



KARINA MENDES BERTOLINO

**CONSÓRCIO DE CROTALÁRIA E MILHETO: PRODUÇÃO DE
BIOMASSA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

**LAVRAS-MG
2019**

KARINA MENDES BERTOLINO

**CONSÓRCIO DE CROTALÁRIA E MILHETO: PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel

Orientador

**LAVRAS
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bertolino, Karina Mendes.

Consórcio de crotalária e milheto: Produção de biomassa e características físicas do solo / Karina Mendes Bertolino. - 2019.
99 p.: il.

Orientador(a): Élberis Pereira Botrel.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Consórcio crotalária e milheto. 2. Consórcio produção de biomassa. 3. Consórcio física do solo. I. Botrel, Élberis Pereira. II. Título.

KARINA MENDES BERTOLINO

**CONSÓRCIO DE CROTALÁRIA E MILHETO: PRODUÇÃO DE BIOMASSA E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO**

**CROTALARY AND MILLET CONSORTIUM: BIOMASS PRODUCTION AND
PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2019

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins EPAMIG

Dr. Pedro Milanez de Rezende UFLA

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel

Orientador

**LAVRAS
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento, pela boa vontade e suporte na condução e realização deste trabalho.

Ao professor Élberis Pereira Botrel, pela orientação, paciência e disposição para ajudar.

À minha mãe Rosimeire e meu pai Lucimar que me deram apoio e incentivo nas horas difíceis de desânimo e cansaço.

Aos funcionários da UFLA, especialmente Marli e Giuliana, pela disposição e ajuda.

Ao Gustavo pela ajuda, apoio, paciência, bom humor e companheirismo.

Aos colegas do NESPD e da atividade vivencial pela ajuda e apoio na realização dos experimentos.

Ao setor de Agricultura Geral, Horticultura, Sementes e Cultura de Tecidos do Departamento de Agricultura pela boa vontade e colaboração.

Aos meus irmãos Carola e Carlinhos, meus amigos e familiares por todo apoio e sorrisos que me proporcionaram, pelos bons e maus momentos que passamos juntos.

À Gislei e família, pela enorme hospitalidade e apoio durante esses anos de curso.

A todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis ”.

(José de Alencar)

RESUMO

O uso e manejo inadequado dos solos e a ausência da diversificação e rotação de culturas comprometem o desenvolvimento dos cultivos a longo prazo, ocasionando degradação do solo e infestação de plantas daninhas. O sistema de plantio direto surgiu no Brasil na década de 1970 e tem como objetivo a sustentabilidade e conservação do solo. Porém, para o bom funcionamento do sistema é necessário a cobertura na superfície do solo, proveniente de uma variada combinação de cultivos. Dentre as plantas utilizadas, as leguminosas possuem a vantagem de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, auxiliando no desenvolvimento das culturas cultivadas posteriormente. Já as gramíneas produzem uma palhada com alta relação C/N apresentando menor decomposição e maior tempo de proteção do solo. Assim, a utilização de consórcio entre plantas de cobertura de diferentes espécies como gramíneas e leguminosas vêm sendo uma interessante alternativa, dado a variação na velocidade de decomposição e acúmulo de nutrientes na biomassa proporcionada pelas espécies envolvidas no sistema. O milho é uma das principais plantas de cobertura indicadas para o plantio direto por possuir alta capacidade de produção de biomassa, ciclagem de nutrientes e adaptabilidade em diferentes tipos de solo. A *Crotalaria spectabilis* é uma leguminosa e tem grande aplicação como planta de cobertura por aumentar o teor de nitrogênio nos solos e auxiliar no controle de nematóides. A utilização do consórcio tem sido muito utilizada não só com objetivo na melhoria das qualidades químicas e biológicas do solo, mas também na qualidade física. Dessa forma, a associação entre milho e crotalária apresenta grande potencial de formação de palhada que pode apresentar relação C/N intermediária entre as espécies, com redução da taxa de decomposição de seus resíduos e também aporte de nutrientes para os cultivos em sucessão.

Palavras-chave: Plantio direto. Palhada. Qualidade do solo

ABSTRACT

The inadequate use and management of soils, absence of crop diversification and crop rotation compromise long-term crop development, causing soil degradation and weed infestation. The no-tillage system emerged in Brazil in the 70's and aims in soil sustainability and conservation. However, for the proper functioning of the system, it is necessary to cover the soil surface, using a variety of crops combination. Among the plants that can be used, legumes have the advantage of establishing symbiosis with bacteria - fixing nitrogen, helping in the development of crops grown later. However, grasses produce a straw with a high C/N ratio, presenting lower decomposition and longer soil protection. Thus, the use of a consortium among cover crops of different species such as grasses and legumes has been an interesting alternative, given the variation in the decomposition speed and nutrients accumulation in the soil through the biomass provided by the species involved in the system. Millet is one of the main cover crops indicated for no-tillage because it has high biomass production capacity, nutrient cycling and adaptability in different types of soil. *Crotalaria spectabilis* is a legume, which has great application as a cover plant for increasing the nitrogen content in soils and assisting to control nematodes. The use of the consortium has been widely used not only to improve the chemical and biological qualities of soil, but also to improve the physical quality of it. Thus, the association between millet and crotalaria presents great potential for straw formation, which may present an intermediate C/N ratio among the species, reducing the rate of decomposition of its residues and improving the nutrient contribution to the soil.

Keywords: No tillage. Straw. Soil quality.

LISTA DE SIGLAS

CRC	Contribuição Relativa das Culturas
DAG	Departamento de Agricultura
DAS	Densidade do Solo
DBC	Blocos Casualizados
ERP	Eficiência Parcial para cada Cultura
IC	Índice de Cone
IEA	Índice de Equivalência de Área
RP	Resistência e Penetração
RP	Resistência do Solo a Penetração
SPD	Sistema de Plantio Direto
UET	Uso de Eficiência da Terra
UET	Uso de Equivalência da Terra
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UGA	Unidade em Base Gravimétrica

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Plantio Direto	14
2.2	Plantas de cobertura.....	14
2.2.1	<i>Crotalaria spectabilis</i>	15
2.2.2	<i>Pennisetum glaucum</i>	16
2.3	Consórcio.....	16
2.4	Qualidade física do solo.....	18
2.4.1	Resistência à penetração	19
2.4.2	Densidade do solo.....	19
	REFERÊNCIAS	21
	CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DE CROTALÁRIA CONSORCIADA COM MILHETO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA..	27
1	INTRODUÇÃO.....	29
2	MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1	Área experimental.	31
2.2	Delineamento experimental e tratamentos	32
2.3	Parcela experimental	32
2.4	Instalação de experimentos	34
2.5	Condução do experimento	34
2.6	Características avaliadas	34
2.6.1	Altura de plantas	34
2.6.2	Massa verde.....	34
2.6.3	Massa seca	34
2.6.4	Índice de Uso e Eficiência da Terra	35
2.6.5	Contribuição relativa das culturas ao Índice de Uso e Eficiência da Terra	35
2.6.6	Eficiência parcial para cada cultura	36
2.7	Análises estatísticas.....	36
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.1	Altura das plantas.....	37
3.2	Produtividade de massa verde.....	39

3.3	Produtividade de massa seca	43
3.4	Proporção de estabelecimento das plantas de cobertura	49
3.5	Desempenho dos consórcios	52
4	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	CAPÍTULO 3 – COBERTURA, RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DENSIDADE DO SOLO SOB CONSÓRCIO DE CROTALÁRIA E MILHETO..	59
1	INTRODUÇÃO.....	61
2	MATERIAL E MÉTODOS	63
2.1	Área experimental	63
2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	64
2.3	Parcela experimental.....	64
2.4	Instalação do experimento	65
2.5	Condução do experimento	66
2.6	Características avaliadas	66
2.6.1	Massa seca das plantas de cobertura	66
2.6.2	Porcentagem de cobertura do solo	66
2.6.3	Umidade do solo.....	67
2.6.4	Resistência do solo à penetração	67
2.6.5	Densidade do solo.....	67
2.7	Análises estatísticas.....	68
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
3.1	Porcentagem de cobertura do solo	69
3.2	Umidade do solo.....	72
3.3	Resistência à penetração	74
3.4	Densidade do solo.....	79
4	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS.....	83
	ANEXOS.....	87

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A simplificação dos cultivos com a adoção da monocultura acarreta problemas fitossanitários, perda da qualidade do solo e contaminação da água e do ar. O uso e manejo inadequado do solo e a ausência da diversificação e rotação de culturas comprometem o desenvolvimento dos cultivos a longo prazo, devido a degradação do solo e infestação de plantas daninhas (PACHECO et al., 2017).

O sistema de plantio direto (SPD) que surgiu no Brasil na década de 1970, objetiva o cultivo mínimo, tendo em vista que a mobilização do solo é realizada apenas na linha de semeadura (FEBRAPDP, 2015). Contudo, para um bom funcionamento do sistema, faz-se necessária a manutenção da cobertura morta na superfície do solo, sendo essa proveniente de um variado sistema de cultivo (POWLSON et al., 2014). É grande a variedade de plantas de cobertura como gramíneas, leguminosas, crucíferas, espontâneas, dentre outras, que podem ser utilizadas para a formação da palhada para o sistema de plantio direto, sobretudo em regiões tropicais (ANDRIOLI, 2008), onde é comum a rápida decomposição da palhada devido as altas temperaturas e umidade (ARAÚJO et al., 2015).

Dentre as plantas de cobertura utilizadas, as pertencentes a família das leguminosas possuem a vantagem de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, incorporando o nutriente no solo, auxiliando assim, no incremento de biomassa das culturas cultivadas em sequência (CORRÊA et al., 2014). Já as gramíneas produzem palhada com alta relação C/N, apresentando menor taxa de decomposição e conseqüentemente, maior tempo de proteção do solo (OHLAND et al., 2005). Sendo assim, o consórcio entre plantas de cobertura de diferentes espécies como gramíneas e leguminosas vêm sendo uma interessante alternativa (TEIXEIRA et al., 2010), dado que a velocidade de decomposição e o acúmulo de nutrientes na biomassa e sua liberação variam entre essas espécies (BOER et al., 2007).

Com a expansão das áreas de plantio direto e a necessidade de cobertura do solo, o milheto (*Pennisetum glaucum*) tem sido uma das principais plantas de cobertura indicadas para o sistema (PEREIRA FILHO et al., 2003), pela sua capacidade de produção de massa verde e seca que podem ultrapassar 70 t ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹, respectivamente (EMBRAPA, 2018). Outra vantagem do milheto é o acúmulo de nutrientes em sua biomassa, contribuindo assim, para o incremento desses no solo

após sua decomposição (BOER et al., 2007). A *Crotalaria Spectabilis* é uma planta da família das leguminosas que tem uma grande aplicação como planta de cobertura por ser capaz de contribuir para o aumento de nitrogênio no solo, reciclar nutrientes e auxiliar no controle de nematóides (SILVEIRA; RAVA, 2004).

