanto a avaliação das características microbiológicas, o cultivo de *C. Spectabilis* aumentou a quantidade de bactérias totais nas duas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, e para fungos totais o amendoim favoreceu em ambas profundidades. Na quantificação das bactérias fixadoras de nitrogênio, o amendoim e a soja se destacaram nas duas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. A pesquisa contribuiu para conhecer os benefícios de cada cultivo na adubação verde em solos de reforma de canavial, depreendendo-se das análises químicas que as leguminosas podem contribuir para a ciclagem de nutrientes e para a recuperação dos solos agrícolas.

Palavras-chave: Adubação verde. Cana-de-açúcar. Microbiologia agrícola.

CROP SUCCESSION IN SUGARCANE CROP: EFFECTS OF LEGUMES ON SOIL CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES

ABSTRACT

The use of cerrado areas for agricultural activities has intensified in recent years. In view of this growth, and in order to improve agricultural suitability and maintain microbial biodiversity, it is necessary to adopt sustainable soil management practices, looking forward to minimizing environmental impact. The Triângulo Mineiro Region, where the municipality of Frutal – MG is located, is part of the Cerrado Biome and stands out for being a large sugarcane producer. The objective of this work was to evaluate the influence of green manuring with legumes in a sugarcane reform area. The experiment was carried out in the municipality of Frutal – MG, and biological and chemical analyzes of the soil were carried out before and after planting. Crop rotation was performed with Peanut (Sementes Esperança®), *Crotalaria spectabilis* Radrifo ® and Soybean NS 7667 IPRO®. For the cultivation of legumes, the area was prepared with NPK in the formula of 05-25-25 kg/ha. To evaluate plant biomass, the wet and dry mass of each crop was determined, the latter being used to determine the mineral nitrogen content by the Kjeldahl method. For soil analysis, samples were collected from each crop at depths of 0-10cm and 0-20cm, where the following were determined: pH, moisture, microbial load, total bacteria, nitrogen-fixing bacteria and total fungi. To evaluate the quantitative growth of total bacteria, Nutrient Agar was used for Nitrogen-fixing bacteria (NFb Medium) and for Total Fungi (Martin Medium). Data were subjected to a variance analysis through the F Test and to an average comparison through the Tukey test ($P \leq 0.05$), with 3 repetitions and 4 treatments. Regarding the analyzed crops, the most relevant ones for soil recovery were: *C. Spectabilis*, which obtained the best results of chemical parameters in the 0-10 cm soil profile. This cultivation also presented the best results in biomass production. In the 10-20 cm profile, the peanut crop was the one that most contributed to improve the chemical parameters of the soil. As for the evaluation of microbiological characteristics, the cultivation of *Crotalaria Spectabilis* increased the amount of total bacteria at both depths of 0-10 and 10-20 cm, and for total fungi peanut favored at both depths. In the quantification of nitrogen-fixing bacteria, peanuts and soybeans stood out at the two depths of 0-10 and 10-20 cm. The research contributed to know the benefits of each legume crop in green manuring in sugarcane reform soils. The chemical analysis showed that legumes can contribute to nutrient cycling, reducing the need to apply agricultural inputs. Microbiological analyzes can contribute to the planning of interventions in agricultural management in the search for sustainable agriculture.

Keywords: Agricultural microbiology. Green manure. Sugarcane.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 1 - Análise de nitrogênio do tecido vegetal das culturas de amendoim, *C. Spectabilis* e soja apenas o caule e folhas.42

Capítulo 4

Figura 2 - Quantidade de bactérias totais (a), bactérias nitrificantes (b) e fungos totais (c) dos solos nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.....59

Figura 3 - Quantificação de bactérias totais (a), bactérias nitrificantes (b) e fungos totais (c) dos solos nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.....61

LISTA DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 1 - Número de dias até colheita das leguminosa (Amendoim, *C. spectabilis* e Soja) cultivados no município de Frutal, MG, e precipitação pluviométrica total, 2019/2020.....38

Tabela 2 - Produção de Matéria Fresca (MF), Matéria Seca (MS) e percentagem da Relação Matérias Seca e Fresca (RS/F) parte aérea de adubos verdes cultivados no município de Frutal, MG40

Tabela 3 - Valores médios das características químicas do solo sob cultivo de leguminosas e testemunha em função da profundidade de 0-10 cm em área de reforma de canavial.43

Tabela 4 - Valores médios das características químicas do solo sob cultivo de leguminosas e testemunha em função da profundidade de 10 – 20 cm em área de reforma de canavial.....44

Capítulo 4

Tabela 5 - Caracterização dos solos quanto ao pH e Umidade (%) antes e após o cultivo e relação matéria fresca e Seca RS/F (%).....57

Tabela 6 – Média das temperaturas máxima e mínima e média pluviométrica no período de desenvolvimento dos cultivos diária e mensal.....58

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	16
1.1 Cultura da cana-de-açúcar	16
1.2 Manejo sustentável e Manejo Conservacionista.....	17
1.3 Adubação verde e melhoria dos atributos químicos e biológicos do solo.....	18
1.4 Cultura do amendoim	19
1.5 Cultura da crotalária	20
1.6 Cultura da soja.....	21
1.7 Efeitos da adubação verde na microbiota do solo	21
1.8 Fungos	22
1.9 Bactérias fixadoras de nitrogênio	24
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 3 – BENEFÍCIOS DO PLANTIO DE LEGUMINOSAS SOBRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE RENOVAÇÃO DE CANAVIAL	33
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1. INTRODUÇÃO.....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.1. Caracterização da área de estudo.....	36
2.2 Preparo do solo, plantio e condução das culturas.....	36
2.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	37
2.4 Colheita das culturas e avaliação de biomassa.....	37
2.5 Coleta das amostras de solo.....	39
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 4 – REFLEXOS DO CULTIVO DE DIFERENTES LEGUMINOSAS SOBRE A QUANTIFICAÇÃO DE MICRORGANISMOS DO SOLO DE REFORMA DO CANAVIAL	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50

1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1 Microrganismos totais	54
2.2 Bactérias solubilizadoras de nitrogênio.....	55
2.3 Fungos totais.....	55
2.4 Determinação de matéria fresca (MF) e matéria seca (MS)	55
2.5 Delineamento experimental	56
2.6 Análise dos Dados	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4. CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade da produção agrícola vem motivando pesquisas multidisciplinares com o intuito de melhorar o manejo na agricultura, com aplicação de práticas sustentáveis que melhorem a qualidade do solo.

Dentre essas práticas, deve-se destacar a adubação verde, que permite a recomposição de matéria orgânica e nutrientes, auxiliando na recuperação do solo em áreas já destinadas a práticas agrícolas. Este manejo possibilita também a redução dos insumos químicos, além de melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo (WUTKE *et al.*, 2007).

A adubação verde com leguminosas é uma prática sustentável do ponto de vista ambiental, é viável economicamente, além de que a presença de cobertura vegetal no solo, nos meses chuvosos, auxilia na diminuição da erosão hídrica, favorecendo a percolação da água, o que reduz a incidência de enxurradas e arraste de partículas de solo (VOLK; COGO; STRECK, 2004).

Outro benefício das leguminosas é a fixação de nitrogênio atmosférico que favorece o aumento e a disponibilidade deste nutriente, devido a simbiose das plantas com bactérias fixadoras de nitrogênio, contribuem também com o incremento de matéria orgânica no solo. (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005).

Esta prática auxilia no aumento da população dos microrganismos existentes na microbiota do solo, que são importantes na ciclagem e na decomposição da matéria orgânica, nas transformações bioquímicas específicas como a nitrificação, desnitrificação, oxidação e redução do enxofre, fixação biológica do nitrogênio e a ação antagônica aos patógenos (SILVEIRA; FREITAS, 2007).

Embora os benefícios da adubação verde usando leguminosas sejam conhecidos, ainda há poucos estudos aplicados em áreas do bioma cerrado. E em se tratando de área de reforma de canavial, a carência é maior, especificamente no município de Frutal na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais, que nos últimos 15 anos observou-se expansão no cultivo de cana-de-açúcar.

O município de Frutal-MG é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do estado, possuindo atualmente 54.200 hectares destinados a este cultivo (IBGE, 2018). O solo da região é classificado como latossolo de textura média (FARIAS *et al.*, 2019). O clima é o

tropical sazonal, com maior precipitação nos meses de novembro, dezembro e janeiro (PINHEIRO *et al.*, 2018).

A utilização da adubação verde em áreas cultivadas com monoculturas de cana-de-açúcar é interessante, visto que este cultivo de longo prazo provoca o empobrecimento das características químicas e microbiológicas e também aumento dos processos erosivos.

Pinheiro *et al.* (2020), ao avaliar áreas com o cultivo de cana-de-açúcar no município de Frutal-MG, observaram que a erosão laminar pode acarretar desequilíbrios ambientais e socioeconômicos, como perda de solo agricultáveis e assoreamento de corpos hídricos. Além da erosão, o uso intensivo de insumos agrícolas podem causar a contaminação do solo e água através da lixiviação de compostos químicos (FÉLIX; NAVICKIENE; DOREA, 2007).

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, com ciclo produtivo de, em média, seis anos com cinco cortes. Após este período, a área de cultivo precisa ser reformada. A reforma do canavial consiste na destruição de modo consciente do cultivo, podendo ser realizado por herbicida ou mecanicamente, com a eliminação das soqueiras. A subsolagem é realizada apenas nos casos de compactação do solo, juntamente com o gradeamento e o nivelamento da área (CRUZ; MAGALHÃES, 2013).

Após este procedimento, e com a análise química do solo, são realizadas a adubação e a calagem a fim de melhorar os atributos químicos e favorecer o plantio subsequente, conforme recomendação técnica de adubação e correção do solo (LUZ; FERREIRA; BEZERRA, 2002).

A reforma do canavial com a adubação verde vem sendo cada vez mais utilizada pelos produtores. A preferência tem sido por espécies de leguminosas, que possuem o diferencial de aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo devido à simbiose da planta com bactérias do gênero *rhizobium* (VIEIRA, 2017). Dentre estas leguminosas, destacam-se o amendoim, a crotalária e a soja, com plantio direto ou sobre solo preparado com a palha incorporada.

A identificação do tipo de cultivo que possui melhor eficiência na recuperação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é importante para o setor produtivo da cana-de-açúcar no ambiente do cerrado mineiro, visto que a adoção de práticas de manejo sustentável traz ganhos ao meio ambiente e, conseqüentemente, aumenta a produtividade agrícola. Espera-se com adoção deste manejo o aumento dos nutrientes e de matéria orgânica, assim como o aumento da microbiota do solo (bactérias e fungos).

Diante da importância do cultivo da cana-de-açúcar e os impactos ambientais que o cultivo pode acarretar ao meio ambiente, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adubação verde com leguminosas já utilizadas na reforma do canavial (amendoim, soja e crotalária) e determinar a contribuição de cada cultura na melhoria da qualidade do solo principalmente química e microbiológica.

No primeiro capítulo foi realizada a introdução do trabalho e a importância da implantação de manejo mais sustentável na reforma do canavial no cerrado.

No segundo capítulo foi apresentado o referencial teórico da importância da adubação verde na avaliação dos atributos químicos e microbiológicos do solo em área de reforma de canavial no cerrado, antes e após o cultivo das leguminosas.

No terceiro capítulo foi avaliada a influência da adubação verde nos parâmetros químicos do solo, antes e após o cultivo da adubação verde.

No quarto capítulo, foi avaliada a microbiota do solo relacionada as bactérias totais, fungos totais, e bactérias fixadoras de nitrogênio do solo, antes e após o cultivo das leguminosas.

REFERÊNCIAS

CRUZ, M. R. O.; MAGALHÃES, M. M. Rotação de culturas e efeito sobre os custos na reforma de canavial na região da alta paulista. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 9, n. 7, 2013. p. 92-109. DOI: 10.17271/19800827972013549.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M; ALMEIDA, D. L. de. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. **Agroecologia: Princípio e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológicas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005, p. 436-451. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap18IDrODRLL1PIX.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

FARIAS, W. M.; PINHEIRO, L. S.; CARDOSO, F. B. F.; MIAZAKI, A. S. Gênese do quartzo em solos de textura média da região de Frutal. In: SOUZA, M. F. P. (org.). **Gênese do quartzo em solos de textura média da região de Frutal**. Alagoinhas: Bordô-Grená, 2019, p. 86-107.

FÉLIX, F. F.; NAVICKIENE, S; DOREA, H. S. Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) como Indicadores da Qualidade dos Solos. **Revista Fapese**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 39-62, jul./dez., 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285771398_Poluentes_Organicos_Persistentes_POPs_como_Indicadores_da_Qualidade_dos_Solos. Acesso em: 13 jan. 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal de Frutal 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 10 jan.2021.

LUZ, M. J. S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo. **Circular Técnica 63**, Campina Grande, PB, p. 1-32, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/19595/1/CIRTEC63.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

PINHEIRO, L. S; CAETANO, J. S; PEREIRA, T. T. C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão Frutal (Frutal – MG). *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO). 12., 2018, Crato/Ceará. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-299-1129.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

PINHEIRO, L. S; SILVA, C. C; CAETANO, J. S; FERNANDES, M. S. Monitoramento de erosão laminar em cultura canavieira em Frutal (MG). **Revista GeoUECE**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 73-85, jul. 2020. Disponível em: <https://revista.uece.br/index.php/GEOUECE/issue/view/25/Artigo%20%20v9%20n2%20esp>. Acesso em 9 ago.2020.

SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Viçosa, v. 28, p. 763-744, jul./ago. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S010006832004000400016>. Acesso em: 3 dez. 2020.

WUTKE, E. B; AMBROSANO, E. J.; GONÇALVES., L. F. R.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H.; DIAS, R. P.; LAURINO, M. S.; GONÇALVES, J. R. A. Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas. **Prorgânico**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Brasília, DF, p. 1-52, dez. 2007. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/sustentabilidade/organicos/arquivos/publicacoesorganicos/cartilha_adubos_verdes_informacoes_tecnicas.pdf. Acesso em: 12 dez. 2020.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Cultura da cana-de-açúcar

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no Brasil no século XVI, quando o país ainda era colônia de Portugal. O plantio se adaptou bem ao clima, à temperatura, ao relevo e à água abundante, transcendendo o tempo e as transformações socioeconômicas, territoriais e tecnológicas. Os engenhos foram substituídos pelas usinas sucroalcooleiras em meados do século XX, as quais passaram a ser denominadas “usinas sucroenergéticas” no início do século XXI (RODRIGUES; ROSS, 2020).

O cultivo de cana-de-açúcar no país expandiu principalmente na década de 70 com a criação do projeto Proálcool, que buscou incentivar o desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao álcool produzido da cana-de-açúcar e que viesse substituir o petróleo que estava em alta, e ainda tornar um produto de exportação (FILHO; RAMOS, 2006).

O Brasil se destaca no cultivo da cana-de-açúcar. Para a safra 20/21 espera-se colher 665,1 milhões de toneladas, que servirão de matéria prima para diversos produtos, tais como alimento, bebida, bioenergia, biocombustível, bioplástico, dentre outros (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar é uma grande fixadora de carbono, e o seu plantio é realizado por toletes. Em média são plantadas de 6 a 12 mudas por metro linear, que são depositadas nos sulcos sob o solo com espaçamento entre linhas simples de um a dois metros, ou linhas duplas espaçadas com 60 cm e com centros de linha de 1,8 a 2 metros (FAO, 2012).