O cultivo consorciado com gramíneas e leguminosas têm sido muito recomendados, objetivando não somente benefícios proporcionados às qualidades química e biológica do solo, mas também à qualidade física. Essas plantas podem funcionar como descompactadoras por possuírem grande distribuição e uniformidade de raízes ao longo do perfil do solo. Além disso, as raízes ao penetrar em camadas mais compactadas do solo, provocam desarranjos das partículas e que ao se decomporem abrem canais favorecendo assim a infiltração de água, bem como a difusão de gases, contribuindo então para a melhora da qualidade física (OLIVEIRA et al., 2016).

A associação entre gramíneas e leguminosas como o milho e a crotalaria apresenta grande potencial de uso, tendo em vista a composição de sua palhada, cujo o material resultante pode apresentar uma relação C/N intermediária entre as duas espécies, contribuindo para uma redução da taxa de mineralização de nutrientes em seus resíduos, resultando assim em um melhor aproveitamento do cultivo em sucessão (URQUIAGA et al., 2005).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantio Direto

O Sistema de Plantio direto (SPD) é um sistema de cultivo que visa a mínima mobilização do solo, a conservação da cobertura na superfície, a diversificação de espécies cultivadas e a diminuição do espaço de tempo entre a colheita e a nova semeadura (FEBRAPDP, 2017). No Brasil, o SPD teve início na região Sul, tendo como objetivo principal a redução da erosão e dos impactos ambientais causados pelo sistema de cultivo convencional de preparo do solo (SILVA et al., 2009). Estima-se que a área plantada sob o SPD seja em torno de 32 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2015).

Sabe-se que uma das principais vantagens do SPD é o não revolvimento do solo. Devido a isso, ocorre a formação de um ambiente diferente daquele observado no plantio convencional, o que resulta em benefícios para o produtor e para o ambiente (BORTOLETI JUNIOR et al., 2015). Assim o SPD contribui para o aumento da resiliência e reconstituição do solo, reduz a emissão de gases do efeito estufa, a degradação do solo, o uso de combustíveis fósseis e de adubação das culturas, devido a melhorias na qualidade do solo (BRASIL, 2017).

No SPD é de suma importância a correta escolha das plantas de cobertura, uma vez que na ausência da biomassa para a cobertura do solo, o sistema poderá não expressar seu máximo potencial. Essa cobertura pode ser constituída de plantas vivas ou da permanência de restos culturais na superfície do solo (LIMA, 2014). A escolha dessas plantas depende de vários fatores, dentre eles o potencial de produção de fitomassa (ALBUQUERQUE et al., 2013), as condições do solo onde serão implantadas, a disponibilidade e o preço de sementes no mercado, a capacidade de tolerar o déficit hídrico, a tendência de serem hospedeiras de pragas e doenças, o valor comercial (BORGES et al., 2015) e a competição com as espécies de interesse econômico (QUEIROZ et al., 2010).

2.2 Plantas de cobertura

É conhecido que o plantio direto está diretamente relacionado ao uso de plantas de cobertura, inclusive, essa denominação teve origem com o início desse sistema. Plantas de cobertura e/ou adubação verde são aquelas espécies utilizadas para produção de fitomassa, e seus resíduos são utilizados para formação de palhada e recobrimento do solo, ou ainda fornecimento de nutrientes para culturas em sucessão ou rotação (ANDRIOLI; PRADO, 2012). A utilização de

plantas de cobertura aliada ao plantio direto proporciona inúmeros benefícios, dado que, com a falta de revolvimento do solo, a fragmentação dos resíduos é reduzida e o menor contato com o solo resulta em uma menor decomposição desses pela biota do solo (SOUZA et al., 2016).

A contínua cobertura do solo com plantas de cobertura e sua palhada protege o solo contra impactos das gotas de chuva. Isso permite melhor infiltração da água e consequente aumento na umidade do solo, contribui para a reconstrução da matéria orgânica do solo a partir dos resíduos da superfície e protege o solo contra dessecação. A planta de cobertura contribui ainda para maior densidade e diversidade dos microorganismos do solo, e as raízes dessas espécies criam bioporos de vários tamanhos, melhorando assim, a capacidade de retenção de água e drenagem (KASSAN; BRAMMER, 2013). Outros benefícios da utilização das plantas de cobertura são a diminuição das oscilações da temperatura do solo devido a proteção causada pela cobertura (TORRES et al., 2006) e o aumento da disponibilidade e teor de nitrogênio no solo, sobretudo pelas espécies de leguminosas (TEIXEIRA et al., 2009).

É grande a variedade de plantas de cobertura que podem ser utilizadas no SPD objetivando a formação da cobertura do solo, sobretudo em regiões tropicais (ANDRIOLI, 2008). Nessas condições, é comum a rápida decomposição da palhada sobre o solo devido as altas temperaturas e umidade, fazendo com que a escolha correta de plantas para a produção de biomassa vegetal adequados as condições tropicais se tornem uma importante decisão para o satisfatório estabelecimento do SPD (ARAÚJO et al., 2015).

2.2.1 *Crotalaria spectabilis*

A *Crotalaria spectabilis* é uma espécie pertencente à família leguminosa. Apresenta crescimento inicial lento e raiz pivotante profunda, capaz de romper as camadas compactadas do solo. Seu hábito de crescimento é arbustivo, ramificado, de porte médio, podendo chegar a 1,50 m de altura. É uma espécie de regiões tropicais e possui boa adaptabilidade a diferentes tipos de solo, sobretudo nos deficientes em fósforo (BARRETO; FERNANDES, 2001).

Por possuir hábito de crescimento determinado e arbustivo a *Crotalaria spectabilis* pode ser cultivada solteira ou em consórcio como o milho, mandioca, café ou citros. Quanto a produção de fitomassa, essa espécie produz menor quantidade se comparada as demais crotalárias, principalmente a crotalária juncea, possuindo assim, uma produção de matéria seca variando entre 2 e 16 t ha⁻¹ (CARVALHO; AMABILE, 2006).

Assim como a maioria das crotalárias a *C. spectabilis*, apresenta sensibilidade ao fotoperíodo, não é resistente a seca, devendo assim, ser cultivada no período chuvoso. Dentre as vantagens do uso dessa espécie está sua eficiência no impedimento a multiplicação de nematóides (BARRETO; FERNANDES, 2001), além do grande potencial em aumentar a oferta de nitrogênio aos sistemas de produção (TEODORO et al., 2011).

2.2.2 *Pennisetum glaucum*

O milheto, *Pennisetum glaucum* é uma gramínea anual de verão originária da África, cespitosa com crescimento ereto e grande produção de perfilhos e podendo ultrapassar os 3 metros de altura (EMBRAPA, 2018). É uma planta de fácil implantação e manejo, que se adapta a diferentes condições de clima e solo e com alto potencial produtivo (KOLLET et al., 2006).

Nos últimos anos tem-se observado uma crescente expansão na área cultivada com milheto, sobretudo nas regiões do cerrado, onde tem sido utilizado como planta de cobertura do solo para o plantio direto. Dentre as principais vantagens do milheto como planta de cobertura, destaca-se a resistência a seca, a adaptabilidade a solos pobres em nutrientes, a elevada capacidade de extração de nutrientes devido ao sistema radicular profundo e a boa capacidade de produção de massa seca, podendo alcançar 20 t ha⁻¹ (EMBRAPA, 2018).

A elevada demanda de materiais mais produtivos de milheto para produção de grãos e forragem, fez com que a adoção de híbridos se tornasse uma alternativa. Assim, com a utilização do melhoramento genético, desenvolveu-se vários materiais a fim de atender a necessidade de plantas mais produtoras de grão e biomassa (GUIMARÃES et al. 2013).

2.3 Consórcio

O Consórcio caracteriza-se pelo cultivo simultâneo de duas ou mais espécies em um mesmo local, no qual as plantas utilizadas podem ser semeadas ao mesmo tempo ou em épocas diferentes. A consorciação de culturas é um componente importante no sistema de plantio direto pois contribui, dentre outros benefícios, para o auxílio no controle de plantas invasoras e formação da cobertura do solo, estando essa viva ou morta, por um maior período (EMBRAPA, 2017).

O consórcio entre espécies de plantas de cobertura tem sido uma opção viável, principalmente em áreas de plantio direto, tendo em vista a posterior formação da palhada para manutenção do sistema, bem como a ciclagem de nutrientes (CHIODEROLI et al., 2010). É de

suma importância a escolha de plantas de cobertura que tenham como características o rápido crescimento inicial, a alta taxa de fixação biológica de nitrogênio, a capacidade de liberação de nutrientes em sincronia com a cultura principal, além da capacidade de aporte de fitomassa (CHIEZA et al., 2017).

Em condições tropicais, a associação entre gramíneas e leguminosas têm sido uma interessante alternativa para assegurar a formação de palhada e aumentar os níveis de matéria orgânica no solo (RODRIGUES et al., 2012). O consórcio entre gramíneas e leguminosas promove maior rendimento da matéria seca se comparado ao cultivo isolado de cada espécie, maior estímulo na fixação biológica de nitrogênio por meio das leguminosas e, devido a distinção entre os sistemas radiculares, diferentes volumes de solos explorados, ocasionando assim, melhor eficiência na utilização dos nutrientes e da água (COLLIER et al., 2011).

Esse consórcio tem sido motivo de estudo de vários pesquisadores. Oliveira et al.(2015) estudando o desempenho de consórcio de crotalária e milho em camadas compactadas de solo, observaram que o consórcio de milho e crotalária contribuiu para o aumento na biomassa seca e verde da parte aérea e da biomassa seca de raízes em todas as camadas (superior, compactada e inferior), quando comparado ao cultivo solteiro da crotalária. Para Debiasi et al. (2015), o consórcio entre milho e crotalária é uma alternativa viável dado a alta produção de matéria seca aliada aos benefícios proporcionados a qualidade do solo devido a diversidade de espécies vegetais. Sendo assim, a melhor utilização dos recursos disponíveis no sistema como água, luz e nutrientes, faz com que o consórcio seja uma maneira vantajosa de cultivo em relação aos cultivos isolados (BEZERRA et al., 2007).

A eficiência dos consórcios depende da complementaridade das culturas empregadas no sistema, tendo em vista a existência de vários fatores que podem afetar a produtividade e o crescimento das culturas consorciadas (NETO; GOMES, 2008). Dentre esses fatores destacam-se a cultivar ou espécie selecionada, a taxa de semeadura e a competição entre as espécies utilizadas (CABALLERO; GOICOECHEA; HERNAIZ, 1995.; CARR; HORSLEY; POLAND, 2004.; DHIMA et al., 2007).

Para quantificar a vantagem econômica em sistemas consorciados, tem sido desenvolvido índices (NETO; GOMES, 2008), nos quais se destaca o Índice de Equivalência de Área (IEA) ou Uso de Equivalência da Terra (UET). O IEA ou UET, indica a área de terra necessária em monocultivo, para produzir a mesma quantidade de um hectare em consórcio, utilizando uma

mesma população de plantas e mesmas condições de manejo. Assim, quando o valor obtido para esse índice for maior que um, significa que o consórcio será mais eficiente que o monocultivo (SOUZA; MACEDO, 2006).