Para o desenvolvimento da cultura são necessários em média de 800 a 2000 mm/ano de água e temperatura média entre de 30° C a 35° C. O período de desenvolvimento do cultivo é de 12 meses a 18 meses, sendo o estágio fenológico da planta definido em quatro fases: a brotação de emergência, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos. Após a primeira colheita, com rebrota da soqueira, é possível colher de 3 a 7 safras, após este período a reforma do canavial é recomendada. (FAO, 2012; VITTI *et al.*, 2005; GASCHO E SHIH, 1983).

Para o pleno desenvolvimento da cultura, os solos, preferencialmente, devem ser profundos, bem drenados e com pH igual 6,0 e 7,5. Na questão nutricional a cultura é exigente e o solo precisa ser fertilizado para que possa suprir as necessidades substanciais principalmente na fase de perfilhamento (FAO, 2012).

Deste modo, o cultivo de cana-de-açúcar necessita de macronutriente e micronutrientes no desenvolvimento, sendo os macronutrientes nitrogênio (N) 143 kg/ha, fósforo (P) 43 kg/ha, potássio (K) 210 kg/ha, cálcio (Ca) 87 kg/ha, magnésio (Mg) 49 kg/ha e enxofre (S) 44 kg/ha e os micronutrientes boro (B) 235 kg/ha, cobre (Cu) 339 kg/ha, ferro (Fe) 7318 kg/ha, manganês (Mn) 2470 kg/ha e zinco (Zn) 592 kg/ha (ORLANDO, 1993).

Desta forma, é importante destacar que parte destes nutrientes absorvido pela planta não retornam ao solo, pelo fato de se concentrarem no colmo da cana que é de interesse da indústria, retornando apenas uma parte que está nas folhas (ORLANDO, 1993). Ressaltando que atualmente até mesmo a palha (folha seca) é de interesse da indústria devido a produção de bioenergia.

1.2 Manejo sustentável e Manejo Conservacionista

O manejo sustentável é a prática desenvolvida na agricultura que busca a utilização dos espaços agrícolas com menor impacto ao meio ambiente. Preconiza a diminuição da utilização de insumos agrícolas, o atendimento das necessidades de alimento, das famílias e da comunidade rural (EHLERS, 2017).

O manejo conservacionista do solo corresponde às técnicas que objetivam a recuperação física, química e biológica do solo com o intuito de favorecer a produtividade agrícola, intencionando o equilíbrio ambiental, de forma a contornar problemas como erosão, umidade, disponibilidade de nutrientes e microbiota (ELTZ; AMADO; LOVATO, 2005).

Entre as recomendações do manejo conservacionista estão: utilizar o solo dentro da sua capacidade, reduzir ou extinguir o revolvimento, manter a cobertura dos resíduos culturais, manter o solo com cobertura permanente, utilizar rotação de cultivo, adubos verdes, plantas de cobertura, plantio em consórcio com outras culturas, diversificação de sistemas agrícolas, o controle do tráfego de máquinas e diminuição de agroquímicos (DENARDIN *et al.*, 2005).

Dentro do contexto da agricultura sustentável e tendo em vista que após a criação do Proálcool, na década de 70, a expansão canavieira ocorreu em solos ocupados anteriormente por pastagens, vegetações de cerrado ou tabuleiros, sendo estes, ecossistemas frágeis e que demandam maior atenção no manejo, estudos têm apontado como necessária a adoção de práticas conservacionistas (ORLANDO FILHO; MACEDO; TOKESHI, 1994).

Deste modo, estas práticas podem beneficiar a produção agrícola em solos já agricultados sem a necessidade do desmatamento de novas áreas (MAROUELLI, 2003), em especial no cerrado mineiro, que compreende 22% do território nacional e se destaca por possuir espécies endêmicas, sendo “hotspot” de flora e fauna (SAWYER *et al.*, 2017; EMBRAPA, 1999).

Entre as ações que podem auxiliar a sustentabilidade agrícola está a adubação verde, na reforma do canavial. Esta é uma técnica que permite a recuperação do solo, favorendo a cobertura e o incremento de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e ainda no caso da adubação verde com leguminosas, auxiliar na fixação do nitrogênio no solo. Entre os cultivos mais utilizados estão às leguminosas como a soja, o amendoim e a crotalária (FERNANDES; CORÁ; MARCELO, 2012; SCHEUER; TOMASI, 2011; GODOY *et al.*, 2007).

O manejo do solo pode impactar o meio ambiente e a agricultura de forma positiva ou negativa. Deste modo, é importante planejar as ações que serão realizadas no solo. O bom manejo é aquele que além de buscar meios de produzir no solo, também busque formas de se apropriar dos serviços ecossistêmicos em favor da qualidade do solo e do meio ambiente (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

1.3 Adubação verde e melhoria dos atributos químicos e biológicos do solo

A adubação verde com leguminosas pode auxiliar na fertilidade do solo através do incremento de matéria orgânica (SILVEIRA NETO *et al.*, 2006) e também no enriquecimento da biomassa microbiana (fungos e bactérias) essencial para diversos serviços ecossistêmicos que envolvem a disponibilidade de nutrientes e a fixação de nitrogênio atmosférico no solo (VALPASSOS *et al.*, 2001; ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005; VIEIRA, 2017).

O enriquecimento dos nutrientes está associado à mineralização da matéria orgânica (MO), que ocorre pela ação dos microrganismos que auxiliam na fertilização do solo através da liberação dos nutrientes. O aumento de MO intervém também no aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), favorecendo na retenção dos nutrientes, diminuindo as perdas pela lixiviação e ainda pode reduzir a toxicidade de Al^{+++} através da produção de ácidos orgânicos que complexa o Al^{+++} presente no solo (KIEHL, 1985; LIU; HUE, 1996).

Os nutrientes recompostos pela matéria orgânica permanecem por mais tempo no solo, enquanto que os fertilizantes minerais, podem ser absorvidos rapidamente ou lixiviados por

serem altamente solúveis. Além dos benefícios nutricionais para o solo e planta, a adubação verde favorece a manutenção umidade, visto que a cobertura da planta possibilita a diminuição da evaporação da água, e favorecendo a percolação da água no solo (DE-POLLI *et al.*, 1996; RONQUIM, 2010).

Na busca destes benefícios já citados, principalmente na recuperação de solos de reforma de canavial, as leguminosas na adubação verde com o amendoim, a crotalária e a soja podem auxiliar na recuperação de solos agrícolas de forma econômica e favorável ao meio ambiente.

1.4 Cultura do amendoim

O cultivo do amendoim apresenta baixa exigência nutricional, desenvolvendo-se bem em solos arenosos, podendo ser utilizado como adubação verde e na reforma do solo de canavial. A cultura favorece o incremento de matéria orgânica e a fixação biológica do nitrogênio, o que pode diminuir a necessidade da adução do nitrogenada no solo e ainda ser economicamente viável ao agricultor (SANTOS; FREIRE; SUASSUNA, 1996).

O plantio é realizado em sulcos ou leirões de forma manual ou mecanizada, a planta possui sistema radicular pivoltante, podendo ter o porte ereto ou rasteiro, com floração entre 20 e 35 dias para o porte ereto e 35 e 45 dias para o rasteiro, perdurando até o fim do ciclo (SANTOS; FREIRE; SUASSUNA, 1996).

Para o cultivo do amendoim são necessários em média 64 a 90 kg de semente por hectare, recomendando-se espaçamentos que podem variar de 0,2 a 0,7 m, entre as linhas. É também necessário o manejo das daninhas após 40 dias de emergência da planta por meio de capina manual ou herbicidas, recomendando-se ainda que as vagens que emergirem sobre o solo sejam recobertas. Para o tratamento das pragas, devem ser utilizados fitossanitários registrados para o cultivo. A colheita é realizada de forma manual ou mecanizada no final do ciclo da planta que em média é 180 dias. As vagens são deixadas sobre o solo para secarem e posteriormente são armazenadas em sacos, com os grãos nas vagens, em local seco e sem presença de luz (SANTOS; FREIRE; SUASSUNA, 1996).

Na adubação verde o amendoim é utilizado na reforma do canavial, principalmente no estado de São Paulo. Estudos de Ambrosano *et al.* (2010) relatam que esta leguminosa possui papel importante na reciclagem de nutrientes. Estes autores constataram maiores acúmulos de nutrientes, principalmente micronutrientes como boro, ferro e mangânes na parte aérea do

amendoim quando comparado com outras leguminosas, e constataram ainda que na reforma do canavial, após a adubação verde com amendoim, houve aumento da produtividade do colmo da cana-de-açúcar principalmente na primeira safra.

Segundo dados do IBGE (2019), o município de Frutal-MG produziu 3.134 toneladas de amendoim no ano de 2019 em 660 hectares plantados.

1.5 Cultura da crotalária

Com 690 espécies, a crotalária é um dos maiores gêneros da família de leguminosas. Estas espécies se caracterizam por ter o porte ereto e arbustivo. As folhas podem ser simples, unifolioladas ou trifolioladas, e suas flores são de cor amarela com estames monadelfos, formando um tubo aberto por uma fenda, anteras dimorfas e legumes inflados onde são armazenadas as sementes (GARCIA *et al.*, 2013).

Das espécies, a *Crotalaria spectabilis* Roth (Fabaceae) desenvolve-se bem em solos de diferentes texturas e inclusive naqueles pobres em fósforo, sendo favorável o seu cultivo em clima tropical e subtropical. A *C. spectabilis* é a espécie mais tóxica, não podendo ser utilizada na alimentação. No cultivo recomenda-se o espaçamento 0,5m entre filas com plantio de 30 a 35 sementes por metro linear, podendo ainda ser cultivada pelo método de lançamento, com plantio em média de 15 kg/ha de semente. O período de desenvolvimento total da planta é de 120 a 150 dias com necessidade pluviométrica de 800 mm, sendo que a produção de matéria verde em varia de 20 a 30 t/ha (BARRETO; FERNANDES, 2001; FORMENTINI, 2008; RAMOS, 2017; WUTKE *et al.*, 2007; VILELA, 2009).

Além do incremento de matéria verde, a crotalária favorece a fixação de nitrogênio através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, grandes fixadores de nitrogênio atmosférico, e ainda atua como fitossanitária por ser má hospedeira de nematoides, inibindo a sua multiplicação (WANG; SIPES; SCHMITT, 2002; LUZ *et al.*, 2005; BODDEY *et al.*, 2006; AGUIAR *et al.*, 2014).

Na reforma do canavial, Scheuer e Tomasi (2011), avaliando duas espécies de crotalária constataram eficiência no incremento de matéria orgânica no solo, na adição de nutrientes como fósforo, potássio, zinco, cálcio e magnésio, verificou ainda o aumento na CTC e na saturação de bases do solo.

1.6 Cultura da soja

A soja, conforme manual da Embrapa (2005), é um cultivo com grande retorno econômico para o agricultor, sendo uma excelente alternativa para áreas de reforma de canavial e, assim como as demais leguminosas, tem potencial simbiótico com bactérias fixadoras de nitrogênio, podendo auxiliar na melhoria da qualidade do solo.

A necessidade nutricional do cultivo em ordem decrescente é N>K>Ca>Mg>P>S, sendo a maior absorção de macronutrientes entre 39 e 58 dias do plantio, atingindo o máximo de absorção dos nutrientes entre 82 e 92 dias. A necessidade pluviométrica é de 450 a 800 mm durante o ciclo, sendo a maior necessidade pluviométrica, na época da floração e enchimento dos grãos sendo necessário de 7 a 8 mm/dia (CARMELLO; OLIVEIRA, 2006; EMBRAPA, 2008).

A época de semeadura geralmente é entre outubro – dezembro e deve ser plantada na profundidade de três a cinco centímetros com espaçamento entre linhas de 0,40 a 0,50 cm. (EMBRAPA, 2005).

O manejo das ervas daninhas é realizado por controle químico ou através da eliminação das plantas invasoras. Nos casos de infestação de pragas, o controle químico é indicado com produtos registrados para a cultura. A colheita deve ser realizada quando a umidade dos grãos estiver entre 13 e 15% .

Segundo pesquisa do IAC (2012), o cultivo de soja promove a fixação de 100 a 160 kg de N por hectare devido ao seu potencial simbiótico com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, e ainda diminui os custos da produção sucessora devido ao efeito residual de N dos restos culturais do cultivo.

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, sendo um dos cultivos mais rentáveis do país. Segundo dados da CONAB (2021), a safra estimada de produção 20/21 é de 135,4 milhões de toneladas. No município de Frutal-MG na safra de 2018 foram plantados 20.500 ha com produção de 63.960 toneladas (IBGE, 2019).

1.7 Efeitos da adubação verde na microbiota do solo

A adubação verde se difere das plantas de cobertura apenas pelo manejo da biomassa. Neste sistema as plantas são incorporadas no solo, enquanto que nas plantas de cobertura a

biomassa é depositada sobre o solo, formando uma camada de proteção. No que se refere à decomposição da matéria orgânica na adubação verde, o processo é mais rápido, enquanto nas plantas de cobertura a decomposição e disponibilidade de nutrientes é mais lenta (BALBINOT, 2011).

A adubação verde contribui no incremento da matéria orgânica no solo. Os resíduos vegetais auxiliam no aumento da atividade biológica, beneficiando a ciclagem de nutrientes, a estruturação do solo e retenção da umidade (LEHMAN *et al.*, 2015; HATFIELD; SAUER; CRUSE, 2017).

A biomassa microbiana, parte viva do solo, pode ter competência de ser fator avaliativo da qualidade do solo, visto que exerce controle na decomposição da matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes por meio de processos bioquímicos, tais como a mineralização e a imobilização dos nutrientes (SINGH *et al.*, 1989; BALOTA *et al.*, 1998).

O processo de mineralização é o responsável por disponibilizar nutrientes da matéria orgânica para o solo, sendo acompanhado da imobilização, que, por sua vez, consiste na retenção destes nutrientes pela matéria orgânica. A mineralização e a imobilização ocorrem em diversos nutrientes essenciais para as plantas, entre estes carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (BARTHOLOMEW, 1965; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

O aumento da microbiota favorece, para fins de práticas agrícolas conservacionistas e sustentáveis, o isolamento de microrganismos com funções de interesse agrônomo. Este enriquecimento intencional acarreta diversos benefícios, já que os nutrientes do solo podem ser utilizados com maior eficácia e ainda auxiliar na bioremediação de pragas e doenças (GOI; SOUZA, 2006).

Dentre as quantificações de microrganismos possíveis de serem realizadas, podemos apontar a quantificação de microrganismos totais, fungos totais e bactérias fixadoras de nitrogênio, por métodos de Olsen e Bakken (1987); Sorheim; Torsvik; Goksoyr. (1989); Martin (1950); Döbereiner *et al.* (1995). Esta quantificação microbiana é viável para avaliar a recuperação da biota microbiana frente aos manejos agrícolas adotados.

1.8 Fungos

Os fungos pertencem ao Reino Fungi, onde concentram as diversas espécies de cogumelos, bolores, orelhas-de-pau e leveduras. Apesar de ser amplamente associados a

doenças, os fungos são extremamente importantes para o meio ambiente e para os seres vivos devido aos serviços ecossistêmicos que realizam e ainda servem de matéria-prima na produção de medicamentos e alimentos (SANTOS, 2015).

Os fungos podem ser encontrados em diversos ambientes. Além das espécies saprobientes, que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, temos ainda o simbioses, que se relacionam com outros organismos de forma mutualística, parasitismos e até mesmo predadorismo (SANTOS, 2015).