2.4 Qualidade física do solo

A qualidade do solo é definida em função de indicadores físicos, químicos e biológicos. Esses indicadores são importantes para a avaliação do aumento da degradação ou melhoria do solo, bem como a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al., 2009). Quando se trata de manutenção e melhoria das qualidades física, química e biológica do solo, as práticas conservacionistas de manejo têm grande destaque, tendo em vista que em cultivos intensivos, a redução da cobertura vegetal e conseqüentemente do estoque de matéria orgânica promove a erosão e compactação do solo, ocasionando queda de produtividade. Sendo assim, torna-se necessário a escolha correta de espécies de plantas de cobertura a fim de reestabelecer a qualidade do solo (ARGENTON et al., 2005).

A qualidade física do solo é entendida como a capacidade do mesmo em fornecer condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento do vegetal. Para o desenvolvimento satisfatório das plantas são necessários solos com boas condições físicas que determinam os fluxos de água, calor e gases. A umidade do solo controla a aeração, a temperatura e a resistência a penetração, fatores que são afetados pela densidade do solo. Esses fatores físicos são relacionados e refletem no desenvolvimento e funcionalidade das raízes, incidindo assim, na produtividade dos cultivos (COLLARES et al., 2006).

Existem diferentes espécies de plantas de cobertura com diferentes sistemas radiculares que podem ser utilizadas em sistemas de cultivo, desenvolvendo importante papel no planejamento para a recuperação de áreas fisicamente degradadas. Em muitos casos, a consorciação de duas ou mais espécies ou mesmo uma rotação de culturas adequada é eficaz na melhora de características físicas de solos degradados (TEIXEIRA; PAULETTO; SILVA, 2003), uma vez que a utilização de culturas com sistema radicular agressivo pode diminuir efeitos negativos ocasionados pela degradação do solo pela melhoria em sua estrutura. Outra maneira é a utilização de resíduos orgânicos que justamente por elevar o teor de matéria orgânica e nutrientes, induz melhoria das características físicas do solo (COSTA et al., 2011).

2.4.1 Resistência à penetração

A compactação do solo é função de alterações ocorridas na sua estrutura física, reduzindo os espaços internos antes ocupados por água e ar, comprometendo a disponibilidade desses elementos, o que reflete no desenvolvimento das culturas (ASSIS et al., 2009). A compactação restringe o crescimento radicular das plantas, afeta a infiltração de água e a condutividade hidráulica e altera os processos químicos e biológicos do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A resistência do solo a penetração (RP) é um indicador da qualidade física de solos cultivados. Com o uso de equipamentos adequados é possível avaliar o grau de compactação de um solo e assim, a facilidade de penetração das raízes (RIBON et al., 2003). A RP é influenciada pelo manejo do solo, intensidade de tráfego e umidade do solo, sendo dessa maneira, muito variável no campo (SILVA; REICHERT; REINERT, 2004).

Na determinação da compactação do solo é adotado um método indireto conhecido como Índice de Cone (IC), no qual mede a resistência que o solo exerce em relação a penetração de uma ponta cônica. Os penetrômetros são os equipamentos utilizados para exercer essa penetração (MOLIN; DIAS; CARBONERA, 2012), sendo que, os mais comuns são os de impacto (OLIVEIRA et al., 2017), uma vez que são equipamentos sem a necessidade de calibração, não sofrem interferência do operador e tem baixo custo (TORMENA; ROLOFF, 1996).

O sistema radicular dos cultivos apresenta distintos graus de tolerância à compactação do solo, sendo que o valor crítico é considerado aquele a partir do qual a planta restringe o crescimento de suas raízes (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000). De acordo com Vepraskas e Miner (1986), solos com valores de RP variando de 2,8 a 3,2 MPa atrasam a elongação das raízes, sendo que a 4 Mpa não existe o crescimento. Já para Canarache (1990) em valores acima de 2,5 MPa já se observa o início da restrição do crescimento das raízes da maioria dos vegetais. Existe uma grande amplitude entre os valores de RP considerados críticos para o desenvolvimento das raízes, sendo assim, o valor de 2,0 MPa tem sido considerado como o limite crítico (TAYLOR; ROBERTSON; PARKER, 1966).

2.4.2 Densidade do solo

A densidade do solo, também conhecida como densidade aparente, é uma importante propriedade física do solo representada pela relação entre o peso e o volume ocupado. A densidade do solo influencia na produtividade das culturas, bem como na qualidade do ambiente. É uma

propriedade dinâmica e variável, sendo mais expressiva na superfície se comparada a subsuperfície (PARRON et al., 2015).

A densidade do solo pode ser alterada pelo manejo, e pode refletir na porosidade, distribuição e diâmetro dos poros e resistência do solo à penetração de raízes (KLEIN, 2006). O aumento da densidade e conseqüentemente da resistência à penetração resulta em compactação do solo causando a sua degradação (LIMA et al., 2014). O aumento da densidade influencia negativamente na absorção de nutrientes bem como no crescimento de raízes e parte aérea das plantas. Com a compactação do solo, os mecanismos difusão e fluxo de massa, responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes são fortemente afetados em decorrência da diminuição dos poros (OHLAND et al., 2014).

Para alguns autores como Lima et al. (2007), os valores de densidade do solo restritivos ao crescimento e estabelecimento das culturas dependem do tipo de solo e das condições de manejo adotadas. De acordo com Taylor, Robertson e Parker (1966), a se considerar uma RP de 2,5 MPa, valores de densidade do solo inferiores a $1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ e maiores que $1,83 \text{ Mg m}^{-3}$ podem ser limitantes ao desenvolvimento das plantas. Para Klein (2006) a densidade máxima de um Latossolo Vermelho é de $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$ sendo que a limitante seria $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$. Já Reinert et al. (2008) estudando os limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho, constataram que o crescimento ocorreu até o limite de densidade de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo que entre os valores de $1,75$ e $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$ ocorreu restrição e deformação das raízes.

Uma maneira de diminuir a densidade e conseqüentemente a compactação do solo seria a utilização de plantas de cobertura. Algumas espécies de plantas de cobertura possuem um abundante e agressivo sistema radicular, que além de diminuir os efeitos da compactação e auxiliar na agregação do solo, podem proteger a superfície do solo pela presença da palhada (ASSIS et al., 2014).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. D. et al. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 721-726, 2013.
- ANDRIOLI, I. et al. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1691-1698, 2008.
- ANDRIOLI, I.; PRADO, R. M. Plantas de Cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.3, p.963-978, maio/jun. 2012.
- ARATANI, R. G. et al. Qualidade de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p. 677-687, 2009.
- ARAÚJO, L. D. S. et al. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.5, p. 483-488, 2015.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 425-435, 2005.
- ASSIS, E. B. et al. Resistência à penetração em Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.19, p. 1668-1677, 2014.
- ASSIS, R. L. et al. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p. 558-568, out./dez. 2009.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso de adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. Embrapa Tabuleiros Costeiros - **Circular Técnica**, CNPTC, dez. 2001.
- BEZERRA, A. P. A. et al. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.1, p.104-108, 2007.
- BOER, A. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, set. 2007.
- BORGES, W. L. B. et al. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. **Revista Ciência Rural**, v. 45, n. 45, p. 799-805, 2015.

BORTOLETI JUNIOR, A. et al. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 12, n. 1, 2015.

BRASIL- **Ministério da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento – Sistema Plantio Direto**- Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/sistema-plantio-direto.pdf>>. Acesso em: 25/05/2017.

CABALLERO, R.; GOICOECHEA, E. L.; HERNAIZ, P. J. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of common vetch. **Field Crops Research**, v. 41, n.2, p. 135–140, 1995.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, 1997.132 p.

CANARACHE, A. PENETROMETER - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.16, n.1-2, p. 51-70, 1990.

CARR, P. M.; HORSLEY, R. D.; POLAND, W. W. Barley, oat and cereal-pea mixtures as dryland forages in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 96, n.3, p.677– 684, 2004.

CARVALHO, A. M; AMABILE, R. F. **Cerrado Adubação Verde, Planaltina**. DF: Embrapa Cerrados, 2006, 369 p.

CHIEZA, E. D. et al. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com Crotalária juncea L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 64, n.2, p. 189-196, 2017.

CHIODEROLI, C. A. et al. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

COLLARES, L. C. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1663-1674, nov. 2006.

COLLIER, L. S. et al. Consórcio e sucessão de milho e feijão-de-porco como alternativa de cultivo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n.3, p. 306-313, jul./set. 2011.

CORRÊA, A. L. et al. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho antecedendo a couve-folha sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, n.6, p. 956-963, 2014.

COSTA, M. S. S. M. et al. Atributos físicos de solo e produtividade de milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.810-815, 2011.

DEBIASI, H. et al. Inserção das crotalárias e do milheto em sistemas de produção de soja no norte do Paraná. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2015.

DHIMA, K. V. et al. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. **Field Crops Research**, v. 100, n. 2-3, p. 249-256, 2007.

EMBRAPA. **Agência de informação tecnológica**. Disponível em:<
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fx4zsnby02wyiv80u5vcsvyqcraq.html>. Acesso em: 22/10/2017.

EMBRAPA. **Sistema de produção Embrapa**. Cultivo do milheto. Disponível em:
<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018>:Acesso em 03/02/2018.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Plantio Direto**: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015, 144 p.

FEBRAPDP- **Federação Brasileira de Plantio Direto**. Disponível em
><http://febrapdp.org.br/area-de-pd#>>. Acesso em: 04/09/2017.

GUIMARÃES et al. Desempenho de cultivares e híbridos de milheto em solo submetido a compactação. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1188-1194, 2013.

KASSAM, A.; BRAMMER, H. Combining sustainable agricultural production with economic and environmental benefits. **The Geographical Journal**, v. 179, n. 1, p. 11-18, 2013.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um latossolo vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p.26-32, 2006.

KOLLET, J. L.; DIOGO, J. M. S.; LEITE, G. G. Rendimento forrageiro e composição bromatológica de variedades de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1308-1315, 2006.

LIMA, C. L. R. et al. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência a penetração de um Argissolo Vermelho distroférrico arênico. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p. 1166-1169, jul-ago, 2007.

LIMA, L. B. Efeitos das plantas de cobertura em sistema de plantio direto. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer- Goiânia-GO, v.10, n.18, p.1410-1425, 2014.

MOLIN, J.P.; DIAS, C.T.S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p. 584-590, 2012.

- NETO, F. B.; GOMES, E. G. Índices de desempenho de sistemas agrícolas consorciados: uso eficiente da terra, indicadores econômicos e eficiência DEA. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A INTEGRAÇÃO DE CADEIAS PRODUTIVAS COM ABORDAGEM DA MANUFATURA SUSTENTÁVEL, 2008, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: 13 a 16 de outubro de 2008, p.1-10.
- OHLAND, R. A. A. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n.3, p. 538-544, 2005.
- OHLAND, T. et al. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial de pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.61, n.5, p.622-630, set/out, 2014.
- OLIVEIRA, M. S. P. et al. Desempenho de consórcio de crotalária e milho em camadas compactadas de solo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. O SOLO E SUAS MULTIPLAS FUNÇÕES, 2015, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: 2 a 7 de agosto 2015, p. 1-4.
- OLIVEIRA, M. S. P. et al. Densidade e comprimento radicular de crotalária e milho em camadas compactadas de solo. In: V CONGRESSO ESTADUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IF GOIANO – CAMPUS IPORÁ, 2016, Iporá, GO. **Anais...** Iporá, GO: 21 a 23 de setembro de 2016, p.1-2.
- OLIVEIRA, M. P. et al. Efeito da Gessagem e calagem na resistência à penetração do solo obtida com dois penetrômetros. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilandia-MS, v.4, n.1, p.58-64, jan./Mar.2017.
- PACHECO, L. P. et al. Biomass and nutrient cycling by cover crops in Brazilian Cerrado in the state of Piauí. **Revista Caatinga**, v. 30, n.1, p. 13-23, 2017.
- PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Embrapa Florestas - Livro científico (ALICE), 2015. 374 p.
- PEREIRA FILHO, I. A. et al. Manejo da cultura do milho. **Circular técnica 29**. p. 65. Embrapa Milho e Sorgo, Sete lagoas-MG, 2003.
- POWLSON, D. S. et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 8, p. 678-683, 2014.
- QUEIROZ, L. R. et al. Supressão de plantas daninhas e produção de milho-verde orgânico em sistema de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 28, n.2, p. 263-270, 2010.
- REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p. 1805-1816, 2008.

RIBON, A. A. et al. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.13-17, 2003.

RODRIGUES, G. B. et al. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 380-385, 2012.

SILVA, V. R.; REINERT, F. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p. 191-199, 2000.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p. 399-406, mar-abr, 2004.

SILVA, M. A. G. D. et al. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n.2, p. 275-281, 2009.

SILVEIRA, P. M.; RAVA, C. A. **Utilização de Crotalária no controle de nematoides da raiz do feijoeiro**. Comunicado técnico 74. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás-GO, setembro, 2004.

SOUZA, E. D. D. et al. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de "campos de murundus" em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n.9, p. 1194-1202, 2016.

SOUZA, J. O.; MACEDO, M. A. S. Análise da viabilidade econômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2006, Belo Horizonte- MG, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte, MG: 30 de outubro a 01 de novembro de 2006, p.1-16.

TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, New York, v.102, p.18- 22, 1966.

TEIXEIRA, C. M. et al. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.647-653, 2009.

TEIXEIRA, C. M. et al. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.2, p. 497-506, 2010.

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

TEODORO, R. B. et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.2, p. 635-640, 2011.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 20, n. 2, p. 333-39, 1996.

TORRES, J. L. R. et al. Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas-RS, v.12, n.1, p. 107-113, jan-mar, 2006.

URQUIAGA, S. et al. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade dos sistemas agrícolas na América Latina**. Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta. Embrapa Agrobiologia. Brasília-DF, p.181-200, 2005.

VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. Effects of subsoiling and mechanical impedance of tobacco root growth. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, n.2, p. 423-427, 1986.

CAPÍTULO 2 - DESEMPENHO DE CROTALÁRIA CONSORCIADA COM MILHETO NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA.

RESUMO

A utilização de técnicas que empregam o cultivo mínimo e a adição de matéria orgânica pelo uso de plantas de cobertura é uma opção indispensável para a estruturação química, física e biológica do solo. O objetivo desse estudo foi avaliar as espécies *Crotalaria spectabilis* e *Pennisetum glaucum* consorciadas em diferentes proporções para a produção de palhada para cobertura do solo no sistema de plantio direto. O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos foram constituídos de crotalária e milho consorciados em diferentes proporções, totalizando 6 tratamentos (T): (T1: 100% crotalária); T2: (80% crotalária + 20% milho); T3: (60% crotalária + 40% milho); T4: (40% crotalária + 60% milho); T5: (20% crotalária + 80% milho); T6: (100% milho) com 4 repetições cada. As plantas de cobertura foram semeadas manualmente utilizando-se para a crotalária 20 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, e para o milho 25 kg ha⁻¹ para a proporção de 100%. As demais proporções foram calculadas e semeadas de acordo com cada tratamento. Não foram realizadas adubações na ocasião do semeio. Avaliou-se a altura de plantas, massa verde e massa seca em duas épocas distintas, no florescimento do milho aos 86 dias após a semeadura e no florescimento da crotalária aos 118 dias após a semeadura. O índice de eficiência e uso da terra foi calculado por meio dos dados obtidos de massa seca total dos consórcios aos 118 dias após a semeadura. A melhor época para o manejo das plantas em consórcio foi aos 118 dias após a semeadura, onde se obteve a quantidade suficiente de massa seca para cobertura do solo sob sistema de plantio direta. O consórcio mais vantajoso em termos agronômicos foi o constituído por 20% crotalária + 80% milho.

Palavras-chave: Palhada. *Crotalaria spectabilis*. *Pennisetum Glaucum*

CHAPTER 2 - CROTALARY PERFORMANCE CONSORTIATED WITH MILLET IN BIOMASS PRODUCTION.

ABSTRACT

The use of techniques that use minimal cultivation and the addition of organic matter by using cover crops is an indispensable option for the chemical, physical and biological structuring of the soil. The objective of this study was to evaluate the *Crotalaria spectabilis* and *Pennisetum glaucum* species consociated in different proportions to produce straw for soil cover in the no-tillage system. The experiment was installed in the experimental area of the Department of Agriculture at the Federal University of Lavras, in a randomized block design. The treatments were composed of crotalary and millet mixed in different proportions, totaling 6 treatments (T): T1: (100% crotalary), T2: (80% crotalary + 20% millet), T3: (60% crotalary + 40% millet); T4: (40 % crotalary + 60% millet); T5: (20% Crotalary + 80% millet); T6: (100% millet) with 4 repetitions each. The cover plants were manually sown using 20 kg ha⁻¹ of seeds as the proportion of 100%, and 25 kg ha⁻¹ of millet as the proportion of 100%. The others treatments were calculated and seeded according to each proportion. At sowing no manure was performed. Plant height, green and dry matter were evaluated at two distinct times, at millet bloom, 86 days after sowing and at crotalaria bloom, 118 days after sowing. The efficiency and land use index were calculated using data obtained from the total dry matter of the consortium at 118 days after sowing. The best time for the management of the plants in a consortium was 118 days after sowing, where sufficient dry matter was obtained to cover the soil under a no-tillage system. The most advantageous agronomic consortium consisted of 20% crotalary + 80% millet.

Keywords: Straw. *Crotalaria spectabilis*. *Pennisetum Glaucum*

1 INTRODUÇÃO

A redução do potencial de produção de solos de regiões tropicais e subtropicais está relacionada sobretudo com a erosão hídrica e redução da matéria orgânica. A utilização de técnicas que empregam o cultivo mínimo e a adição de matéria orgânica por meio do uso de plantas de cobertura se torna uma opção indispensável para a estruturação química, física e biológica do solo (MARCATE; CAMACHO; PAREDES, 2011).

As plantas de cobertura e/ou adubos verdes são plantas utilizadas para formação de palhada e incorporação ou reciclagem de nutrientes no solo. Assim, essas plantas propiciam melhoria nas propriedades do solo, aumentando a matéria orgânica e conseqüentemente amenizando a erosão hídrica ou eólica devido a proteção proporcionada pela cobertura morta. Essa cobertura promove também a manutenção da temperatura do solo além de servir como barreira física contra a germinação de plantas daninhas (BOER et al., 2008).

O Milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma planta de cobertura muito utilizada para formação de palhada e cobertura do solo por ser considerada pouco exigente em fertilidade, tendo assim boa adaptação em diferentes regiões, sobretudo com solos pobres, ocorrência de déficit hídrico e altas temperaturas. Essa planta possui sistema radicular vigoroso e eficiente em absorção de nutrientes, sendo essa uma das principais características que fazem do milheto uma planta de destaque dentre as outras utilizadas como cobertura do solo (MARCATE; CAMACHO; PAREDES, 2011). Já a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) é uma leguminosa que tem como principais características, a associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio e a baixa relação C/N, o que resulta em rápida decomposição dos seus resíduos, assegurando o suprimento de nutrientes das culturas posteriores (PERIN et al., 2010).

O consórcio é o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies em uma mesma área, sendo essa prática comum entre os agricultores de regiões tropicais por possuir vantagens como o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis tais como água, luz e nutrientes (BEZERRA et al., 2007). A associação entre gramíneas e leguminosas propicia benefícios aos sistemas de produção, uma vez que essas plantas apresentam características distintas, resultando em exploração de diferentes camadas de solo, promovendo a ciclagem diferenciada dos nutrientes (CHERR et al., 2006). Outra vantagem é a produção de massa seca com relação C/N intermediária, promovendo assim a menor taxa de decomposição dos resíduos. Dessa forma, torna-se de grande relevância o estudo do

comportamento e desempenho das espécies utilizadas nesse tipo de consórcio. (CARVALHO et al., 2013).

O consórcio entre plantas de cobertura especialmente gramíneas e leguminosas tem sido estudada por diversos pesquisadores. Ferrari Neto et al. (2011), em um de seus trabalhos sobre plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema plantio direto, constatou que o milho produziu mais massa seca em monocultivo que quando cultivado em consórcio com outra leguminosa. Contudo, outros trabalhos mostram que embora o milho tenha um rápido crescimento nos primeiros dias após a semeadura, dominando sobre leguminosas como o guandu anão, essa gramínea produz maior fitomassa quando consorciada se comparada ao monocultivo (CALVO; FOLONI; BRANCALIÃO, 2010).

A eficiência dos consórcios é em grande parte dependente da complementariedade entre as culturas. A complementariedade temporal ocorre quando as plantas envolvidas no consórcio demandam por recursos ambientais em períodos distintos, e com isso a competição pode ser minimizada. Por outro lado, a complementariedade espacial ocorre quando a diferença na arquitetura da planta favorece a melhor utilização de água, luz e nutrientes disponíveis. A complementariedade temporal é o principal fator determinante da eficiência em consórcios (WILLEY, 1979). Portanto, para verificar a eficiência do consórcio, ou seja, se o consórcio é mais produtivo que o monocultivo pode-se adotar o índice de Uso de Eficiência da Terra (UET) (RÓS; SÃO JOÃO, 2016) ou Índice de Equivalência de área (IEA), que evidencia que um consórcio tem maior produtividade que o monocultivo das espécies constituintes sempre que o valor do índice for maior que 1 ($UET > 1$) (LIEBMAN, 2012).