Na agricultura, os fungos estão presentes na microfauna do solo e podem trazer prejuízos ao agricultor, estando relacionados a doenças como *Fusarium*, que causa a murcha da soja, e *Bipolaris sorokiniana*, que provoca a podridão das raízes. Entretanto, os fungos são essenciais para o meio ambiente, pois participam da decomposição da matéria orgânica no solo e favorecem a disponibilização de nutrientes para as plantas. Entre os fungos benéficos encontram-se os micorrízicos, que se associam as raízes das plantas e auxiliam no seu desenvolvimento e são responsáveis pelo aumento da absorção de fósforo, cobre, zinco e molibdênio (SOUZA; SILVA, 1996; MICHEREFF; ANDRADE; MENEZES, 2005; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Sem essa associação das plantas com os fungos, não seria possível a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular, que torna as plantas capazes de manter o seu crescimento. A associação dos fungos nas raízes das plantas é denominada micorriza, que pode ser classificada como ectomicorrizas, onde as hifas enrolam nas raízes ou arbusculares, penetrando na parede celular, porém, sem atingir a membrana plasmática, e formando estruturas arbusculares que se assemelham às árvores (SADAVA *et al.*, 2009).

Esta relação simbiótica entre planta e fungos micorrízicos está estabelecida há mais de 400 milhões de anos, sendo que a maioria das plantas terrestre (cerca de 90%) desenvolve associações micorrízicas (KISTNER; PARNISKE, 2002).

No levantamento bibliográfico de Soares *et. al.* (2011), constata-se que vários estudos vem sendo desenvolvidos utilizando-se do potencial bioremediador dos fungos como forma de recuperar áreas degradadas por compostos químicos, metais pesados e pesticidas, ressaltando a necessidade de mais estudos que foquem na biorremediação e no combate da poluição.

No solo os fungos são altamente sensíveis, podendo ter sua população reduzida ou exterminada em solos com exploração agrícola intensiva, pousio, inundados ou ocupados pela mineração (BRUNDRETT, 1991).

Em solos agrícolas quando bem manejados os fungos micorrízicos podem possibilitar a redução da utilização de fertilizantes que além de, serem onerosos ao agricultor pode acarretar impactos ambientais (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Em busca dos benefícios relatados e visando ao aumento da população de fungos micorrizos arbusculares em solos de cerrado que naturalmente é mais baixa, Miranda *et al.* (2001) enfatizam que o cultivo de forrageiras, adubos verdes e leguminosas favorece o aumento gradativo da população microbiana do solo.

Em sua pesquisa Ferreira, Guardiano e Costa (2020) enfatizam que a quantificação das comunidades microbianas de fungos em solos agrícolas podem ser indicadores que auxiliam no planejamento e na recuperação do solo agrícolas no cerrado.

Diante da importância ambiental e econômica dos fungos de solos no cerrado, observa-se carência de estudos sobre estes microrganismos, em especial em áreas de reforma de canal com cultivo de leguminosas. Assim, a quantificação de comunidades microbianas pode ser uma importante ferramenta para conhecer e traçar estratégias de recuperação da atividade fúngica e preservação deste importante bioma.

1.9 Bactérias fixadoras de nitrogênio

O nitrogênio (N) ocorre em grandes concentrações na atmosfera na sua forma gasosa (N_2), muito embora cerca de 78% do elemento nesta forma não esteja disponível para as plantas, dificultando o aproveitamento agrícola. Para que o nitrogênio possa ser aproveitado de forma eficiente na agricultura, as bactérias fixadoras de nitrogênio possuem papel importante na fixação de N no solo (RUFFINI, 2010; VIEIRA, 2017).

As bactérias mais comuns são as que promovem a formação de nódulos a partir da infecção do sistema radicular da planta com a qual fazem simbiose. Após a nodulação, esses microrganismos fixam o nitrogênio que é convertido em amônia (NH_3) através de dois processos químicos: (i) nitrosação, que consiste na oxidação da amônia em nitrito (NO_2) e que é realizada pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*, e (ii) nitrificação, consistente na oxidação do nitrito em nitrato (NO_3), que é realizado por bactérias do gênero *Nitrobacter*, tornando o nitrogênio disponível para as plantas. Além da fixação de nitrogênio

no solo, estas bactérias do gênero *Rhizobium* ainda são capazes de produzir hormônios vegetais que podem favorecer o crescimento das plantas (MOREIRA *et al.*, 2010; VIEIRA, 2017).

Diante da importância do cultivo da cana-de-açúcar e dos impactos ambientais que o cultivo pode acarretar ao meio ambiente, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adubação verde com leguminosas já utilizadas na reforma de canavial (amendoim, soja e crotalária) e determinar a contribuição de cada cultura na melhoria da qualidade do solo principalmente química e microbiológica.

Para tanto, foram utilizadas leguminosas em uma área de reforma de canavial no cerrado mineiro, especificamente no município de Frutal-MG, que possui como solo característico o latossolo vermelho – amarelo de textura arenosa e areno-argilosa profundos, bem drenados e de baixa fertilidade (PINHEIRO *et al.*, 2018).

O município é o 10º produtor de cana-de-açúcar do país, sendo que em 2019, foram cultivados 55360 ha com rendimento de 80,831 Kg/ha (IBGE, 2020). A entressafra ocorre entre os meses de outubro e março, meses com grande precipitação pluviométrica. A adubação verde é importante na entressafra e principalmente na reforma do canavial, visto que o solo exposto está vulnerável à erosão hídrica e à lixiviação de nutrientes.

O conhecimento de qual leguminosa tem o melhor desempenho na recuperação do solo é vital para o manejo agrícola conservacionista da reforma do solo de cultivo de cana-de-açúcar, visto que, o agricultor poderá definir qual leguminosa melhor atende suas necessidades.

Objetivos específicos:

- Avaliar a produção de matéria orgânica das culturas de crotalária, amendoim e soja na adubação verde da reforma do canavial;
- Avaliar as características físico-químicas do solo antes e após a adubação verde, por meio da comparação das análises do solo, antes e após plantio.
- Quantificar a microbiota do solo antes e após a adubação verde.
- Identificar qual cultura favoreceu na recuperação química e microbiológica do solo.

A hipótese:

- A adubação verde, com leguminosas, em solos de reforma de canavial favorece o aumento da matéria orgânica, os atributos químicos e microbiológicos do solo.

REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R. C. H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, ELIANA A., MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. *Scientia Agricola*, v.67, n.6, p. 692-701, nov./dec. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600011>. Acesso em: 24 maio 2021.

AGUIAR, A. T. E; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S; CASTRO, C.E.F. **Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas**. Ed.7. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 162-165 2014. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacboletim200.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

BALBINOT., M. **Manejo do solo e componentes do rendimento de pomar de pessegueiro**. Orientador: Dr. CONCEIÇÃO, P. C. 2011. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/219/1/PB_PPGA_M_Balbinot%20c%20Marciano_2011.pdf. Acesso em: 25 set. 2020.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 641-649, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006831998000400009&lng=en&nrm=iso. Acessado em 29 mar. 2021.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. **Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 24 p, 2001 (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular técnica, 19). Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2001/CircularT_19.pdf. Acesso: 25 jul. 2021

BARTHOLOMEW, W.V. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W. V.; CLARK, F. E. (eds.). **Soil nitrogen**. Madison: ASA, 1965, p. 285-306.

BODDEY, M. R; ALVES, B. J. R; REIS, V. M; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio em agroecossistemas e raízes de plantas. In: UPHOFF, N. (ed.). **Abordagens biológicas para sistemas de solo sustentáveis**, Boca Raton: CRC, 2006. p. 177-189.

BRUNETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *In*: M. BEGON, A. H.; FITTER, A. MACFADYEN (eds.). **Advanced Ecological Research**, Academic Press, v. 21, p.171-313, 1991.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicab: ESALQ, 2016.

CARMELLO, Q. A. C. ; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Visão Agrícola**, Piracicaba , v. 3, n.5, p. 8-11, jan./jun., 2006.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 7 – Safra 2019/20, n. 3 – Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-62, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DENARDIN, E. L.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. Agricultura Conservacionista – Sistema Plantio Direto. *In*: DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo de Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005, p. 14-16.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A. Adubação verde: parâmetros para avaliação de sua eficiência. *In*: CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. (eds.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: Iapar/SBCS, 1996. p. 225-242.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Itaguaí: Embrapa- Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, 1995.

EHLERS, E. **O que é agricultura sustentável**. Brasília: Brasiliense, 2017.

ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; LOVATO, T. **Apostila de manejo e conservação do solo**. Santa Maria, 2005, p. 1-89.

EMBRAPA CERRADOS. **Embrapa Cerrados: conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Documentos 4, v.01, 1999.

EMBRAPA. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa Transferência de Tecnologia, 2005.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAO200909/31357/1/Tecnol2009.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Campina Grande, PB, Setembro, 2012. (Circular técnica 133). ISSN 0100-6460 . Disponível : <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>

/digital/bitstream/item/68394/1/CIRTEC133-tamanho-grafica-2.pdf. Acessado : 29 jul.2021. p. 1-21.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. *In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R. L. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológicas, 2005, p. 437-451.

FAO. **Crop yield response to water**. Italy: FAO, 2012.

FEIDEN, A. Agroecologia: introdução e conceitos. *In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. (Ed.). Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, p. 49-70.

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two latosols (oxisols). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832012000100029&lng=es&nrm=iso. Acessado em 17 nov. 2019.

FERREIRA, O. F.; GUARDIANO, B. C. R.; GRAVATIM, G. H. C. Quantificação de fungos em solo de cerrado sob reforma com leguminosas. *In: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 7., Poços de Caldas-MG. Anais [...]*. Disponível em: <https://meioambiente.pocos.com.br/ANAIS%202020/653%20QUANTIFICA%C3%87%C383O%20DE%20FUNGOS%20EM%20SOLO%20DE%20CERRADO%20SOB%20REFORMA%20COM%20LEGUMINOSAS.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

FILHO, A. A. V.; RAMOS, P. Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 36, p. 48-61, 2006.

FORMENTINI, E., A. Cartilha sobre adubação verde e compostagem. **Incaper**, Vitória, p. 1-27, 2008. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3718>. Acesso em: 12 jan. 2021.

GARCIA, J. M.; KAWAKITA, K.; MIOTTO, S. T. S.; SOUZA, M. C. O gênero *Crotalaria* L. (Leguminosae, Faboideae, Crotalariaeae) na Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 209-226, 2013. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2361/1198>. Acesso em: 25 jul.2021.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. *In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (eds.). Crop-water relations*. New York: Wiley-Interscience, 1983, p. 445-479.

GODOY, I. J. de; SANTOS, J. F. dos; MICHELOTTO, M.; MORAES, A. R. A. de.; BOLONHEZI, D.; FREITAS, R. de; CARVALHO, C. R. de; FINOTO, E. L.; MARTINS, A. L. M. IAC OL 5 – New high oleic runner peanut cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 295–298, 2017.

GOI, S. R.; SOUZA, F. A. de. Diversidade de microrganismos do solo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 46-65, 2006.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; CRUSE, R. M. Soil: The forgotten piece of the water, food, energy nexus. In: SPARKS, D.L. **Advances in Agronomy**. [S. l.]. Academic Press, 2017. p. 1-46.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal Frutal 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/frutal/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10250>. Acessado em: 22 mar. 2021.

IAC Notícias. **Sistema de rotação de cultura com a soja, estudado pelo IAC, diminui e até dispensa aplicação de nitrogênio no solo**. 2012. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?pag=6&ano=2012&id=754>. Acesso em: 24 maio 2021.

KHIEL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, Piracicaba, São Paulo, p. 492, 1985.

KISTNER, C.; PARNISKE, M.. Evolution of signal transduction in intracellular symbiosis. **Journal Trends Plant Science**, [S. l.], vol. 7, n. 11, , 2002. p. 511-518. DOI: 10.1016/s1360-1385(02)02356-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138502023567>. Acesso em: 24 maio 2021.

LEHMAN, R.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; BUYER, J.; CAMBARDELLA, C.; COLLINS, H.; DUCEY, T.; HALVORSON, J.; JIN, V.; JOHNSON, J.; KREMER, R.; LUNDGREN, J.; MANTER, D.; MAUL, J.; SMITH, J.; STOTT, D. Soil biology for resilient, healthy soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, [S. l.] vol. 70, n. 1, , 2015. p. 12A-18A. DOI: 10.2489/jswc.70.1.12A. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/70/1/12A>. Acesso em: 24 maio 2021.

LIU, J.; HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, vol. 21, n. 4, p. 264-270, 1996.

LUZ, P. H.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A; OLIVEIRA, D. B. **Utilização de adubação verde na cultura de cana de açúcar**. Piracicaba: Esalq-USP/Gape/Usina São Maciel, p. 53, 2005. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/aduba%25E7%2E3o+verde+em+cana-de-acucar000fizudqsj02wyiv802hvm3jh538eng.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, [S. l.], vol. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

MAROUELLI, R. P. **O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro**. 2003. Orientador: Ph.D. BEEKMAN, G. B. 2003. 64 f. Monografia (Pós-Graduação, em nível de Especialização Lato Sensu, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura

Irrigada) – ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, DF, 2003. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Desenvolvimento_sustentavel_agricultura_cerradoID-UkZstU83ek.pdf. Acesso em: 26 jun. 2020.

MARTIN, J. P. Use of acid, rose bengal, and estreptomycin in the plate method for estimating soil fungi. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], vol. 69, p. 215-232, 1950.

MIRANDA, J. C.; MIRANDA, L. N.; VILELA, L.; VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo das micorriza Arbuscular por meio de rotação de culturas no sistemas agrícolas do cerrado**. Comunicado Técnico, 42, Brasília, p. 1-3, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/20763/1/comtec-42.pdf>. Acesso em: 03 de mar. 2021.

MICHEREFF, S. J; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e Manejo de Patógenos em Solos Tropicais**. Recife: UFRP – Imprensa Universitária, 2005 p. 398.

ORLANDO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. *In*: CÂMARA, G. M. S; OLIVEIRA, E. A. M. (eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993, p.133-146.
ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canal: **POTAFOS**, Piracicaba, n. 67, p. 1-17, 1994. Disponível em: <https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3142>. Acesso em: 23 mar. 2021.

OLSEN, R. A.; BAKKEN, L. R. Viability of soil bacteria: optimization of plate counting technique and comparison between total counts and plate counts within different size groups. **Microbial Ecology**, [S. l.], vol.13, n. 1, p. 59-74, jan., 1987.

PINHEIRO, L. S; CAETANO, J. S.; PEREIRA, T. T. C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão frutal (Frutal-MG). *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO), 12., 2018, Crato/CE. **Anais [...]**. Crato: SINAGEO, 2020. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9299-1129.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

RAMOS, E. M. **Componentes produtivos e produtividade de grãos de milho em função de densidades de crotalaria spectabilis semeadas em consórcio**. Orientador: ZANUZO, M.R. 2017. 31 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso - Campus de Sinop Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Sinop – MT, 2017. Disponível em: <https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/749/1/TCC2016Eduardo%20Megier%20de%20Ramos.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 2020. Disponível em: http://www.edufu.ufu.br/sites/edufu.ufu.br/files/edufu_a_trajetoria_da_canadeacucar_no_brasil_2020_ficha_corrigida.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa 8 e Desenvolvimento**, Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010, p. 1-26. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de->

publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioestropi cais. Acessado em: 23 mar. 2020.