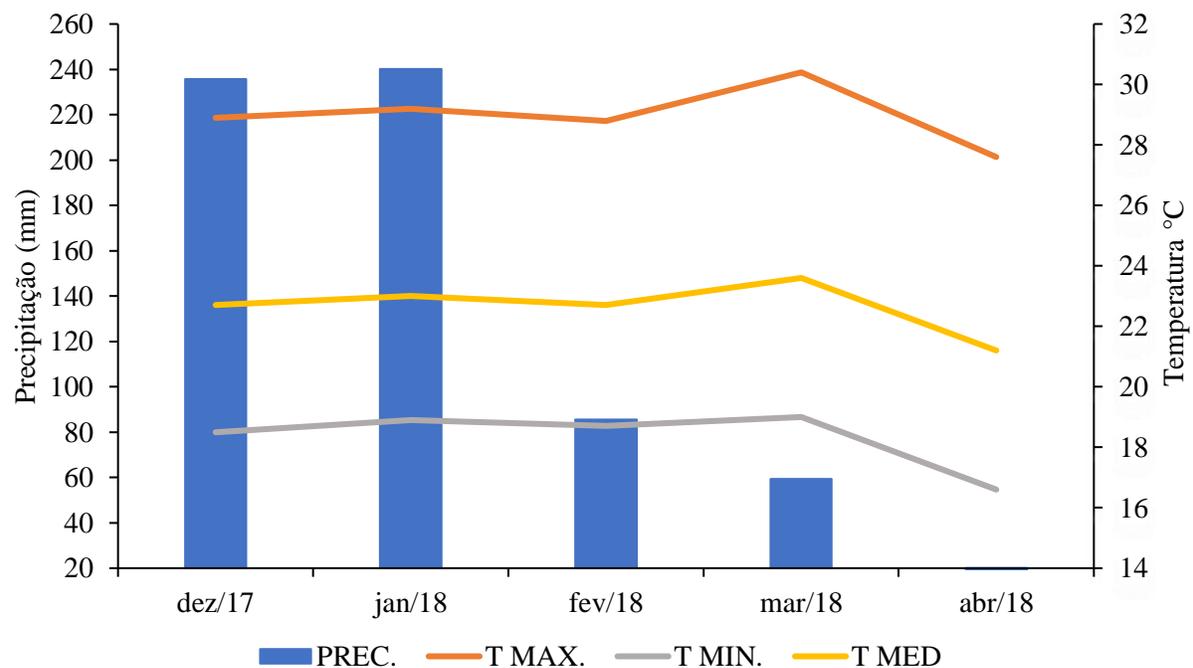
O objetivo desse estudo foi avaliar as espécies de *Crotalaria spectabilis* e *Pennisetum glaucum* consorciadas em diferentes proporções para produção de palhada para cobertura do solo no sistema de plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras MG, (21° 14'S e 45° 00'W) e altitude média de 920 metros. O clima da região é classificado como temperado úmido (Cwa) de acordo com Koppen, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,4 °C (BRASIL, 1992 e DANTAS; CARVALHO ; FERREIRA, 2007). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico – LVdt (EMBRAPA, 1999). Os dados de precipitação pluvial e temperaturas ocorridas no período de dezembro de 2017 a abril de 2018 estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluvial (mm) total e temperaturas (°C) mínimas, médias e máximas no período de dezembro de 2017 a abril de 2018 em Lavras, MG.



Dados obtidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras localizada no campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), constituído de seis proporções de plantas de coberturas consorciadas entre si, totalizando seis tratamentos com quatro repetições cada (TABELA 1).

Tabela 1. Proporções de semeadura das plantas de cobertura, crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e milho (*Pennisetum glaucum*) em solteiro e em consórcio.

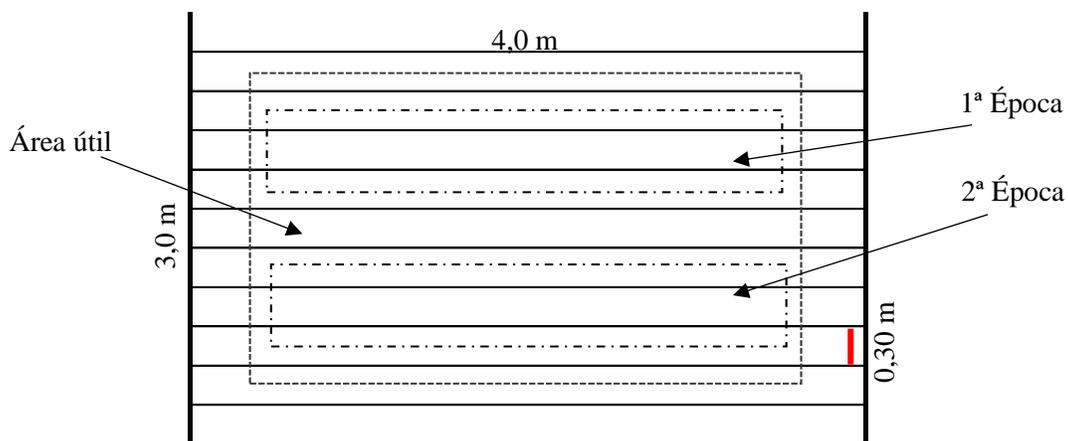
Tratamento		Crotalária	Milho
1	Solteiro	100%	0%
2	Consórcio	80%	20%
3	Consórcio	60%	40%
4	Consórcio	40%	60%
5	Consórcio	20%	80%
6	Solteiro	0%	100%

Fonte: do autor (2017).

2.3 Parcela experimental

A parcela experimental foi formada por 10 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas de 0,30 metros entre si, totalizando 12,0 m², com uma área útil de 7,2 m² (FIGURA 2). Para a determinação da parcela útil, eliminou-se as duas linhas laterais e 0,5 metros de cada extremidade. Dentro da parcela útil estabeleceu-se ainda, duas áreas distintas de avaliação em duas épocas, que constituíram as subparcelas.

Figura 2 – Detalhe da parcela experimental.



Fonte: do autor (2018).

2.4 Instalação do experimento

O experimento foi instalado em campo em novembro de 2017, sendo que para o preparo do solo foi realizada uma aração e duas gradagens. Antes da última gradagem foi realizada a calagem utilizando 1,31 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, objetivando o alcance da saturação por bases (V%) de 60%, de acordo com a análise de solo (TABELA 2), sendo incorporado a uma profundidade de 20 cm. Na sequência procedeu-se a abertura dos sulcos espaçados de 30 cm de forma mecanizada para delimitação das parcelas.

Tabela 2 – Resultado da análise química e física da amostra de solo (0-20 cm de profundidade) antes da implantação do experimento, UFLA, Lavras, 2017.

Característica	unidades	valores
pH em H ₂ O		6,85
P (Fósforo Mehlich I)	mg/dm ⁻³	12,5
K ⁺	mg/dm ⁻³	110,8
Ca ²⁺	cmolc/dm ⁻³	1,1
Mg ²⁺	cmolc/dm ⁻³	0,4
Al ³⁺	cmolc/dm ⁻³	0,1
H+Al	cmolc/dm ⁻³	2,7
SB	cmolc/dm ⁻³	1,8
CTC (t)	cmolc/dm ⁻³	1,9
CTC (T)	cmolc/dm ⁻³	4,5
V%	%	39,6
MO	dag/kg	2,06
Classe Textural – Argilosa		
Argila	dag/kg	37
Silte	dag/kg	13
Areia	dag/kg	50

Análise realizada pelo laboratório de Análises Agropecuárias-Ltda, 3rlab. SB= Soma de bases, T= Capacidade de troca de cátions a pH 7, t= Capacidade efetiva de troca de cátions, m= Saturação por alumínio, V= Saturação por bases, MO= Matéria orgânica.

2.5 Condução do experimento

As plantas de cobertura foram semeadas simultaneamente e manualmente no sulco de plantio, utilizando-se para a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) cultivar “comum” na quantidade de 20 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, e para o milho (*Pennisetum glaucum*) cultivar BRS1501 25 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, ambos da Piraí sementes. Posteriormente, foram calculadas e semeadas a quantidade de semente de acordo com os demais tratamentos (T) constituídos com as diferentes proporções de milho e crotalária: T1 (100% crotalária); T2 (80% crotalária + 20% milho); T3: (60% crotalária + 40% milho); T4: (40% crotalária + 60% milho); T5: (20% crotalária + 80% milho); T6: 100% milho). Na ocasião do semeio não foram realizadas adubações. Aos 35 dias após o semeio foi realizada a capina de forma manual para o controle de plantas daninhas.

2.6 Características avaliadas

2.6.1 Altura de plantas

A avaliação da altura de plantas foi realizada em duas épocas, sendo a primeira medição realizada no florescimento do milho (86 dias após a semeadura - DAS), e a segunda no florescimento da crotalária (118 DAS). Foram escolhidas aleatoriamente dez plantas de cada espécie em cada parcela, as quais foram medidas com o auxílio de uma régua graduada partindo-se do colo da planta até seu ápice.

2.6.2 Massa verde

A determinação da massa verde também foi realizada nas mesmas épocas que para a altura de plantas. Foram colhidas duas linhas de três metros de comprimento para a 1ª época e outras duas linhas para a 2ª época de corte. As plantas foram cortadas rente ao solo e posteriormente pesadas em campo e devolvidas ao local de onde foram retiradas. No caso do consórcio as espécies foram pesadas separadamente. Posteriormente, a massa obtida foi expressa em kg ha⁻¹.

2.6.3 Massa seca

Para a determinação da massa seca, após a obtenção da massa verde, retirou-se uma amostra de aproximadamente 500 gramas de cada parcela, sendo que, no caso de consórcio constituiu-se de duas amostras, sendo uma amostra de 500 gramas para cada espécie. As amostras foram pesadas e

secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingiram peso constante. Foi determinado o teor de massa seca dividindo-se o peso seco constante pelo peso verde. De posse do teor de massa seca que multiplicado pela produtividade de massa verde por hectare, obteve-se a produtividade de massa seca por hectare.

2.6.4 Índice de Uso e Eficiência da Terra

Para o cálculo do Índice de Uso e Eficiência da Terra (UET) foi utilizada a fórmula sugerida por Willey (1979):

$$\text{UET} = \underbrace{Y_{MC} / Y_{MM}}_{I_M} + \underbrace{Y_{CC} / Y_{CM}}_{I_C}; \text{ onde:}$$

UET: Índice de Uso e Eficiência da Terra;

Y_{MC} : Rendimento do milho em consórcio;

Y_{MM} : Rendimento do milho em solteiro;

Y_{CC} : Rendimento da crotalaria em consórcio;

Y_{CM} : Rendimento da crotalaria em solteiro;

I_M : Produtividade Relativa Individual de milho;

I_C : Produtividade Relativa Individual de crotalaria.

O consórcio será considerado mais eficiente que o cultivo solteiro quando o valor da UET for maior que um (1).

2.6.4 Contribuição relativa das culturas ao Índice de Uso e Eficiência da Terra

A contribuição relativa das culturas (CRC) ao UET, provém da razão entre a Produtividade relativa Individual e o UET total do sistema, indicando o percentual de participação de cada cultura na obtenção do índice total.

$$\text{CRC}_M = (I_M \times 100) / \text{UET};$$

$$\text{CRC}_C = (I_C \times 100) / \text{UET}; \text{ onde:}$$

CRC_M: Contribuição Relativa do milho

CRC_C: Contribuição Relativa da crotalaria

2.6.6 Eficiência parcial para cada cultura

A Eficiência parcial para cada cultura (ERP_M e ERP_C) foi calculada a partir dos dados das produtividades relativas individuais (I_M e I_C). Esses índices mostram o quanto da produtividade parcial representa em relação à proporção da população para cada cultura. Índices maiores que 1,0 representam ganhos de eficiência para a cultura, quando no estabelecimento daquela combinação de consórcio (SOUZA; MACEDO, 2006).

$$\mathbf{ERP}_M = I_M / X_M;$$

$$\mathbf{ERP}_C = I_C / X_C; \text{ onde:}$$

ERP: Eficiência parcial para cada cultura;

X_M: Proporção do milho na população;

X_C: Proporção da crotalaria na população.

Para o cálculo dos referidos índices foi utilizada a massa seca das plantas de cobertura obtidas no segundo corte, ou seja 118 DAS.

2.7 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (Teste F), que permitiu avaliar os efeitos dos tratamentos / proporções de semente de plantas de cobertura (parcelas) e dos períodos de corte (subparcelas), bem como a interação entre esses fatores. Quando significativas, as médias dos tratamentos foram submetidas à análise de regressão e as médias das épocas comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância utilizando o programa estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Altura das plantas

Os resultados obtidos para altura das plantas de crotalária aos 86 e 118 dias após semeadura (DAS) estão representados na Tabela 3. Não foi verificada interação significativa para épocas e proporções. Também não houve efeito significativo das proporções avaliados isoladamente, independente da época de avaliação. Contudo, houve efeito significativo para épocas, constatando maior altura das plantas aos 118 DAS (ANEXO A).

Tabela 3 – Medias de altura da crotalária (CR) em metros (m) aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS), obtido no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

Época (DAS)	Altura CR
	-----m-----
86	1,12 b
118	1,45 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

A altura das plantas de crotalária aos 86 DAS foi superior à verificada por Teodoro et al. (2011) que obtiveram para a mesma espécie desse estudo 0,77 m, também no estágio vegetativo da leguminosa, porém aos 60 dias de cultivo. Contudo, a média da altura nesse estudo foi próxima a observada por Soares et al. (2015), que encontraram em seu trabalho 1,08 m aos 90 DAS. Apesar de ter alcançado altura superior a encontrada por outros autores mesmo sem ter atingido o florescimento, as médias de altura observadas aos 86 DAS para a crotalária estão de acordo com os descritos por Barreto e Fernandes (2001), que relataram que a *Crotalaria spectabilis* é uma planta de porte mediano, alcançando entre 0,60 e 1,50 m de altura.

Os valores de altura aos 118 DAS, embora sejam maiores que aos 86 DAS ainda estão de acordo ao encontrado por outros autores como Mateus e Wutke (2006) que descreveu para essa mesma espécie de crotalária, uma planta de crescimento determinando podendo alcançar até seu florescimento entre 1,0 e 1,50 m de altura. De acordo com Teodoro et al. (2011) que avaliando aspectos agrônômicos de leguminosas para adubação verde no Alto Vale do Jequitinhonha - MG, observaram que a crotalária se comporta de forma diferente de outras plantas de cobertura, mantendo sua taxa de crescimento praticamente constante até o período de florescimento, que ocorreu aos 92 DAS. Os resultados obtidos para essa característica em duas épocas neste trabalho

evidenciaram que o corte precoce, aos 86 DAS, ocasiona perda de produtividade visto que a espécie continua a acumular matéria seca até seu florescimento.

Os resultados para a altura das plantas de milho estão representados na Tabela 4. Foi verificada interação significativa entre épocas de corte e proporções (ANEXO B). Quando comparada as épocas, a maior altura do milho na proporção de 60% foi observada aos 118 DAS (ANEXO C). Os valores de altura encontrados para o milho aos 86 DAS foram de 1,62 a 1,85 m e aos 118 DAS de 1,75 a 2,12 m.

Tabela 4 – Altura das plantas de milho em metros (m) para os tratamentos estudados (TRAT) aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) em função da interação época e proporções obtido no experimento: Desempenho de crotalaria consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	Época (DAS)	
	86	118
	-----m-----	
20%	1,75 a A	1,84 a B
40%	1,85 a A	2,12 a B
60%	1,62 a B	1,97 a A
80%	1,71 a A	1,97 a B
100%	1,72 a A	1,77 a B
Média	1,75	1,92

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A média de altura das plantas encontradas para o milho neste trabalho, foi inferior a evidenciada por Vazquez, Lema e Granzotto (2011) que quando cultivado na época chuvosa atingindo 2,47 m. Embora a média de altura das plantas de milho encontradas neste estudo aos 86 DAS (1,75 m) sejam menores se comparada a outros autores, quando avaliado em mesma época, os valores estão próximo aos descritos para essa espécie, que segundo a Embrapa (2018), atinge 1,80 m no florescimento. Já para aos 118 DAS (1,92 m) a altura encontrada foi próxima a relatada por outros autores como Teodoro et al. (2015) que obtiveram após a floração, quando os grãos apresentavam aspecto pastoso, 1,96 m.

Embora não tenha sido verificada diferença significativa para a altura do milho para a maioria das proporções na comparação entre as épocas, foi possível observar crescimento das plantas entre 86 e 118 DAS, fato mais evidenciado na proporção de 60% de semeadura. Geraldo et al. (2002) em seu trabalho sobre fenologia e produção de massa seca e de grãos em cultivares de milho observou que, após a floração e a maturação do milho ocorreu o contínuo crescimento e acumulação de biomassa pela planta, fatores que não foram muito evidentes no presente trabalho.

3.2 Produtividade de massa verde

Os resultados obtidos de massa verde da crotalária cultivada de forma solteira e em consórcio com o milho aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) estão representados na Figura 3 e na Tabela 5 abaixo. Não houve interação significativa entre épocas e proporções. Para proporções e épocas quando avaliados de forma isolada, os resultados apontam que existem diferenças para a produção de massa verde da crotalária entre as proporções de semeadura e entre as épocas de corte avaliadas (ANEXO E). Entre as proporções avaliadas as médias dos valores de produtividade de massa verde variaram entre 5.574 kg ha⁻¹ para a crotalária cultivada em consórcio com o milho na proporção de 20% a 32.348 kg ha⁻¹ quando em cultivo solteiro (FIGURA 3). Em sistemas consorciados, as maiores médias de produtividade de massa verde para a crotalária foram observadas para a proporção de semeadura de 80%, atingindo o valor de 22.749 kg ha⁻¹.

Figura 3 – Produtividades médias de massa verde da crotalária colhidas aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

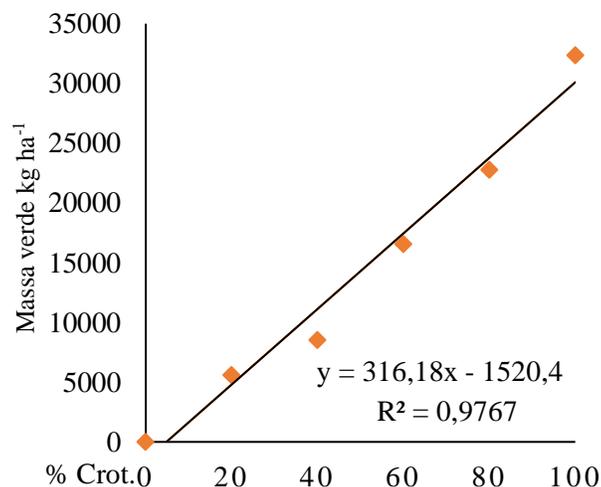


Tabela 5 – Médias da produtividade de massa verde (MV) da crotalária (CR), milho (MI) e total (crotalária + milho). Colhidos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

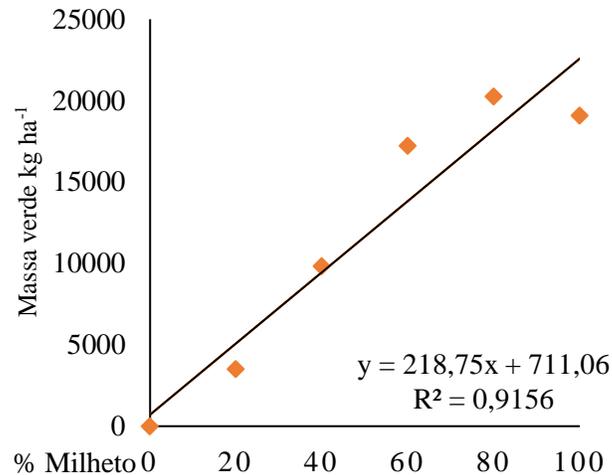
Época (DAS)	MV CR	MV MI	MV Total
	----- kg ha ⁻¹ -----		
86	13.211 b	13.041 a	26.252 a
118	15.365 a	10.255 a	25.620 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

As médias da produtividade de massa verde encontradas para a crotalária em cultivo solteiro (32.348 kg ha⁻¹), foram superiores a obtida por Cavalcante et al. (2012) no florescimento das plantas, aos 78 DAS (19.000 kg ha⁻¹), Soares et al. (2015) aos 90 DAS (28.230 kg ha⁻¹), e Cavalcante et al. (2015) no florescimento (26.500 kg ha⁻¹). A maior produção da massa verde para a crotalária em solteiro obtida nesse experimento possivelmente se deve as condições meteorológicas favoráveis durante a época de cultivo. De acordo com Algeri et al. (2018), a crotalária diferentemente das outras plantas de cobertura, depende de condições climáticas favoráveis, caso contrário, a planta pode limitar a produção de massa e a persistência dessa na cobertura do solo.

Na Figura 4 e na Tabela 5 a seguir estão representados os resultados obtidos para produtividade de massa verde para o milho cultivado em solteiro e em consórcio com a crotalária aos 86 e 118 DAS. Não foi observada interação significativa entre épocas e proporções. Para proporções os resultados apontam diferenças na produção de massa verde do milho quando avaliados de forma isolada (ANEXO F). Dentre as proporções estudadas, as médias de produtividade de massa verde variaram de 3.501 kg ha⁻¹ para o milho quando cultivado na proporção de 20% e 20.252 kg ha⁻¹ quando cultivado na proporção de 80%.