RUFINI, M. **Eficiência da simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro comum em diferentes condições de pH.** Orientador: Dra. MOREIRA. F.M.S. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SADAVA, D.; HELLER, H. C.; ORIAN, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da biologia. Volume II: Evolução, Diversidade e Ecologia.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

SANTOS, E. R. D. **Material Complementar ao livro Sistemática Vegetal I: Fungos.** Florianópolis, 2015, p. 1-47. Disponível em: <https://uab.ufsc.br/biologia/files/2020/08/Fungos.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; SUASSUNA, T. M. F. **Amendoim: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578407/1/500perguntasamendoim.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SAWYER, D.; MESQUITA, B.; COUTINHO, B.; ALMEIDA, F. V. de; FIGUEIREDO, I.; LAMAS, I.; PEREIRA, L. E.; PINTO, L. P.; PIRES, M. O.; KASECKER, T. Perfil do Ecossistema Hotspot de Biodiversidade do Cerrado. **Critical Ecosystem Partnership Fund**, 2017.

SCHEUER, J. M.; TOMASI, D. B. A crotalária na adubação intercalar e reforma do cultivo de cana-de-açúcar. **Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI**, Erechim/RS, vol. 7, n. 12, p. 81-90, 2011.

SORHEIM, R.; TORSVIK, V.L.; GOKSOYR, J. Phenotypical divergences between populations of soil bacteria isolated on different media. **Microbial Ecology**, [S. l.], vol. 17, p. 181-192, 1989.

SOUZA, F.A.; SILVA, E. R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. *In*: Siqueira, J. O. (ed.) **Avanços em Fundamentos e Aplicação de Micorrizas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996, p. 255-290.

SILVEIRA NETO, A. de; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejos e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], vol. 36, n. 1, p. 29-35, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28460/1/pat36n1silveira.pdf>. Acesso em: 27 maio 2020.

SINGH, J; RAGHUBANSHI, A; SINGH, R; SRIVASTAVA, S. C. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, [S. l.], n. 338, p. 499-500, 1989.

SOARES, I. A.; FLORES, A. C.; MENDONÇA, M. M.; BARCELOS, R. P.; BARONI, S. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, [S. l.], n. 78, p. 341-350, 2011. DOI: 10.1590/1808-1657v78p3412011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/YfMrd83Hh6LtZvccwhYYmLL/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2021.

VALPASSOS, M. A. R; CAVALCANTE, E. G. S; CASSIOLATO, A. M. R; ALVES, M. C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, [S. l.], vol. 36, n. 12, p. 1539-1545, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/NFfgVQ9SZsPcLY3Rn4xLvvh/?lang=en>. Acesso em: 22 jun. 2020.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [S. l.], vol. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-0683200900040000>. Acesso em: 23 mar. 2021.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VILELA, H. **Série Leguminosas Tropicais – Gênero Crotalária**. 2009. Disponível em: http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_leguminosas_tropicais_crotalaria.html. Acesso em: 12 mar.2021.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: USP/ESALQ, 2009. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/agrominerais/livros/CanaAcucar.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar**. ESALQ/USP, Bebedouro SP, 2005. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 763-744, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0683200400040016. Acesso em: 3 dez. 2020.

WANG, K.H; SIPES, B. S; SCHMITT, D. P. Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**. [S. l.], vol. 32, n. 1, p.35-57, jun. 2002.

WUTKE, E.B; AMBROSANO, E.J.; GONÇALVES., L.F. R.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H.; DIAS, R. P.; LAURINO, M. S.; GONÇALVES, J. R. A. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes**: informações técnicas. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

CAPÍTULO 3 – BENEFÍCIOS DO PLANTIO DE LEGUMINOSAS SOBRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE RENOVAÇÃO DE CANAVIAL

RESUMO

O desenvolvimento econômico e social de uma região deve ser respaldado nos princípios da sustentabilidade ambiental. Nos cultivos, o manejo sustentável deve ser aplicado a fim de preservar o solo e o meio ambiente. Com o intuito de adotar manejos agrícolas conservacionistas, a adubação verde beneficia o solo, possibilitando a ciclagem de nutrientes. Este trabalho tem como objetivo avaliar os atributos químicos do solo antes e após a adubação verde com as leguminosas, amendoim, *Crotalaria spectabilis* e soja. Para tanto foram analisadas a produção de matéria verde, seca e o nitrogênio foliar das leguminosas (folhas e caule) e as características químicas do solo (P, Mo, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , H+Al, SB, CTC, V %) antes e após o cultivo da adubação verde no município de Frutal-MG. Foram utilizadas as leguminosas amendoim (Sementes Esperança[®]), *Crotalaria spectabilis* (Radrifo[®]) e soja (NS 7667 IPRO[®]). Para o plantio das leguminosas foi realizado o preparo do solo com NPK na fórmula de 05-25-25 kg/ha⁻¹. Antes do cultivo e ao final do ciclo dos adubos verdes, foi feita a coleta do solo nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm. Nestas amostras, foram determinadas a umidade e as características químicas do solo. Dos adubos verdes determinou-se o número de plantas por m², a taxa de cobertura do solo (%), a biomassa fresca e seca por área total e a relação entre matérias seca e fresca (%) todas em t/ha⁻¹. Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey (P≤0,05) utilizando o *Software* AgroEstat. A adubação verde contribui de forma significativa para a recuperação dos atributos químicos do solo. Observou que a *C. spectabilis* foi a leguminosa que mais favoreceu a ciclagem de nutrientes no solo na profundidade de 0-10 cm com aumento na concentração em relação ao solo pré plantio MO, Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; SB; CTC, V%. O amendoim foi a leguminosa que mais favoreceu o solo na profundidade de 10-20 cm com o aumento no incremento de P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC e V%. Todos os cultivos foram eficientes na cobertura do solo com taxa de 100%. Em relação à produção de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e percentagem da relação entre matérias seca e fresca (RS/F) a *C. spectabilis* e a soja foram os cultivos mais eficientes na incorporação de biomassa no solo. Na análise do nitrogênio foliar não houve diferença estatística entre os cultivos. A mensuração da contribuição destas espécies para o solo é importante para aferir qual cultura é melhor para a recuperação do solo agrícola no cerrado. A pesquisa constatou que no cerrado mineiro a *C. spectabilis* e o amendoim são eficientes na recuperação dos atributos químicos do solo e na produção de biomassa a *C. spectabilis* e a soja que se destacam.

Palavras-chave: Adubação verde. Sustentabilidade agrícola. Recuperação química do solo.

ABSTRACT

The economic and social development of a region must be supported by the principles of environmental sustainability. In agriculture, sustainable management must be applied in order to preserve the soil and the environment. Aiming at adopting conservation agricultural managements, green manure benefits the soil by enabling the cycling of nutrients. This work aims to evaluate the chemical attributes of the soil before and after green manuring with legumes, peanuts, sunn hemp *spectabilis* and soybean. For this purpose, the production of green and dry matter and leaf nitrogen of legumes were evaluated and the chemical characteristics of the soil (P, Mo, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB, CTC, V %) were analyzed before and after the cultivation of green manure in the municipality of Frutal, MG. Legumes, peanuts (Sementes Esperança®), *Crotalaria spectabilis* (Radrifo®) and soybeans (NS 7667 IPRO®) were used. For the planting of legumes, soil preparation was carried out with NPK in the formula of 05-25-25 kg/ha⁻¹. Before cultivation and at the end of the green manure cycle, the soil was collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm, in which the moisture and chemical characteristics of the soil were determined. From the green manures, the number of plants per m² was determined, the soil cover rate (%), the fresh biomass per total area, fresh and dry biomass, and the dry and fresh matter ratio (%) all in t/ ha⁻¹. The data obtained in the experiment were subjected to analysis of variance by the F test and comparison of means by the Tukey test (P≤0.05) using the AgroEstat software. Green manure significantly contributes to the recovery of soil chemical attributes. It was observed that the *Crotalaria Spectabilis* was a legume that favored the cycling of nutrients in the soil at a depth of 0-10cm with an increase in concentration compared to the soil before planting MO, Ca²⁺; Mg²⁺; SB; CTC, V%. Peanut was the legume that most favored the soil at a depth of 10-20cm with the increase in the increment of P, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, CTC and V%. All crops were efficient in covering the soil with a rate of 100%. Regarding the production of fresh matter (MF), caeca matter (DM) and percentage of the dry and fresh matter (RS/F) ratio, sunn hemp *spectabilis* and soybean were the most efficient crops in the incorporation of biomass into the soil. In the analysis of leaf nitrogen there was no statistical difference between crops. It is important to measure the contribution of these species to the soil to determine which crop is best for the recovery of agricultural soil in the cerrado. production of biomass, *crotalaria spectabilis* and soybeans that stand out.

Key words: Green manure. Agricultural sustainability. Chemical soil recovery.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar é essencial para a economia brasileira, sendo um dos cultivos mais rentáveis. No ano de 2020, segundo dados elaborado pela UNICA (2020), o país exportou 27 bilhões de toneladas de açúcar e mais de 2 bilhões de litros de etanol. Na safra 20/21 espera-se colher cerca de 665,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

O cultivo é realizado de forma mecanizada e por meio de mudas (toletes) que se desenvolvem durante 12 a 18 meses, dependendo da espécie. Após a primeira colheita pode-se ainda realizar em média de 5 a 7 cortes, sendo que após este período, em média 5 anos, ocorre a reforma do canavial (VITTI *et al.*, 2005; FAO, 2012; CRUZ; MAGALHÃES, 2013).

O intuito da reforma do canavial é manter a produtividade do cultivo. Desta forma, após 5 anos o plantio de cana-de-açúcar é retirado do solo para que seja realizado o manejo da área, com as devidas correções químicas e preparos agrícolas. A adubação verde, quando utilizada na reforma do canavial, tem o intuito de melhorar os atributos do solo, sendo as espécies de leguminosas as mais utilizadas para este fim.

Estas espécies de planta possuem como diferencial a fixação de nitrogênio atmosférico no solo através da simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*. As leguminosas favorecem a colonização das bactérias de vida livre que são estimuladas a se aglomerar em volta das raízes, favorecendo a ciclagem dos nutrientes e consequentemente aumentando a qualidade do solo (VIEIRA, 2017).

Considerando a importância da agricultura, em especial do cultivo de cana-de-açúcar, práticas agrícolas que visem à conservação dos solos agrícolas devem ser implementadas a fim de tornar o cultivo mais sustentável, buscando relacionar os recursos naturais, humanos, econômicos e físicos de forma compatível com o desenvolvimento econômico e o bem-estar a longo prazo, preservando os recursos naturais e a sobrevivência das gerações futuras (CUNHA *et al.*, 1994).

A adubação verde é um manejo sustentável que objetiva aumentar a matéria orgânica no solo e diminuir os insumos agrícolas para a recuperação do solo, aumentando a disponibilidade dos macro e micronutrientes através do aumento da CTC, que possibilita ciclagem e da mobilização dos nutrientes e ainda favorece o aumento sua fauna edáfica do solo (CALEGARI *et al.*, 1993; CIOTTA *et al.*, 2003; AMBROSANO *et al.*, 2005).

Os efeitos da adubação verde segundo Alcântara *et al.* (2000) são variáveis, pois dependem de fatores como o local, época do plantio, espécie, manejo da biomassa, tempo de decomposição dos resíduos e a interação destas variáveis.

Em pesquisa realizada no bioma cerrado, Amabile (1996) testou quatro espécies de leguminosas (*Crotalaria juncea* L., Mucuna preta, Feijão gandu e *C. ochleuca*) e constatou a influência destas leguminosas nos teores de nitrogênio, fósforo e potássio. Atestou ainda que a época de semeadura interfere nos teores de N, P e K na parte aérea da planta. Nessa pesquisa, o gandu e *crotalaria juncea* se destacaram na produção de fitomassa seca.

Na busca de conhecer qual espécie é mais eficiente na recuperação de solos em reforma de canal no ambiente cerrado, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos do solo antes e após a adubação verde com as leguminosas, amendoim, *C. spectabilis* e soja. Para tanto, foram analisadas a produção de matéria verde, seca e o nitrogênio foliar das leguminosas e as características químicas do solo (P, Mo, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB, CTC, V %) antes e após o cultivo da adubação verde.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área experimental situa-se no município de Frutal-MG, localizado na latitude sul 20°1'29" e longitude oeste de 48°56'26", na altitude 516m. O relevo é plano ou suavemente ondulado, o que facilita a mecanização agrícola. Segundo Rubel (2010), o clima da região é o tropical com inverno seco (AW). O solo da região é o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. São solos altamente intemperizados, profundos, com boa drenagem, ácidos e de baixa fertilidade (PINHEIRO *et al.*, 2018). A área do experimento foi cultivada por 5 anos com cana-de-açúcar da variedade RB 865156 (entre os anos de 2014 a 2019). Após este período a cultura foi removida e feita a rotação de cultura com adubação verde.

2.2 Preparo do solo, plantio e condução das culturas

Após a colheita da cana no mês de outubro de 2019, foi realizada aração, seguida de subsolagem. Foi feita adubação em toda área experimental de 300 kg/ha⁻¹ da fórmula NPK 05-25-25 e calagem conforme análise realizada pelo produtor antes da implementação do experimento. Em novembro de 2019 o experimento foi instalado.

2.3 Delineamento experimental e tratamentos

A área total do experimento foi de 450 m², sendo dividida em 4 faixas estaqueadas. Cada cultivo ocupou 7x10m (70 m²) sendo a 1ª faixa com soja, 2ª faixa pousio, 3ª faixa amendoim e a 4ª faixa com crotalária. O espaçamento entre faixas foi de 1m, com 1,5m de bordadura lateral e 1m nas bordaduras das extremidades.

O plantio das culturas de leguminosas para a adubação verde foi realizado no dia 09/11/2019. Foram semeadas Soja (NS 7667 IPRO) em espaçamento 0,5m com 15 sementes/m; Amendoim 'Tatu' (*Arachis hypogaea* L.), em espaçamento de 1,0m com 6 sementes/m; e *C. spectabilis* que foi semeada a lanço em proporção de 15 kg/ha. Para a área de 70m² foi utilizado aproximadamente 1 kg.

Realizou-se o acompanhamento semanal das culturas a fim de monitorar o desenvolvimento das plantas e de efetuar o controle de plantas invasoras e de possíveis ataques de pragas e doenças. O controle de plantas invasoras foi realizado por capina manual. Na soja foram aplicados inseticidas, fungicidas e foliares.

A pluviosidade total durante o plantio foi acompanhada pelo *AccuWeather* entre os meses de novembro de 2019 a março de 2020.

2.4 Colheita das culturas e avaliação de biomassa

As culturas foram colhidas manualmente entre fevereiro e março de 2020. O primeiro cultivo a ser colhido foi a *C. spectabilis*, que encontrava-se com 90 dias após a semeadura (d.a.s). O amendoim com 140 d.a.s. e a soja com 143 d.a.s (Tabela 01). Após a colheita, os restos vegetais foram incorporados no solo de forma manual com auxílio do enxadaço.

Tabela 1 - Número de dias até colheita das leguminosa (Amendoim, *C. spectabilis* e Soja) cultivados no município de Frutal, MG, e precipitação pluviométrica total, 2019/2020

Espécie de adubo verde	Nº de dias até colheita do material vegetal	Precipitação pluviométrica total (mm)	Data da colheita
Soja	143	792,7	31/03/2020
Amendoim	140	776,5	28/03/2020
<i>C. spectabilis</i>	90	563,08	07/02/2020

Fonte: Elaboração própria. Precipitação pluviométrica diferente devido a colheita ter ocorrido em tempos distintos – Dados do site *Accuweather*.

Foi realizada a quantificação do número de plantas por m² e cobertura do solo, utilizado quadrado de cano PVC de 1m², subdividido em 100 quadrados de 10cm², sendo esses construídos com tramas de cordão de algodão. O quadro foi lançado aleatoriamente sobre o cultivo em três pontos da área e contabilizado os quadrados que possuíam vegetação, procedimento realizado em média a cada 30 dias.

Para determinação da Matéria Fresca (MF), foram coletadas cinco plantas aleatórias de cada cultivo, descartando-se a raiz, as vagens da soja e amendoim e avaliando-se apenas a parte aérea. As amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,1g e acondicionadas em saco de papel tipo kraft. A seguir, foram colocadas na estufa à 60°C, sendo pesadas a cada 24h até que não houvesse alteração no peso obtendo se assim a Matéria Seca (MS). A seguir, tanto os valores obtidos para MF e MS foram extrapolados para área total, considerando o número de plantas por m² e área de 10.000m² (t/ha), obtendo-se a Biomassa Fresca Total (BMFT) e Biomassa Seca Total (BST).

Para a quantificação do percentual da matéria orgânica foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Eq. RS/F (\%)} = \text{MS/MF} \times 100$$

Em que: RS/F - percentual de matéria seca por matéria fresca, %; MS - Matéria seca, g e MF - Matéria fresca, g.

Da parte vegetal foi analisado o nitrogênio foliar usando os métodos descritos por Carmo *et al.* (2000). A quantificação do nitrogênio total da amostra foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$N - \text{NH}_4\text{g.Kg}^{-1} = (\text{Vola} - \text{Volb}).1,4$$

Vola: Volume de H₂SO₄ gasto na amostra (mL)

Volb: Volume de H₂SO₄ gasto na prova em branco (mL)

Todas as amostras relacionadas a biomassa foram realizadas no laboratório físico e químico e biológico da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal – MG.

2.5 Coleta das amostras de solo.

Com auxílio do trado manual tipo caneco adaptado, foram coletadas amostras em zig-zag antes e após o plantio das leguminosas, contendo aproximadamente 250g do solo retirado nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm da superfície do solo. Destas amostras foi extraída a amostra composta, que consiste na homogeneização das amostras coletadas ainda em campo, para obtenção de uma amostra única de cada área.

Após o plantio, foram coletas cinco amostras na profundidade 0-10cm e cinco amostras de 10-20cm, sendo uma amostra composta de cada cultivo (amendoim, crotalária, soja e pousio). Após o devido condicionamento e a identificação dos sacos plásticos, as amostras seguiram ao laboratório para secagem na estufa à 37°C por 24h e foram armazenadas na geladeira a 10°C.

Das amostras de solo coletadas foram analisados o pH e umidade (EMBRAPA, 1997) e determinados os seguintes atributos do solo: P, K, Ca, Mg, Al, H+ Al, MO (RAIJ *et al.*, 2001). Além disso, por cálculo foram obtidos a SB, CTC e V%, realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (FERTLAB) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus Jaboticabal/SP.

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando o *Software* AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das espécies cultivadas todas obtiveram 100% de cobertura vegetal aos 90 (d.a.s.). A *C. Spectabilis* foi o cultivo que obteve com maior população de plantas por m² em média com

85,2 plantas/m², seguida do amendoim com 25 plantas/m² e a soja com 24,2 plantas/m². O plantio de crotalária resultou em maiores quantidades de planta por m², decorrente do plantio a lanço, sendo esta espécie específica para a adubação verde (GARCIA; STAUT, 2018).

A alta taxa de cobertura vegetal pode favorecer o solo, auxiliando na manutenção da umidade devido ao sombreamento das plantas e evitando a perda da umidade e a erosão hídrica. De-Polli *et al.* (1996) relatam que a adubação verde favorece a manutenção da umidade, visto que a cobertura possibilita a diminuição da evaporação da água e favorece a percolação da água no solo, assim como o incremento de matéria orgânica. A percolação da água favorece a umidade do ambiente, beneficiando o desenvolvimento da planta e dos microorganismos, que são essenciais na ciclagem dos nutrientes, e ainda diminui a erosão laminar do solo.

A avaliação da biomassa é um parâmetro importante para quantificar o quanto cada cultivo está devolvendo para o solo de resíduos vegetal. Os valores de matéria fresca (MF), matéria seca (MS) por hectare e percentual da relação matéria seca e fresca (RS/F) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Produção de Matéria Fresca (MF), Matéria Seca (MS) e percentagem da Relação Matérias Seca e Fresca (RS/F) parte aérea de adubos verdes cultivados no município de Frutal, MG

Adubos verde	MF (t/ha)	MS (t/ha)	RS/F (%)
Amendoim	10,50B	2,71B	27,41A
<i>C. spectabilis</i>	54,81A	18,36A	36,02A
Soja	58,18A	13,97A	29,25A
DMS	43,52	6,00	18,66
C.V	62,66	30,46	35,78

Fonte: Elaboração própria. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

Apesar de a crotalária e a soja não terem se diferenciado estatisticamente na produção de biomassa fresca e seca, é importante ressaltar que a cultura da crotalária possui ciclo vegetativo menor, ou seja, se desenvolve mais rápido, o que possibilita o acúmulo de material vegetal em menor tempo. Purquerio *et al.* (2011) observaram valores para biomassa verde em

C. juncea da ordem de 56,0 t ha⁻¹, para biomassa fresca valores próximos aos observados neste trabalho. Já para biomassa seca os mesmos autores encontraram valores da ordem de 8,1 t ha⁻¹, inferiores aos deste trabalho, em que se observou o dobro deste valor.

Para percentagem de biomassas seca e fresca (RS/F), todos os tratamentos são estatisticamente similares. Ressalta-se a importância da avaliação da biomassa de leguminosas, uma vez que a sua quantidade afeta a ciclagem de nutrientes, extração e mobilização de macro e micronutrientes nas camadas do solo, interferindo na produtividade da próxima cultura.

Em relação à matéria seca, a crotalária e o amendoim não se diferenciaram estatisticamente. Esta avaliação é importante, já que, quanto maior a proporção de matéria seca, maior a quantidade de matéria orgânica que será incorporada pelo solo após o corte da cultura.

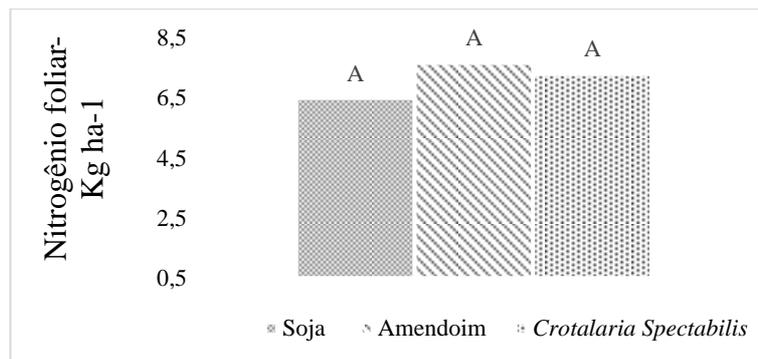
A soja e o amendoim, além de serem plantios rentáveis economicamente, assim como a crotalária, possuem características de fornecer nitrogênio orgânico para o solo por meio da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (LUZ *et al.*, 2005). A simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio ocorre nas três espécies de leguminosas utilizadas neste experimento. Assim, todas têm o potencial fixador de nitrogênio atmosférico.

A biomassa produzida pelas leguminosas é importante para o aumento de matéria orgânica no solo (MOS) e para a ciclagem dos nutrientes. A *C. spectabilis* e a soja foram os cultivos que mais favoreceram na produção de biomassa fresca e seca. Segundo Espíndola, Guerra e Almeida (1997), o aumento de matéria orgânica/cobertura auxilia os atributos químicos e físicos do solo e diminui a lixiviação hídrica dos nutrientes.

A partir da decomposição da matéria orgânica é possível a recomposição química do macro e micronutriente, aumentando fertilidade do solo. Ao contrário do que ocorre nos fertilizantes minerais, os nutrientes da matéria orgânica são menos solúveis que os fertilizantes químicos, que podem ser absorvidos rapidamente ou lixiviados com maior facilidade (RONQUIM, 2010). A decomposição da MOS ainda pode reduzir a toxicidade de através da produção de ácidos orgânicos que complexa o Al⁺⁺⁺ presente no solo (LIU; HUE, 1996).

A Figura 1 apresenta a análise de nitrogênio foliar para as três leguminosas avaliadas. Em todas as amostras foi observado valores semelhantes, não diferenciando estatisticamente entre si. A quantificação de nitrogênio foliar é um importante parâmetro para avaliar a

produtividade de cada cultura, visto que este elemento está relacionado ao acúmulo de biomassa nos vegetais. Em leguminosas, as bactérias que colonizam estas plantas são importantes fixadoras de nitrogênio. A atividade microbiana destas bactérias, além de proporcionar economia com fertilizantes, contribui para o manejo ecológico do solo (ESPÍNDOLA *et al.*, 2006).



Fonte: Elaboração própria. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey.

Figura 1 – Análise de nitrogênio do tecido vegetal das culturas de amendoim, *C. spectabilis* e soja apenas o caule e folhas

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios obtidos para os atributos químicos do solo antes e após a rotação de cultura, no perfil 0-10 cm, ressaltando que conforme análise o solo pré- plantio está em boas condições de fertilidade devido ao manejo empregado anteriormente ao experimento.

Tabela 3 - Valores médios das características químicas do solo sob cultivo de leguminosas e testemunha em função da profundidade de 0-10 cm em área de reforma de canavial

Tratamentos	P resina	Mo	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V %
	mg dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol _c /dm ³						
Pré plantio (Antes do cultivo)	20	22	5,8	3,2	62	14	20	79	99	80
Pousio (sem vegetação)	45	23	5,5	1,0	45	9	20	55	75	73
Amendoim	55	23	5,3	1,9	37	12	25	51	76	67
<i>Crotalaria Spectabilis</i>	43	30	5,7	1,7	75	29	21	106	127	83
Soja	12	27	5,6	1,4	45	11	21	57	78	73

Fonte: Elaboração própria. P resina = Fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons MO 31= matéria orgânica pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis H+Al = acidez potencial SB = soma de bases (Ca²⁺+ Mg²⁺+ K⁺) CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al) V = índice de saturação por bases = 100SB/CTC S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca (H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L.

Com base na interpretação dos valores da análise química do solo, tanto de 0-10 cm quanto de 10-20 cm, é importante destacar que no solo de cultivo da área de plantio ocorreu manejo de acordo com a Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (1989), sendo que os valores do V% do solo no pré-plantio caracterizam o solo como de boa fertilidade.

O maior aumento de MOS constatado na adubação verde foi com a leguminosa *C. Spectabilis*, com incremento de 30g/dm³. Este aumento da MOS é favorável aos atributos químicos do solo. Os menores valores foram encontrados no pousio e no amendoim, com pouca variação ao solo antes do cultivo.

Segundo Cunha (1994), a crotalária tem alta produção de biomassa e cobertura, o que possibilita a redução na lixiviação de cátions e aumento na CTC, e conseqüentemente provoca aumentos proporcionais nos teores de Ca, Mg e K, e na soma de bases do solo. Contudo, neste experimento não houve aumento de K em nenhuma das culturas de leguminosas avaliadas.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios obtidos para os atributos químicos do solo antes e após a adubação verde, no perfil 10-20 cm.

Tabela 4 - Valores médios das características químicas do solo sob cultivo de leguminosas e testemunha em função da profundidade de 10 – 20 cm em área de reforma de canavial

Tratamentos	P resina	Mo	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V %
	mg dm ³	g/dm ³	CaCl ₂	mmol _c /dm ³						
Pré - plantio (Antes do cultivo)	16	23	5,6	2,8	31	11	21	45	67	67
Pousio (sem vegetação)	12	17	5,5	1,1	26	6	22	33	55	60
Amendoim	42	22	5,5	1,9	56	13	24	71	95	75
<i>Crotalaria spectabilis</i>	32	18	5,2	2,7	25	8	24	36	60	60
Soja	10	23	5,6	1,5	38	11	20	51	71	72

Fonte: Elaboração própria. P resina = Fósforo extraído do solo por resina trocadora de íons MO 31= matéria orgânica pH em CaCl₂ = pH determinado em solução centimolar de cloreto de cálcio K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ = respectivamente potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis H+Al = acidez potencial SB = soma de bases (Ca²⁺+ Mg²⁺+ K⁺) CTC = capacidade de troca de cátions = SB + (H+Al) V = índice de saturação por bases = 100SB/CTC S-SO₄²⁻ = enxofre na forma de sulfato extraído com solução de Ca (H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L.

Na profundidade de 10-20 cm, a soja obteve o melhor desempenho na incorporação de MOS de 23 g/dm³. O amendoim obteve 22 g/dm³, porém, quando comparada à CTC do solo, o amendoim obteve melhores resultados. Houve ainda, o incremento de P, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V%.

Em relação ao incremento de nutrientes no solo, após o cultivo do amendoim não foram encontrados na literatura resultados que pudessem corroborar ou confrontar com os obtidos nesta pesquisa.

O amendoim é utilizado em adubação verde na reforma do canavial no estado de São Paulo. Nos estudos de Ambrosano *et al.* (2010), foram constatados maiores acúmulos de nutrientes, principalmente micronutrientes como boro, ferro e mangânes, na parte aérea do amendoim quando comparado com outras leguminosas, apresentando-se como eficiente na reciclagem destes nutrientes.

O sistema radicular do amendoim é pivoltante com ramificações laterais, o que possibilita uma maior exploração do solo. As raízes possuem maior concentração nos

primeiros 25 cm, podendo atingir profundidades maiores a depender da adubação realizada antes do cultivo (PINTO *et al.*, 2008). Esse diferencial radicular possibilitou o melhor desempenho desta leguminosa quando comparada aos demais cultivos na profundidade de 10-20cm.

4. CONCLUSÃO

Todas as leguminosas utilizadas como adubo verde em área de cultivo de cana-de-açúcar no bioma cerrado resultaram no incremento de matéria orgânica ao solo. A *C. spectabilis* apresentou maior CTC e incremento de MO na profundidade de 0-10 cm.

No perfil de 0-20 cm, o amendoim foi a cultura que mais favoreceu na melhoria da CTC do solo. Em comparação com o solo pré-plantio, conclui-se que a adubação verde auxilia na melhoria do solo com aumento de CTC e disponibilização de nutrientes.

REFERÊNCIAS

ACCUWEATHER. **Condições meteorológicas de Frutal-MG**. ACCUWEATHER. Ano 2020. Disponível em: <https://www.accuweather.com/pt/br/frutal/39298/march-weather/39298?Year=2020>. Acesso em: 30 maio 2021.

ALCÂNTARA, F. A.; NETO, A. E.F.; PAULA, M.B. ; MESQUITA, H. A.; JOEL AUGUSTO MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], vol. 35, n. 2, p. 277-288, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X2000000200006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/NWGmFqjWwHMDJK6YtncqY5H/?lang=pt>. Acesso em: 30 maio 2021.

AMABILE, R. F. **Comportamento de adubos verdes em épocas de semeadura nos Cerrados do Brasil Central**. Orientador: FANCELLI, A. L. 1996. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-20181127-161209/pt-br.php>. Acesso em: 30 maio 2021.

AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R. C. H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, ELIANA A., MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, n. 67, p. 692-701, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000600011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/BTWqqJpDPz7NN4DtVxCYMQs/?lang=en>. Acesso em: 24 maio 2021.