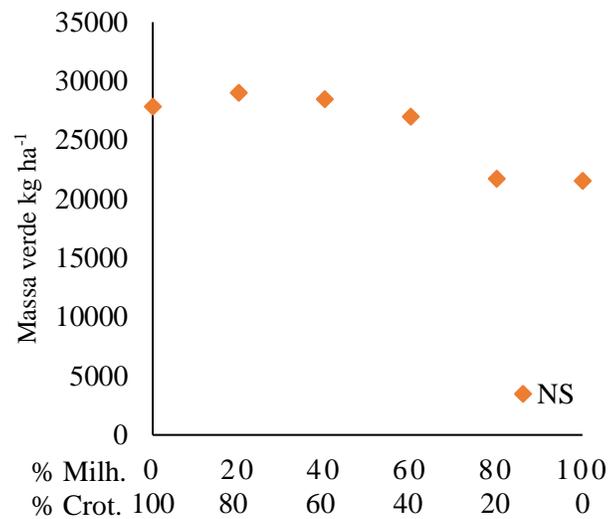
Figura 4 – Produtividades médias de massa verde do milho colhidas aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.



Para o milho solteiro a produtividade de massa verde ($19.097 \text{ kg ha}^{-1}$) foi inferior a evidenciada por Algeri et al. (2018) que obtiveram $41.250 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 46 DAS, Oliveira, Carvalho e Morais (2002) $45.760 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 100 DAS, e Rodrigues et al. (2012) $42.700 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 120 DAS. Contudo, foi superior a encontrada por Teixeira et al. (2005) que obteve, no momento do florescimento, que ocorreu aos 119 DAS, uma produtividade de $11.729 \text{ kg ha}^{-1}$ na mesma região desse estudo, porém em diferente época. O autor atribuiu a baixa produção quando comparada com outros autores ao florescimento precoce e temperaturas baixas atípicas para a época de cultivo no local, fatos que não ocorreram durante este trabalho.

Para massa verde total de crotalária, milho e consórcios (milho + crotalária) das proporções avaliadas aos 86 e 118 DAS que estão representados na Figura 5 e Tabela 5, também não foi evidenciado interação significativa para épocas e proporções, o mesmo ocorrendo para as proporções e épocas quando avaliados de forma isolada (ANEXO G). Foram obtidos valores entre $21.540 \text{ kg ha}^{-1}$ para o milho em solteiro e $29.042 \text{ kg ha}^{-1}$ para o consórcio de 80% crotalária+20% milho.

Figura 5 – Produtividades médias totais de massa verde da crotalária, milho e consórcios (milho + crotalária) colhidas aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.



A produção total de massa verde dos consórcios (crotalária + milho) (FIGURA 5), foi inferior as encontradas por outros autores. Rodrigues et al. (2012) estudando a matéria seca e nutrientes da parte aérea de adubos verde em cultivos exclusivos e consorciados, obtiveram aos 120 DAS para os consórcios entre milho e crotalária 50.600 kg ha⁻¹, milho + feijão de porco 47.400 kg ha⁻¹ e Guandu + milho 44.100 kg ha⁻¹, contudo para esses consórcios utilizou-se a proporção de 50% para cada espécie de planta de cobertura.

Na Tabela 5 onde estão apresentadas as médias das produtividades de massa verde da crotalária, milho e total em consórcio (crotalária + milho) obtidos aos 86 e 118 DAS, não foram observadas diferenças significativas entre as médias das épocas de avaliação para a produtividade de massa verde do milho e total (crotalária + milho). Já para a crotalária a maior produtividade de massa verde foi verificada aos 118 DAS.

De acordo com Silva et al. (2002) a época de corte mais adequada para o manejo de adubos verdes seria após o florescimento e antes da frutificação, o que garante a adição de boa quantidade de material vegetal ao solo. Já para Padovan et al. (2011), as recomendações de manejo variam do início do florescimento ao florescimento pleno. Segundo Carvalho et al. (1999) o manejo da biomassa realizado na floração está relacionado com a produção de biomassa aérea, fator que está associado com o potencial de extração e reciclagem de nutrientes dos adubos verdes. Sendo assim, o incremento de massa verde para crotalária observado aos 118 DAS pode ter sido ocasionado pelo

avanço do ciclo e conseqüentemente do acúmulo de massa, tendo em vista que a planta aos 86 DAS ainda se encontrava em estágio vegetativo.

Para o milheto, não foram observados ganhos em massa verde se manejados em segunda época (TABELA 5). Isso evidencia a importância da época correta para o adequado manejo das plantas de cobertura. Para este trabalho foi verificado que a época ideal para manejo do milheto visando a produção de massa verde seria por volta dos 86 DAS, quando a planta já teria alcançado seu florescimento e grande parte do seu potencial de produção de massa verde. Segundo Carvalho et al. (1999), quando manejados em outros estádios fenológicos, a capacidade de fornecimento de nutrientes pelos adubos verdes é reduzida, contudo, desempenham outras funções como produção de sementes ou controle de plantas daninhas. Já a crotalária por ser uma espécie mais tardia, poderia ser manejada próximo aos 120 DAS com ganhos na produção de massa verde e fornecimento de nutrientes. Dessa forma, a diferença de acúmulo de fitomassa fresca nas diferentes épocas de avaliação para as plantas de cobertura utilizadas está relacionada a diferenças de ciclo das culturas utilizadas.

3.3 Produtividade de massa seca

Na Figura 6 e Tabela 6 a seguir são apresentados os resultados de massa seca da crotalária obtidos aos 86 e 118 DAS para os tratamentos avaliados. Houve interação significativa entre épocas e proporções para a variável massa seca (ANEXO H). Entre as proporções avaliados nas duas épocas de corte verificou-se aos 86 DAS, valores de massa seca variando de 602 kg ha⁻¹ para a proporção de semeadura de 20% a 3.531 kg ha⁻¹ quando em solteiro. Já aos 118 DAS os valores variaram de 1.250 kg ha⁻¹ para a proporção de 20% a 7.420 kg ha⁻¹ quando em cultivo solteiro (ANEXO J). Para as proporções avaliados dentro de cada época de corte, foram encontradas diferenças significativas para as porcentagens de 40, 60, 80 e 100%, onde observou-se maior produtividade aos 118 DAS (ANEXO I).

Figura 6 – Produtividades de massa seca da crotalária em função da interação épocas e proporções colhidas aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

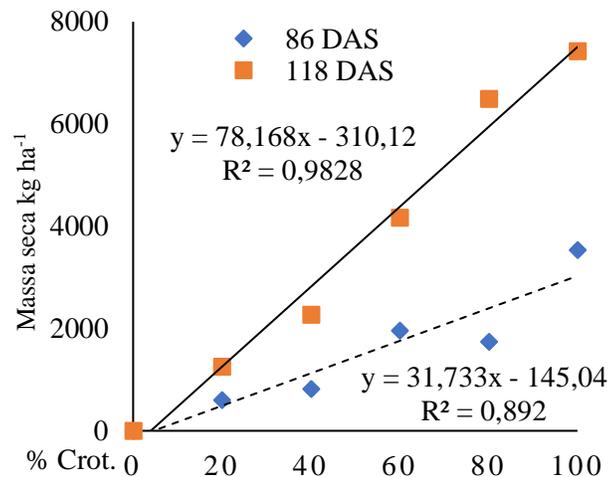


Tabela 6 – Massa seca em kg ha⁻¹ da crotalária nas diferentes proporções (PRO) em função da interação época e proporções colhidos aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

PRO	Época	
	86 DAS	118 DAS
	-----kg ha ⁻¹ -----	
100%	3.531 B	7.420 A
80%	1.730 B	6.488 A
60%	1.962 B	4.165 A
40%	815 B	2.265 A
20%	602 A	1.250 A

* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

A produtividade de massa seca para crotalária cultivada em solteiro encontrada para esse estudo aos 86 DAS (3.531 kg ha⁻¹) (FIGURA 6) foi superior ao encontrado por Cavalcante et al. (2012) que obtiveram 2.500 kg ha⁻¹ para essa leguminosa, com o corte realizado no momento florescimento (78 DAS). Já para os 118 DAS a produtividade de massa seca da crotalária em solteiro (7.420 kg ha⁻¹) foi semelhante ao encontrado por Gitti et al. (2012), que obtiveram também no florescimento, 7.850 kg ha⁻¹ de massa seca. Para esses autores o potencial genético para

produção de palhadas durante aproximadamente 90 dias, quando cultivada no verão, juntamente com as raízes pivotantes das crotalárias são características de plantas com grande potencial de utilização em áreas de sistema de plantio direto, pois além de melhorias na estrutura física do solo, aporte de matéria orgânica, contribuem para elevar os teores de nitrogênio no solo.

O aumento da produtividade da massa seca para a crotalária observado aos 118 DAS (TABELA 6) assim como para massa verde, está relacionado ao estágio fenológico das plantas, e embora para alguns autores como Garcia e Staut (2018) a época de maior acúmulo de massa seca pelas crotalárias seja após o florescimento pleno e início da formação dos legumes, no presente estudo foi possível observar diferenças da produção de massa logo no início da floração quando comparado os 86 DAS.

Os resultados obtidos para produtividade de massa seca do milho cultivado em solteiro e em consórcio com a crotalária aos 86 e 118 DAS são representados na Figura 7 e na Tabela 7. Não foi verificada interação significativa para épocas e proporções, entretanto, foi significativo para essas variáveis de forma isolada (ANEXO K). Entre as proporções, a produtividade de massa seca do milho apresentou valores variando entre 896 kg ha⁻¹ para a proporção de semeadura de 20% e 5.022 kg ha⁻¹ para o cultivo solteiro. Já entre as épocas de corte, observou-se que a maior média ocorreu aos 118 DAS.

Figura 7 – Produtividades médias de massa seca do milho colhidas aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

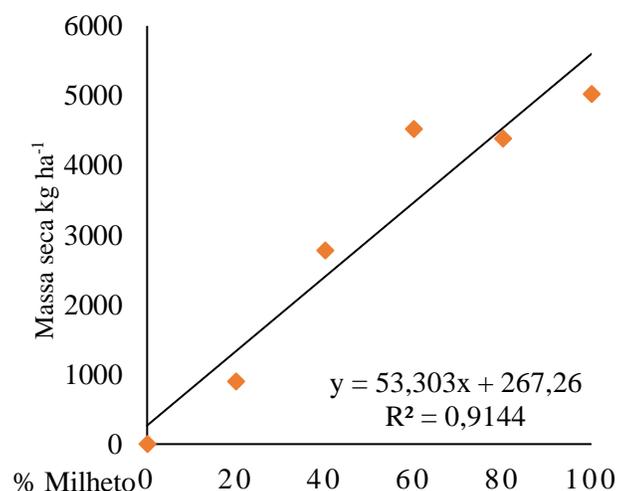


Tabela 7 – Médias da produtividade de massa seca (MS) da crotalária (CR), milho (MI) e total (crotalária + milho) colhidos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

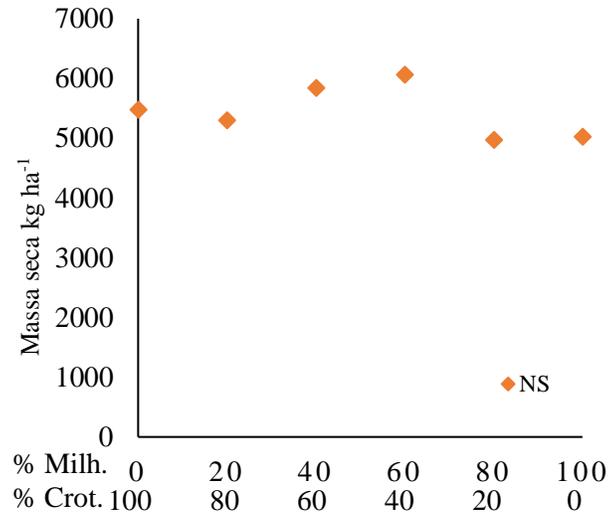
Época (DAS)	MS CR	MS MI	MS Total
	-----kg ha ⁻¹ -----		
86	1.441 B	2.460 b	3.901 b
118	3.598 A	3.404 a	7.002 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

A média da produtividade de massa seca do milho em cultivo solteiro (5.022 kg ha⁻¹) (FIGURA 7), foi inferior a obtida por Calvo, Foloni e Brancalião (2010), que obtiveram aos 90 DAS 5.585 kg ha⁻¹, Silva et al. (2010) que alcançaram 14.040 kg ha⁻¹, Rodrigues et al. (2012) 12.600 kg ha⁻¹ aos 120 DAS e superiores a obtida por Teixeira et al. (2008) que obtiveram aos 119 DAS, 2.907 kg ha⁻¹, no mesmo estágio fenológico do milho neste trabalho aos 86 DAS e mesma localidade, porém em épocas diferentes.