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JÚNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde

aplicadas ao plantio direto: Encarte Técnico Informações Agronômicas. **Potafos**, Piracicaba, n. 112, p. 1-16, 2005. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/iabrazil.nsf/0/30D47AFE EFB8D57283257AA1006AD718/\\$FILE/Encarte112.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrazil.nsf/0/30D47AFE EFB8D57283257AA1006AD718/$FILE/Encarte112.pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J. T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da. (coord). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993, p. 1-56.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Circular Técnica, n. 6)

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000600026. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8rYJLHrc7xF35mmDmtv4tDc/?lang=pt>. Acesso em: 2 mar. 2021.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação**. Lavras: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989.

CRUZ, M. R. O.; MAGALHÃES, M. M. Rotação de culturas e efeito sobre os custos na reforma de canavial na região da alta paulista. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], vol. 9, n. 7, p. 92-109, 2013.

CUNHA, A. S.; MUELLER, C. C.; ALVES, E. R. A.; SILVA, J. E. **Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados**. Brasília: IPEA, 1994.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. Adubação verde: Parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CASTRO FILHO, C. DE; MUZILLI, O. (eds). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR/SBCS, 1996, p. 225-242.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/624248/1/doc042.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2021.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciências Solo [online]**, Viçosa, vol. 30, n. 2, p. 321-328, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832006000200012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 27 out. 2020.

FAO. **Crop yield response to water**. Italy: FAO, 2012.

GARCIA, R. A.; STAUT, L. A. Como inserir crotalária em sistemas de produção de grãos. **Circular Técnica 44**, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191614/1/CT-44.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

LIU, J.; HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, vol. 21, n. 4, p. 264-270, 1996.

LUZ, P. H. C.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A.; OLIVEIRA, D. B. **Utilização da adubação verde na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, GAPE – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, 2005.

PINHEIRO, L. S.; CAETANO, J. S.; PEREIRA, T. T. C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão Frutal (Frutal – MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO), 12., 2018, Crato/CE. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-299-1129.html>. Acesso em: 10 jun. 2020

PINTO, C. M.; TÁVORA, F. J. F. A.; BEZERRA, M. A.; CORRÊA, M. C. M. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, [S. l.], vol. 39, n. 3, p. 429-436, 2008.

PURQUERIO, L. F. V.; WUTKE, E. B.; MARIA, I. C. de; ANDRADE, C. A. de; TIVELLI, S. W.; OLIVEIRA, A. H. V. Produção de massa e acúmulo de nutrientes em crotalária júncea e milho em estufa agrícola com solo salinizado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO XXXIII: SOLOS NOS BIOMAS BRASILEIROS: SUSTENTABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 33., Uberlândia/MG. **Anais [...]**. Uberlândia: UFU, 2011, p. 1-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54252/1/2011AA33.pdf>. Acesso em: 10 maio 2021.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 2001.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1991.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade->

do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais. Acesso em: 23 mar. 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)

RUBEL, F; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], vol. 19, p. 135-141, 2010.

STAUT, L. A. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/CanaSolo/index.htm. Acesso em: 20 abr. 2020.

UNICA. **Histórico de exportação mensal de açúcar pelo Brasil**. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=66>. Acesso em: 22 mar. 2021.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura–Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. (Boletim Técnico, 7)

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO, R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP, 2005.

WUTKE, E.B; AMBROSANO, E.J.; GONÇALVES., L.F. R.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H.; DIAS, R. P.; LAURINO, M. S.; GONÇALVES, J. R. A. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes**: informações técnicas. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

CAPÍTULO 4 – REFLEXOS DO CULTIVO DE DIFERENTES LEGUMINOSAS SOBRE A QUANTIFICAÇÃO DE MICRORGANISMOS DO SOLO DE REFORMA DO CANAVIAL

RESUMO

A microbiota do solo pode ser utilizada para avaliação da atividade biológica de ambientes agrícolas visando à manutenção e ao equilíbrio ambiental. Este trabalho teve por objetivo correlacionar os efeitos da adubação verde com leguminosas sobre a população de microrganismos do solo através da quantificação das bactérias totais, fungos totais e bactérias fixadoras de nitrogênio em solos de reforma de canavial. Para o plantio das leguminosas foi realizado o preparo do solo com NPK na fórmula de 05-25-25 kg/ha⁻¹. Foram cultivadas as leguminosas amendoim, *Crotalaria spectabilis* e soja NS 7667 IPRO[®]. Antes do cultivo e ao final do ciclo dos adubos verdes, foi feita a coleta do solo nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm. Determinou-se nestes solos: pH e umidade, carga microbiana: bactérias totais (ágar nutriente), bactérias fixadoras de nitrogênio (meio NFB) e fungos totais (meio Martin), e após o cultivo determinou a matéria verde devolvida para o solo. Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey (P≤0,05) utilizando o *Software* AgroEstat. Das leguminosas avaliadas, o melhor desempenho quanto ao quesito umidade foi a *C. Spectabilis*, que obteve maior valores nas duas profundidades. A soja obteve maior percentual de umidade na camada 0-10 cm e o menor valor observado foi aferido no cultivo de amendoim que equiparou com o solo pousio (sem vegetação). Quanto ao pH do solo para todos os tratamentos não ocorreu alteração significativa. Da avaliação da matéria fresca, os cultivos que obtiveram melhores resultados foram a *C. spectabilis* e a soja, seguidas do amendoim. Na avaliação microbiológica após o plantio, houve aumento das bactérias totais, fungos totais e bactérias fixadoras de nitrogênio, ressaltando-se que não houve relação entre matéria fresca e aumento das colônias de bactérias totais. Quanto aos cultivos e profundidades, o número de bactérias totais nas duas profundidades foi maior no cultivo de a *C. spectabilis*. Para fungos totais observou-se maiores números de colônias no amendoim na profundidade de 0-10 cm e a soja na profundidade de 10-20 cm. Da avaliação de bactérias nitrificantes, os maiores valores para números de colônias foram o amendoim para a profundidade de 0-10 cm e soja na profundidade de 10-20 cm. Os resultados corroboram os benefícios da adubação verde em áreas de reforma de canavial relacionada à quantificação de comunidades microbianas, que pode ser uma importante ferramenta para avaliar mudanças em solo de cerrado em virtude de práticas agrícolas e, assim, traçar manejos e recuperação do solo.

Palavras chaves: Atividade biológica. Rotação de cultura. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Soil microbiota can be used to evaluate the biological activity of agricultural environments aiming at maintenance and environmental balance. This work aimed to correlate the effects of green manure with legumes on the population of soil microorganisms through the quantification of total bacteria, total fungi and nitrogen-fixing bacteria in sugarcane reform soils. For the planting of legumes, soil preparation was carried out with NPK in the formula of 05-25-25 kg/ha⁻¹. Peanut, *Crotalaria spectabilis* and soybean NS 7667 IPRO® were grown. Before cultivation and at the end of the green manure cycle, soil was collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm. It was determined in these soils: pH and moisture, microbial load: total bacteria (nutrient agar), nitrogen-fixing bacteria (NFB medium) and total fungi (Martin medium), and after cultivation, the green matter returned to the soil was determined. The data obtained in the experiment were subjected to analysis of variance by the F test and comparison of means by the Tukey test ($P \leq 0.05$) using the AgroEstat Software. Of the legumes evaluated, the best performance in terms of moisture was *Crotalaria spectabilis*, which obtained the highest values in both depths. Soybean showed the highest percentage of moisture in the 0-10cm layer and the lowest value observed was measured in the cultivation of peanuts, which matched with the soil fallow (no vegetation). As for the soil pH for all treatments, there was no significant change. In terms of fresh matter, the crops that obtained the best results were *Crotalaria spectabilis* and soybeans, followed by peanuts. In the microbiological evaluation after planting, there was an increase in total bacteria, total fungi and nitrogen-fixing bacteria. Emphasizing that there was no relationship between fresh matter and increase in total bacterial colonies. As for cultures and depths, the number of total bacteria in both depths was higher in the cultivation of sunn hemp *spectabilis*. For total fungi, higher numbers of colonies were observed in peanuts at a depth of 0-10cm and soybeans at a depth of 10-20cm. From the evaluation of nitrifying bacteria, the highest values for colony numbers were peanuts at a depth of 0-10cm and soybeans at a depth of 10-20 cm. The results corroborate the benefits of green manure in sugarcane reform areas related to the quantification of microbial communities, which can be an important tool to assess changes in cerrado soil due to agricultural practices, and thus trace soil management and recovery practices.

Keywords: Biological activity. Crop rotation. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Visando ao manejo sustentável, a adubação verde é uma alternativa que pode auxiliar na sustentabilidade agrícola, visto que, além de incrementar matéria verde, favorece a fertilidade e os atributos físicos através de processos biogeoquímicos específicos, tais como a fixação biológica do nitrogênio e ação antagônica aos patógenos. Esses processos são realizados por microrganismos que são fundamentais para o enriquecimento do solo agrícola, tendo em conta que favorecem a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Por ser altamente influenciada pelo meio ambiente, a microbiota pode ser usada como indicador de alterações ambientais em ambientes agrícolas. Mendes *et al.* (2003) citam que os microrganismos foram indicadores sensíveis de mudanças que ocorreram no solo em virtude dos sistemas de manejo.

Em seus estudos, Mendes Sousa e Reis-Junior (2015) ressaltam a importância da avaliação microbiológica, sugerindo que agricultura conservacionista aliada à microbiota será o desafio do século 21, destacando, ainda, a importância da inclusão desta análise na avaliação da qualidade do solo devido aos serviços sistêmicos que os microrganismos desempenham entre o solo e a planta.

O aumento da biomassa na adubação verde possibilita o enriquecimento da fauna microbiana (fungos e bactérias), que é vital para diversos serviços ecossistêmicos que envolvem a disponibilidade de nutrientes e a fixação de nitrogênio atmosférico no solo (VALPASSOS *et al.*, 2001; ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005; VIEIRA, 2017).

Os fungos estão presentes na microfauna do solo, participam ativamente na decomposição da matéria orgânica e favorecem a disponibilização de nutrientes para as plantas. Entre os fungos benéficos se encontram os micorrízicos, que se associam as raízes das plantas e auxiliam no seu desenvolvimento (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Entre os processos biogeoquímicos realizados pelos microrganismos destacam-se as bactérias nitrificantes, que possuem papel fundamental na ciclagem do nitrogênio. As mais conhecidas são a do gênero *Rhizobium*. Essas bactérias estão presentes no solo e se associam as raízes das leguminosas formando nódulos (rizóbios) que fixam o nitrogênio, o qual posteriormente reage com a amônia e disponibiliza o nitrato para as plantas (MOREIRA *et al.*, 2010; VIEIRA, 2017).

Tais bactérias também possuem papel fundamental no ciclo do nitrogênio por intermédio de sua fixação, pela qual esse elemento é reduzido em amônia (NH_3), que oxida através de dois processos químicos: (i) nitrosação, que consiste na oxidação da amônia em nitrito (NO_2^-); e (ii) a nitrificação, consistente na oxidação do nitrito em nitrato (NO_3^-), tornando o nitrogênio disponível para as plantas (MOREIRA *et al.*, 2010; VIEIRA, 2017).

Desta forma, a adubação verde com leguminosas em áreas agrícolas favorece a manutenção da microbiota e aumenta a disponibilidade do nitrogênio devido ao aumento de matéria orgânica e enriquecimento da microbiota do solo, que engloba também os fungos essenciais na decomposição da matéria orgânica (VALPASSOS *et al.*, 2001; ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005; SILVEIRA NETO *et al.*, 2006).

Neste cenário agrícola visando à sustentabilidade, destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar, que no Brasil é desenvolvida principalmente no centro-sul do país. Essa cultura vem adotando práticas sustentáveis ao longo do tempo, como o uso de compostos orgânicos para adubação do solo, a fertirrigação de subprodutos orgânicos industriais e a adubação verde em culturas de rotação, como soja, amendoim e crotalária.

Estas leguminosas, quando utilizadas na reforma do canavial, podem favorecer a recuperação do solo e ainda beneficiar economicamente o agricultor devido ao valor agregado dos grãos da soja e do amendoim.

Por serem leguminosas, elas também auxiliam na fixação do nitrogênio atmosférico no solo por meio da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, melhorando as características químicas e nutricionais do solo. A crotalária, apesar de não ter valor econômico quando comparada as demais, além de fixar o nitrogênio, tem potencial biorremediador contra nematoides, reduzindo a pressão dessa praga sobre a cultura de sucessão cana-de-açúcar (BRAZ *et al.*, 2016; VIEIRA, 2017).

Além disso, o uso de práticas agrícolas sustentáveis em agrossistemas resulta na redução do uso de insumos agrícolas, tais como fertilizantes, herbicidas e pesticidas, o que diminui os riscos de contaminação de solos e corpos hídricos (GUIMARÃES *et al.*, 2014; SCHIAVON, 2015).

Diante do exposto, visando a melhorar a qualidade de solo de forma mais sustentável e a beneficiar o meio ambiente, a identificação do tipo de cultivo que possui melhor eficiência na recuperação da microbiota do solo é de extrema importância para o manejo de áreas de cerrado com intensa atividade agrícola.

Os microrganismos podem ser utilizados como indicadores de alterações oriundas de práticas agrícolas e assim monitorar o manejo do solo de forma sustentável, podendo auxiliar no aumento da produtividade agrícola, assim como na redução da aplicação de fertilizantes químicos. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo correlacionar os efeitos da adubação verde sobre a população de microrganismos do solo através da quantificação da população microbiana das bactérias totais, fungos totais e bactérias fixadoras de nitrogênio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Frutal-MG, localizado na latitude sul 20°1'29" e longitude oeste de 48°56'26", na altitude 516m. O relevo da região é plano ou suavemente ondulado, o clima da região é o tropical sazonal de inverno, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso. O solo da região é classificado como latossolo de textura média (PINHEIRO *et al.*, 2018; FARIAS *et al.*, 2019).

A área do experimento possui dimensão de 10x45m totalizando 450 m². Este solo foi cultivado com cana-de-açúcar por 5 anos consecutivos, estando propício para reforma. Após colheita da cana, a área foi subsolada, arada e gradeada, sendo posteriormente aplicado calcário conforme análise de solo feita pelo proprietário.

A seguir, a área experimental foi dividida em 4 faixas de 7x10m e estaqueada com bordadura de 1m na lateral e nas extremidades 1,5m. Foram plantadas as leguminosas soja, pousio (sem vegetação), amendoim e crotalária.

Para o plantio das culturas, aplicou-se, primeiramente, NPK na proporção de 05-25-25 kg/ha. A soja (NS 7667 IPRO) foi semeada de forma mecanizada em semeadora de 7 linhas, com espaçamento de 0,7cm entre linhas e 2cm de profundidade. O amendoim foi plantado manual em linhas espaçadas 1m cada, com semente a 2cm de profundidade. A *C. spectabilis* foi semeada a lanço, na proporção de 15 kg/ha (com utilização de aproximadamente 1 kg na área do experimento). Todas as culturas foram plantadas na primeira quinzena de novembro de 2019.

Ao longo do desenvolvimento das culturas, realizou-se a capina manual para redução da infestação de plantas daninhas e acompanhou-se o índice pluviométrico semanalmente pelo *Accuweather*, que apresentou acumulado de 792,7mm durante todo o período da

pesquisa. O término do ciclo das leguminosas ocorreu nos meses de fevereiro/2020 (crotalária) e março/2020 (soja e amendoim). As vagens da soja e do amendoim foram separadas da matéria verde que foi incorporada ao solo.

As coletas de solo foram realizadas antes e após a colheita das leguminosas, em tempos distintos devido ao ciclo das leguminosas serem diferentes; a crotalária em 07/02/2020, o amendoim em 28/03/2020 e a soja em 31/03/2020, ressaltando que a coleta do pousio ocorreu no fim do cultivo da última leguminosa.

As amostras de solo foram retiradas na profundidade 0-10 cm e 10-20 cm em zig-zag com auxílio do trado manual tipo caneco adaptado, sendo cinco amostras antes do plantio e cinco amostras de cada faixa que, misturadas ainda no campo, formaram a mostra composta com aproximadamente 250 g de solo, que foi condicionada em saco plástico, levada ao laboratório para secagem em estufa na temperatura de 37°C e armazenada na geladeira à 10°C.

Das amostras coletadas analisou-se o pH, umidade (EMBRAPA, 1997) e a carga microbiana dos solos. Na diluição das amostras de solo para as análises microbiológicas, utilizou-se 10,0 g de solo a um Erlenmeyer contendo 95 mL da solução de pirofosfato de sódio 0,1% e 0,1% tween 80 (p/v). Após agitação por 30 minutos, na mesa agitadora com velocidade de 300 rpm, e feitas diluições decimais em série, de 10^{-1} a 10^{-10} em água salina. Em seguida, alíquotas de 0,1 mL de cada diluição foi transferidas pelo método “pour plate” em placas de petri contendo meio de cultura e acondicionadas em saco plástico com o objetivo de evitar o ressecamento do meio (OLSEN & BAKKEN, 1987; SORHEIM; TORSVIK; GOKSOYR, 1989) e incubadas na temperatura indicada para cada microrganismo.

2.1 Microrganismos totais

Para contagem do número total de microrganismos foi utilizado o meio de cultura Ágar Nutriente da marca Biolog preparado conforme as instruções do fabricante. As placas de petri foram incubadas em duas estufas BOD, com temperaturas a 30°C, em ausência de luz. As contagens foram feitas a cada 24 h em um contador de colônias com 6x de aumento, até não se constatar nenhum aumento do número de colônias (OLSEN; BAKKEN, 1987; SORHEIM; TORSVIK; GOKSOYR, 1989).

2.2 Bactérias solubilizadoras de nitrogênio

O meio de cultura foi preparado com 1000 mL de água destilada, 5g de ácido Málico, 5 mL de solução de fosfato de potássio dibásico, 2 mL de solução de sulfato de magnésio heptahidratado, 1mL de solução de cloreto de sódio, 2 mL de solução de cloreto de cálcio dihidratado, 2 mL de azul bromotimol 0,5% em 0,2 N de hidróxido de potássio, 2 mL de solução de micronutrientes para meio de cultura, 4 mL de solução de EDTA de ferro, 1 mL de solução para vitamina para meio de cultura, 4,5 g de hidróxido de potássio, ajustar o pH para 6,5 com solução de hidróxido de potássio 10% e/ou solução ácido sulfúrico à 5% (DÖBEREINER *et al.*, 1995)

O meio foi autoclavado por 15 minutos, procedendo-se à incubação com inoculação em meio semi-sólido isento de nitrogênio (Nfb) a 30°C, durante sete dias (DÖBEREINER; VALDANI; VALDANI, 1995).

2.3 Fungos totais

Para contagem do número total de fungos foi utilizado o meio de Martin (1950), constituído por 1.000 mL água, 10 g ágar, 1 g KH_2PO_4 , 1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 g peptona e 10 g dextrose. Foi ajustado o pH 5,5, acrescido de 70mg/ml de rosa de bengala. O meio foi autoclavado por 15 minutos e acrescido com 0,1 g/l de uma mistura das antibióticos penicilina e estreptomicina no momento da incubação. A incubação das culturas foi realizada a 30°C por três dias (fungos).

2.4 Determinação de matéria fresca (MF) e matéria seca (MS)

Para determinação da matéria fresca (MF), foram coletadas cinco plantas aleatórias de cada cultivo, descartando-se a raiz e avaliando-se apenas a parte aérea. Foram descartadas as vagens dos cultivos de amendoim e soja. Essas foram pesadas em balança com precisão de 0,1 g e acondicionadas em saco de papel tipo kraft. A seguir, foram colocadas na estufa à 60°C, sendo pesadas a cada 24h até que não houvesse alteração no peso – matéria seca (MS). A seguir, os valores obtidos para MF e MS foram extrapolados para área total, considerando o

número de plantas por m² e área de 10.000m² (t/ha), obtendo-se a biomassa fresca total e biomassa seca total. Para a mensuração do percentual da matéria orgânica foi utilizado a seguinte fórmula:

$$RS/F (\%) = MS/MF \times 100$$

Em que: RS/F - percentual de matéria seca por matéria fresca, %; MS - Matéria seca (g) e MF - Matéria fresca (g).

2.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições (provenientes da amostra composta), constituindo os tratamentos (Leguminosas: Crotalária, soja e amendoim , solo inicial e pousio). Os resultados obtidos correspondem à média do número de colônias observado em cada dia de avaliação, as contagens nas placas foram convertidas em UFC /g⁻¹ solo seco.

2.6 Análise dos Dados

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e de comparação de médias pelo teste de Tukey (P≤0,05) utilizando-se o Software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2015). Para tanto, foi comparado o aumento da microbiota relacionada à profundidade antes e após o plantio e a relação entre a profundidade e a espécie de leguminosa no aumento da microbiota do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises foram realizadas a fim de conhecer e caracterizar os valores do pH e umidade antes do plantio e após o cultivo. Após o cultivo foi avaliado novante o pH, a umidade e a quantificação da matéria orgânica adicionada ao solo por cada cultura, apresentados na Tabela 5. Estes parâmetros são fundamentais para analisar as modificações ocorridas no solo e correlacioná-los a dinâmica dos microrganismos que são altamente

adaptáveis e respondem rapidamente as modificações ocorridas no meio ambiente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Tabela 5 - Caracterização dos solos quanto ao pH e Umidade (%) antes e após o cultivo e relação matéria fresca e Seca RS/F (%)

Tratamentos	Umidade (%) Profundidade 0-10cm	Umidade (%) Profundidade 10-20cm	pH 0-10cm	pH 10-20cm	RS/F (%)
Pré Plantio	10,26	10,25	5,8	5,6	0
Pousio (sem vegetação)	8,75	7,79	5,5	5,5	0
Amendoim	7	7,5	5,3	5,5	27,41
<i>Crotalaria Spectabilis</i>	16,39	12,91	5,7	5,2	36,02
Soja	12,07	10,08	5,6	5,6	29,25

Fonte: Elaboração própria. Para determinação da matéria fresca da soja, a amostragem foi feita anterior da aplicação de dessecador. RS/F

A maior porcentagem de umidade foi observada no cultivo de *C. spectabilis* nas profundidades de 0-10 cm e nas de 10-20 cm. Este dado pode estar relacionado com a época de colheita que foi realizada no mês de fevereiro que obteve média de precipitação mm por dia de 7,4 mm (Figura 2).

No cultivo de soja, por sua vez, observou-se maior teor de umidade na camada de 0-10 cm e inferior na profundidade de 10-20 cm. A colheita desta cultura foi realizada na época de estiagem das chuvas, podendo-se inferir que o cultivo é capaz de reter maior umidade na camada superficial do solo.

A umidade do pousio se diferenciou da soja em porcentual considerável, visto que as amostras foram coletadas no mesmo período. A inexistência da vegetação para cobertura influenciou na manutenção da umidade no solo. Segundo De-Polli *et al.*, (1996); Ronquim, (2010), enfatizam em seus estudos a importância da cobertura do solo, que favorece a percolação da água, mantém a umidade e auxilia na diminuição da evaporação da água.

Ressalte-se que as culturas com os maiores teores de umidade (crotalária e soja) também foi onde se observou os maiores teores de matéria fresca. Estas culturas também

foram as que devolveram os maiores valores de matéria verde para o solo, fator que impactou nos teores de umidade.

A biomassa reduz o impacto da gota da chuva, reduzindo processos erosivos, melhorando a infiltração de água no solo e diminuindo as oscilações de temperatura, além de fornecer nutrientes ao solo, o que pode favorecer o desenvolvimento microbiano (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997).

O menor percentual de umidade foi encontrado no cultivo do amendoim. Os valores foram próximos em ambas as profundidades avaliadas. Este dado pode estar associado ao período de coleta do solo, que correspondeu ao período em que as precipitações se tornaram menos constantes.

No solo pousio (sem vegetação) ocorreu queda no percentual de umidade quando comparado com o solo pré-plantio. Com relação ao pH do solo pré plantio, não houve alteração significativa em nenhum tratamento (soja, pousio, amendoim e c. Spectabilis), já o teor de umidade do solo pousio se equipara ao amendoim (Tabela 5).

Para avaliação da carga microbiana nos solos coletados nas diferentes profundidades, verificou-se como os tratamentos influenciaram na quantificação de bactérias totais, fungos totais e bactérias nitrificantes.

A Tabela 6 detalha melhor os resultados dessa análise:

Tabela 6 – Média das temperaturas máxima e mínima e média pluviométrica no período de desenvolvimento dos cultivos diária e mensal

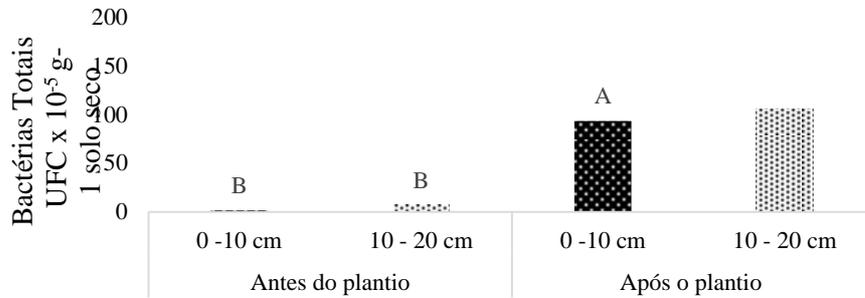
Meses	Temp.med. max. °C/dia	Temp.med. min. °C/dia	Média da precip. mm/dia	Precipitação. Mensal (mm)
Nov/20	32,07	21,4	5,04	151,2
Dez/20	30,48	21,52	4,6	142,5
Jan/21	31,52	21,84	6,99	216,8
Fev/21	29,52	21,66	7,47	216,5
Mar/21	30,77	20,26	2,12	65,7

Fonte: Dados Site Accuweather 20/21.

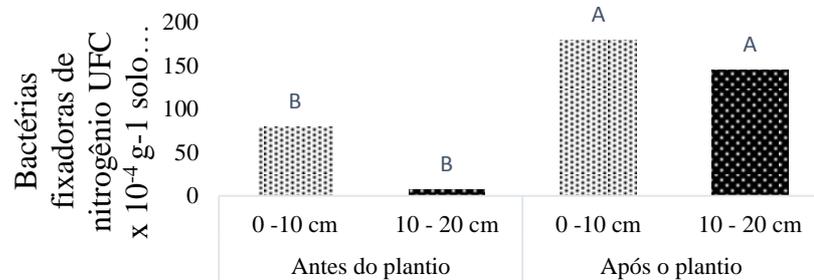
É importante destacar que cada cultivo cresceu sobre acúmulados de precipitação distintos o cultivo da crotalaria recebeu 563,08 mm durante o seu desenvolvimento, o amendoim 776,5 mm e a soja 792,7mm.

A Figura 2 ilustra o aumento da comunidade bacteriana nas profundidade de 0-10 cm e de 10-20 cm, antes e após o cultivo das leguminosas sem especificar a espécie.

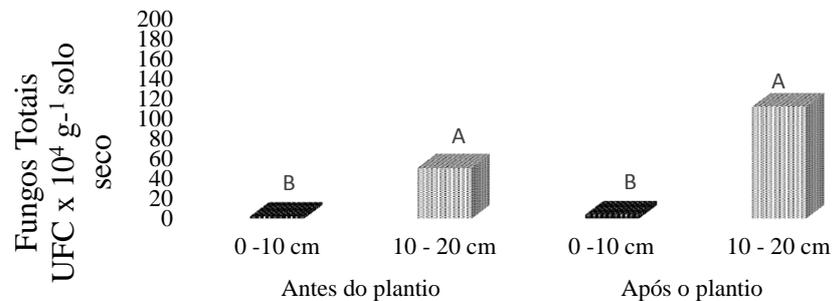
a)



b)



c)



Fonte: Elaboração própria. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. Unidade Formadora de Cólônia (UFC). As culturas analisadas foram (pousio, amendoim, *Crotalaria Spectabilis* e soja), antes e após o cultivo

Figura 2 - Quantidade de bactérias totais (a), bactérias nitrificantes (b) e fungos totais (c) dos solos nas profundidades 0-10cm e 10-20cm

A análise estatística pelo teste de Tukey demonstrou que após o cultivo das leguminosas ocorreu aumento considerável na UFC x 10⁴ g⁻¹ de bactérias totais, bactérias

fixadoras de nitrogênio e fungos totais nas duas profundidades 1-10 cm e 10-20 cm (Figura 3. a).

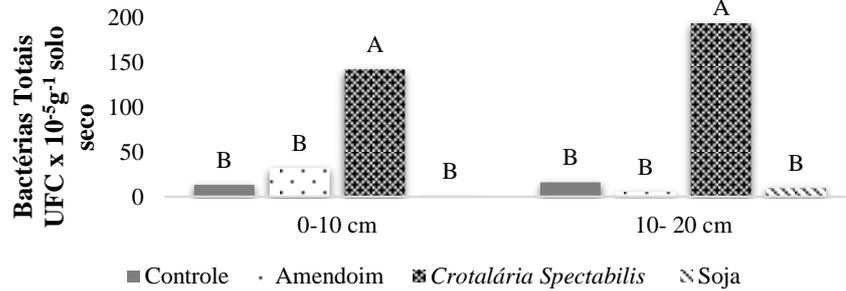
Avaliando o aumento de bactérias totais e de bactérias fixadoras de nitrogênio no solo, antes e após o cultivo de leguminosas, este incremento é influenciado pela adição de matéria no solo. As bactérias exercem importantes funções no solo, como a decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. O aumento da população de bactérias é importante para a sustentabilidade agrícola, principalmente devido aos serviços ecossistêmicos realizados no ambiente que favorecem a disponibilidade de nutrientes para as plantas (CARDOSO; TSAI; NEVES, 1992).

Na profundidade de 10-20 cm se obteve maior quantidade de UFC x 10⁴ g⁻¹ de fungos totais. Na profundidade de 0-10 cm não se constatou diferença estatística significativa antes e após o cultivo das leguminosas para fungos (Figura 3. b).

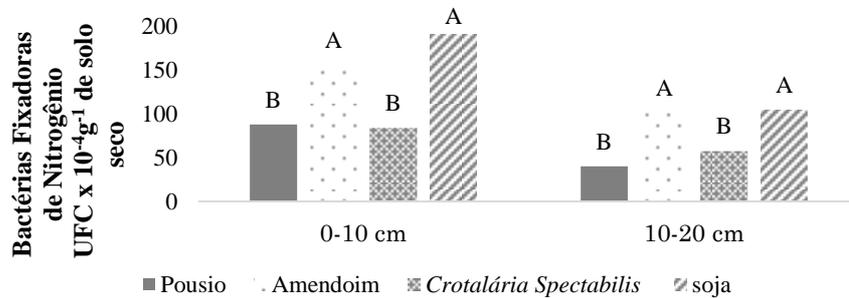
Na análise de fungos totais em relação à qualidade do solo, antes e após o cultivo (Figura 3. c), demonstrou-se que a quantificação dos fungos totais foi maior na profundidade de 10-20 cm após o cultivo das leguminosas. Estes resultados contradizem os de Matsuoka *et al.* (2003), que, avaliando Latossolo Vermelho-Amarelo da região de Primavera do Leste (MT) sob três sistemas de uso do solo nas profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm, observaram impactos mais pronunciados oriundos de atividade agrícola nas propriedades microbiológicas na camada mais superficial do solo. Estes resultados evidenciam a importância de se conhecer o comportamento de comunidades de fungos em diferentes profundidades e regiões distintas pertencentes ao cerrado, e através deste conhecimento verificar os efeitos das alterações agrícolas com o propósito de traçar estratégias de recuperação da atividade microbiana.

A figura 3 ilustra o aumento da comunidade bacteriana nas profundidade de 0-10 cm e de 10-20 cm, antes e após o cultivo das leguminosas considerando cada espécie utilizada.

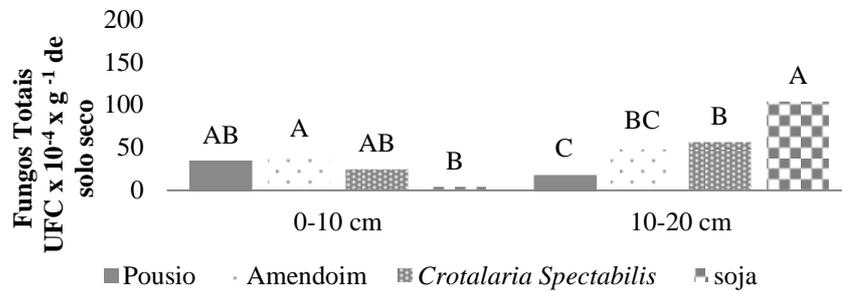
a)



b)



c)



Fonte: Elaboração própria. UFC corresponde a Unidade Formadora de colônias. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. Para todas as culturas (amendoim, *Crotalaria Spectabilis* e soja e pousio que corresponde a comparação do solo pré-plantio e o solo pousio).

Figura 3 - Quantificação de bactérias totais (a), bactérias nitrificantes (b) e fungos totais (c) dos solos nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm

Da análise estatística pelo teste de Tukey, constatou-se que, na quantificação das UFC $\times 10^4 \text{ g}^{-1}$ de bactérias totais, o cultivo da *C. spectabilis* se destacou nas duas profundidades, auferindo maiores valores que os demais plantios.

Para as bactérias fixadoras de Nitrogênio observou-se diferença estatística, sendo que o amendoim e a soja se destacaram nas duas profundidades. Já para fungos totais o amendoim se destacou na profundidade de 0-10 cm e a soja na profundidade de 10-20 cm.

Quanto ao efeito da adubação com leguminosas observou-se, com base nos dados estatísticos, maior quantificação das bactérias totais no cultivo da *C. spectabilis*, ao passo que, similarmente ao observado na profundidade de 0-10 cm, também foi verificado na profundidade de 10-20 cm, onde a crotalária se destacou em relação aos demais cultivos. Estes resultados demonstram a importância de avaliar diferentes cultivos e profundidade de solo, pois são fatores que afetam diretamente a quantidade de microrganismos.

O aumento das bactérias no solo nas camadas superficiais no cultivo da crotalária está relacionado a matéria orgânica depositada sobre o solo, que favoreceu a atividade microbiana. Segundo Moreira e Siqueira (2006), a acumulação de matéria orgânica e o efeito rizosférico favorecem a atividade microbiana na profundidade de 0-20 cm, podendo esse aumento ainda ser correlacionado à relação resíduo-solo, que favorece o aumento das bactérias nas camadas mais profunda do solo (HENDRIX *et al.*, 1983).

Neste trabalho foi observada correlação entre os teores de matéria fresca e bactérias totais. A concentração de matéria fresca tende a aumentar o material orgânico disponível para os microrganismos e o número de bactérias. Os maiores valores de matéria fresca foram observados nos cultivos de crotalária e soja (Tabela 6), enquanto que a soja não apresentou reflexo sobre a carga microbiana de bactérias totais. Resultados equivalentes foram observados por Mendes *et al.* (2003), que citam que os microrganismos foram indicadores sensíveis de mudanças que ocorreram no solo em virtude dos sistemas de manejo, o que não foi evidenciado quando avaliados os teores de matéria orgânica do solo.

A quantificação destas bactérias é um importante parâmetro de melhoria na qualidade do solo, visto que estes microrganismos estão envolvidos em ciclos de degradação de compostos e promovem a fixação do nitrogênio atmosférico no solo, possibilitando o seu uso pelas plantas. O aumento da matéria orgânica no solo é uma forma eficiente de aumentar a disponibilidade deste nutriente na fertilidade do solo (VICTORIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

Resultados semelhantes foram encontrados neste trabalho, o que evidencia a sensibilidade dos microrganismos frente às alterações advindas das atividades agrícolas quando comparadas a outros parâmetros tradicionalmente empregados, de modo que esse

modelo de análise pode ser uma importante ferramenta para utilização em práticas de conservação e aumento de produtividade agrícola.

Na quantificação de Fungos Totais relacionados com as profundidades e culturas, na profundidade de 0-10 cm, somente a cultura de amendoim diferiu estatisticamente em relação aos demais tratamentos. Já na profundidade de 10-20 cm, a soja respondeu positivamente ao aumento do número de colônias de fungos (Figura 4). Miranda *et al.* (2005), em estudos na Embrapa solos do Cerrado, verificaram variação na composição de comunidades de fungos em função de alterações advindas de manejo cultural. Estes autores verificaram que solos com lavoura e com sistema de rotação e preparo apresentaram maior número de espécies fúngicas que em locais de pastagem, evidenciando que práticas de manejo podem promover alterações no número e na diversidade de fungos arbusculares nativos, bem como interferir na eficiência da simbiose e no crescimento de plantas, demonstrando a importância de conhecer a dinâmica destas comunidades microbianas.

Os resultados obtidos neste trabalho reafirmam a relevância do estudo de fungos do solo como uma ferramenta relevante para o conhecimento da atividade biológica que sustenta a sobrevida do Cerrado e impacta nas atividades agrícolas. Baptista *et al.* (2011) enfatizam em seu trabalho as importantes interações realizadas pelos fungos saprófitos na agroecológica. Os fungos, assim como as bactérias, podem favorecer o meio ambiente, pois suas interações ecológicas diminuem a quantidade de insumos agrícolas na produção e, conseqüentemente, promovem a sustentabilidade.

Como já descrito neste trabalho, as leguminosas têm alto potencial de fixação de nitrogênio atmosférico devido à simbiose da planta com as bactérias de Fixação Biológica de Nitrogênio. Assim, a quantificação destas bactérias é importante para se identificar qual cultivo mais favoreceu o aumento desta bactéria.

Após o cultivo das leguminosas observou-se aumento significativo destas bactérias nas duas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm quando comparados com o solo antes do plantio, com destaque para a primeira (Figura 3).

Na avaliação da relação entre número de bactérias fixadoras de nitrogênio e leguminosas nas duas profundidades (Figura 4), o amendoim e a soja representaram a maior quantidade de bactérias fixadoras de nitrogênio. A quantificação destas bactérias é um importante parâmetro de melhoria da fertilidade, visto que estes microrganismos promovem a fixação de Nitrogênio atmosférico possibilitando o seu uso para as plantas (VICTORIA;

PICCOLO; VARGAS, 1992). O aumento destas bactérias é desejável, eis que são eficientes para disponibilizar este nutriente e melhorar a fertilidade do solo e, por isso, evidenciam se todos os tratamentos com leguminosas contribuíram para o incremento destes microrganismos. Já no pré-plantio, a crotalária e o controle (pré-plantio e pousio) não se diferenciaram estatisticamente em ambas as profundidades.

Os resultado referente às bactérias fixadoras de nitrogênio reforça a já mencionada sensibilidade de bactérias à percepção de mudanças em solos agrícolas (Figura 3 e 4). As leguminosas, além de ser eficientes na cobertura do solo, possuem característica de associar-se com bactérias nitrificantes conhecidas como rizóbios, que potencializam a captura do nitrogênio atmosférico para planta/solo (VIEIRA, 2017).

Os resultados obtidos refletem a sensibilidade de microrganismos perante as mudanças agrícolas, à medida que o experimento foi de curto período com 90 dias para crotalária, 140 dias para o amendoim e 143 dias para a soja e já se obteve aumento significativo da carga microbiana no solo.

Evidencia-se neste trabalho que os fungos, assim como as bactérias, podem ser eficientes indicadores de alterações em solos agrícolas e, por isso, podem contribuir para diagnosticar alterações e também traçar estratégias de recuperação de solos mais eficazes, especialmente em solos de cerrado.

4. CONCLUSÃO

A adubação verde no cerrado melhora a microbiota do solo. A crotalária foi o cultivo que favoreceu o aumento da quantidade das bactérias totais nas duas profundidades de 0-10 e 10-20cm. O amendoim obteve melhor desempenho no aumento da quantidade de fungos totais nas duas profundidade 0-10 e 10-20cm. Na quantificação das bactérias nitrificantes, a soja e o amendoim promovem aumento no solo nas duas profundidades (0-10cm e 10-20cm).

Para estudos futuros, indica-se o isolamento destes microrganismos para a inoculação em busca de meios sustentáveis condizentes com a microbiologia do solo do cerrado.

REFERÊNCIAS

ACCUWEATHER. **Condições meteorológicas de Frutal-MG**. ACCUWEATHER. Ano 2020. Disponível em: <https://www.accuweather.com/pt/br/frutal/39298/march-weather/39298?Year=2020>. Acesso em: 30 maio 2021.

BAPTISTA, P. A importância das interações entre fungos do solo em agroecologia. **Actas Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Bragança, p. 159-174.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat**: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.

BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J.; RAIMONDI, R. T.; RIBEIRO, L. M.; GEMELLI, A.; Takano, H. K. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, vol. 42, n. 3, p. 233-238, jul./set. 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010054052016000300233&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 22 abr. 2020.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba, São Paulo. 2016.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (coords.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 7 – Safra 2019/20, n. 3 – Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-62, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A. Adubação verde: parâmetros para avaliação de sua eficiência. *In*: CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O. (eds.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: Iapar/SBCS, 1996. p. 225-242.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Itaguaí: Embrapa- Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – Embrapa Solos. 1997.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, dez. 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/624248/1/doc042.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2021.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Agroecologia**: Princípio e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: Embrapa; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005, p. 436-451. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap18ID-rODRLL1PIX.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

FARIAS, W. M.; PINHEIRO, L. S.; CARDOSO, F. B. F.; MIAZAKI, A. S. Gênese do quartzo em solos de textura média da região de Frutal. *In*: SOUZA, M. F. P. (org.). **Gênese do**

quartzo em solos de textura média da região de Frutal. Alagoínhas: Bordô-Grená, 2019, p. 86-107.

GUIMARAES, G. P.; MENDONÇA, E. S.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, E. V. SOIL aggregation and organic carbon of Oxisols under coffee in agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, vol. 38, n. 1, p. 278-287, jan./fev. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100028&script=sci_arttext. Acesso em: 25 jul. 2020.

HENDRIX, P. F.; PARMELLE, R. W.; CROSSLEY JR, D. A.; COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. **Bioscience**, [S. l.], vol. 36, p. 374-380, 1986.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, vol. 27, p. 425-433, 2003.

MARTIN, J. P. Use of acid, rose bengal, and estreptomycin in the plate method for estimating soil fungi. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], vol. 69, n. 3, p. 215-232, 1950.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, vol. 27, n. 3, p. 435-443, jun. 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300005. Acesso em: 14 set. 2020.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS-JUNIOR, D. F. B. Indicadores de Qualidade de Solo: dos Laboratórios de Pesquisa para o Campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, vol. 32, 2015.

MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online], [S. l.], vol. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/68jgvRPNSgmxF7CCywxMFTR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, [S. l.], vol. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

OLSEN, R. A.; BAKKEN, L. R. Viabilidade de bactérias do solo: Otimização da técnica de contagem de placas e comparação entre contagens totais e contagens de placas em grupos de tamanhos diferentes. **Ecologia Microbiana**, [S. l.], vol. 13, p. 59-74, 1987.

PINHEIRO, L. S.; CAETANO, J.S; PEREIRA, T. T. C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão Frutal (Frutal – MG). *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO)*. 12., 2018, Crato/Ceará. **Anais** [...]. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-299-1129.html>. Acesso em: 10 jun. 2020.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais>. Acesso em: 23 mar. 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)

SCHIAVON, G. A.; LIMA, A. C. R.; SCHIEDECK, J. E.; SCHWENGBER, J. E.; SCHUEBERT, R. N.; PEREIRA, C. V. O conhecimento local sobre a fauna edáfica e suas relações com o solo em agroecossistema familiar de base ecológica: um estudo de caso. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 45, n. 4, p. 658-660. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782015000400658&script=sciabstract&lng=pt>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SILVEIRA NETO, A. de; SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Efeitos de manejos e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], vol. 36, n. 1, p. 29-35, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28460/1/pat36n1silveira.pdf>. Acesso em: 27 maio 2020.

SORHEIM, R.; TORSVIK, V. L.; GOKSOYR, J. Phenotypical divergences between populations of soil bacteria isolated on different media. **Microbial Ecology**, [S. l.], vol. 17, p. 181-192, 1989. DOI <https://doi.org/10.1007/BF02011852>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02011852#citeas>. Acesso em: 17 abr. 2020.

VALPASSOS, M. A. R.; CAVALCANTE, E. G. S; CASSIOLATO, A. M. R; ALVES, M. C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. Dec. 2001. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, [S. l.], vol. 36, n. 12, p. 1539-1545, 2001. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100204X2001001200011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 22 jun. 2020.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017.

VICTORIA, R. L., PICCOLO, M. C., VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. *In: CARDOSO, E. J. B. N., TSAI, S. M., NEVES, M. C. P. Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p.105-119.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa desenvolvida demonstrou que as leguminosas analisadas (amendoim, soja e *Crotalaria spectabilis*) são eficientes na melhoria da qualidade do solo.

Na parte química do solo, comparando as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm antes e após o cultivo, observou-se que na profundidade de 0-10 cm a *Crotalaria spectabilis* auxiliou no incremento de MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC e V%. Na profundidade de 10-20 cm o amendoim se destacou em comparação as demais leguminosas no incremento de P resina, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC e V%

Com relação à microbiologia do solo, foram quantificados as bactérias totais, as bactérias fixadoras de nitrogênio e os fungos totais antes e após o cultivo das leguminosas, constatando-se que o plantio influenciou a microbiota do solo, promovendo o aumento desses microrganismos.

A crotalária foi o cultivo que favoreceu o aumento das bactérias totais nas duas profundidades do solo 0-10 cm e 10-20 cm.

Na quantificação das bactérias nitrificantes, a soja e o amendoim promoveram o aumento nas duas profundidades do solo 0-10 cm e 10-20 cm.

Na quantificação dos fungos totais, o amendoim obteve o melhor desempenho no aumento da quantidade de fungos nas duas profundidades do solo 0-10 cm e 10-20 cm.

Em termos de continuidade da pesquisa, entende-se como interessante proceder à possível identificação destes microorganismos e à sua inoculação para aplicação em solos agrícolas do bioma cerrado.