As médias da produtividade de massa seca total dos tratamentos avaliados aos 86 e 118 DAS são apresentados na Figura 8 e Tabela 7. Assim como para massa verde, também não foi observada interação significativa para épocas e proporções, o mesmo ocorreu para as proporções quando avaliadas de forma isolada. Contudo, foram verificadas diferenças significativas entre as épocas de corte (ANEXO L). Dentre as proporções estudadas obteve-se valores entre 5.022 kg ha⁻¹ para o milho em cultivo solteiro e 6.057 kg ha⁻¹ para o consórcio de 40% crotalária + 60% milho. Dentre as épocas de corte o maior acúmulo de massa seca foi observado aos 118 DAS.

Figura 8 – Produtividades médias totais de massa seca da crotalária, milho e consórcios (milho + crotalária) colhidos aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.



As médias da produtividade total de massa seca obtidas em consórcios neste trabalho (5.299 a 6.057 kg ha⁻¹) (FIGURA 8) foram inferiores as encontradas por outros autores. Calvo; Foloni e Brancalião (2010), obtiveram uma massa seca de 8.251 kg ha⁻¹ no consórcio entre o milho e guandu aos 90 DAS, Ferrari Neto et al. (2011) que obtiveram 6.195 kg ha⁻¹ de massa seca também em consórcio entre milho e guandu-anão aos 75 DAS, porém para os dois trabalhos a proporção utilizada foi de 50% para cada planta de cobertura. Teixeira et al. (2008) avaliando a fitomassa de adubos verdes em cultivo solteiro e consorciado, alcançaram no consórcio entre feijão de porco e milho, e milho e guandú anão aos 119 DAS, uma massa seca de 14.171 kg ha⁻¹ e 9.709 kg ha⁻¹ respectivamente. Rodrigues et al. (2012) também encontraram valores superiores em seu trabalho em consórcios constituídos por gramíneas e leguminosas aos 120 DAS, dentre eles o consórcio contendo *Mucuna* + milho produzindo 23.300 kg ha⁻¹, crotalária + milho produzindo 14.800 kg ha⁻¹ e guandu + milho produzindo 12.100 kg ha⁻¹ de massa seca. Os autores concluem ainda que obtiveram maiores acúmulos de massa seca em todos os consórcios contendo milho. Já Debiasi et al (2015) em seu trabalho envolvendo o consórcio de crotalária + milho, observaram diferença significativa para massa seca dessas plantas em tratamentos envolvendo milho solteiro ou consorciado com crotalária aos 51, 66 e 85 DAS, alcançando uma produção de 10.000kg ha⁻¹, valores que foram superiores aos obtidos neste estudo para a crotalária quando cultivada em solteiro.

Na Tabela 7 em que são apresentadas as médias da produtividade de massa seca da crotalária, milho e o total (crotalária + milho) aos 86 e 118 DAS, observou-se o aumento da matéria seca para as duas plantas de cobertura aos 118 DAS. Para Gomes, Verneti Júnior e Silveira (1998), quando comparada a leguminosas, as gramíneas produzem maior quantidade de fitomassa, fator que está relacionado ao rápido desenvolvimento inicial e melhor adaptação as adversidades climáticas. Contudo, para o presente trabalho, essa diferença entre gramíneas em relação as leguminosas não foram observadas, mostrando um comportamento semelhante do milho e crotalária na produção final de massa seca. Esse fato pode ser observado nas figuras 5 e 8, em que não foram observadas diferenças significativas na produtividade de massa verde e seca entre os consórcios (milho + crotalária) e seus cultivos em solteiro. Isso evidencia que o emprego do consórcio da crotalária + milho não reduziu a produtividade total de massa em relação ao cultivo isolado de milho e crotalária, indicando assim, bom potencial para utilização.

Embora o milho, aos 118 DAS se encontrasse próximo a maturação fisiológica, foi possível observar o incremento de massa seca em relação aos 86 DAS (TABELA 7). Carvalho et al. (2015), em seu trabalho sobre manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho, observaram para o milho um menor teor de matéria seca na maturação. Os autores atribuíram esse resultado a senescência da planta, a queda das folhas e a diminuição da produção pelo consumo dos grãos pelos pássaros. Para Padovan et al. (2011), o momento ideal para o manejo do milho visando maior aporte de matéria seca seria no momento do estágio fenológico de grãos leitosos e pastosos. Contudo, segundo Costa et al. (2001), embora o milho BRS 1501 apresente menor duração da fase vegetativa, a planta possui perfis que em sua maioria acompanham o crescimento do colmo principal, alcançando um tamanho próximo a esse, garantindo assim, maior acúmulo de massa seca.

De acordo com Alvarenga et al. (2001), são necessárias 6 ton. ha⁻¹ de palhada para que se realize uma taxa adequada de cobertura do solo para o sistema de plantio direto. Portanto, para esse trabalho, tendo em vista a média geral dos tratamentos em segunda época de corte, o valor de produtividade de massa seca aos 118 DAS está acima do valor necessário, evidenciando assim, a eficiência do consórcio entre gramínea e leguminosa no aporte de palhada.

Após o manejo das plantas de cobertura, a duração da palhada na superfície do solo é determinada pela velocidade de decomposição de seus resíduos, portando, se a decomposição da palhada for rápida, os nutrientes serão liberados nessa mesma velocidade e com isso uma menor

proteção será oferecida ao solo (HEINRICHS et al., 2001). Dessa forma, o consórcio entre plantas de cobertura deve fornecer proteção ao solo, adicionar nitrogênio e proporcionar uma massa seca com relação C/N intermediária àquelas das espécies em cultivo solteiro. Uma massa seca com relação C/N intermediária resulta em uma taxa de decomposição menor que observado em leguminosas, possibilitando a cobertura do solo por mais tempo, promovendo sincronia entre a liberação de nitrogênio e a demanda pelas culturas comerciais (GIACOMINI et al., 2013). Desta maneira, devido aos benefícios mencionados, se torna vantajoso a formação de palhada proveniente do consórcio entre gramíneas e leguminosas como os estudados neste trabalho.

3.4 Proporção de estabelecimento das plantas de cobertura

Na Tabela 8 são apresentadas produtividades de massa verde das plantas de cobertura consorciadas e não consorciadas aos 86 e 118 DAS, e a contribuição dessas plantas no valor total da massa verde. Foi possível observar aos 86 DAS, que os valores individuais de produtividade de massa verde do milho solteiro e em consórcio nas proporções de semeadura de 60% e 80%, são muito próximos, e, apesar de em um dos tratamentos o milho tenha sido semeado em uma proporção de 60% e a crotalária de 40%, o milho contribuiu com mais de 76% na produtividade da massa verde. Essa maior contribuição do milho quando comparado a densidade inicial pode estar relacionada com capacidade de perfilhamento dessa espécie. Para Costa et al. (2015), o milho quando em situações de baixa população e menor competição interespecífica, aumenta a quantidade de perfilhos e conseqüentemente a produção de massa a valores similares aqueles obtidos em altas populações.

Para os 118 DAS observou-se que, nos tratamentos consorciados, a crotalária teve uma contribuição maior que a sua proporção de semeadura inicial quando comparado aos mesmos tratamentos aos 86 dias (TABELA 8). Essa diferença pode estar relacionada ao fato de que, no momento da primeira avaliação o milho já se encontrava em florescimento e próximo ao estágio de máxima acumulação de massa, ao passo que a crotalária continuava seu estágio vegetativo até próximos aos 118 dias. Padovan et al. (2012) avaliando a dinâmica de acúmulo de massa e nutrientes pelo milho para fins de adubação verde em sistemas de produção, perceberam que para a mesma cultivar de milho utilizada neste estudo, a máxima produção de massa verde ocorreu entre os 89 e 97 DAS, e aos 75 DAS a planta já tinha produzido 93% da massa fresca em relação ao total acumulado.

Tabela 8 – Produtividade de massa verde (MV) da crotalária (CR), do milho (MI) em kg ha⁻¹, proporção de semeadura (PRO) e contribuição (CONT) das plantas na produtividade total de massa verde (MV total). Colhidos aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

MV 86 DAS							
CR		MI		MV total	CONT CR	CONT MI	-----%-----
PRO	MV	PRO	MV				
100	31.515	0	0	31.515	100,00	0,00	
80	20.412	20	3.345	23.758	85,92	14,08	
60	15.758	40	10.364	26.121	60,32	39,68	
40	6.697	60	21.495	28.192	23,76	76,24	
20	4.886	80	22.727	27.614	17,70	82,30	
0	0	100	20.315	20.315	0,00	100,00	

MV 118 DAS							
CR		MI		MV total	CONT CR	CONT MI	-----%-----
PRO	MV	PRO	MV				
100	33.182	0	0	33.182	100,00	0,00	
80	25.086	20	3.657	28.742	87,28	12,72	
60	17.359	40	9.293	26.652	65,13	34,87	
40	10.303	60	12.929	23.232	44,35	55,65	
20	10.000	80	15.909	25.909	38,60	61,40	
0	0	100	17.879	17.879	0,00	100,00	

A massa seca do milho e crotalária e a contribuição das plantas no valor total de massa aos 86 e 118 DAS são apresentados na Tabela 9. Verificou-se que aos 86 DAS o milho apresentou maiores valores de contribuição no consórcio para todos os tratamentos quando comparado aos 118 DAS. Já a crotalária aos 118 DAS apresentou contribuição maior que a semeadura inicial para todas as proporções, contudo a contribuição foi menor quando comparada a mesma época de avaliação, porém para massa verde. Tal fato pode ser explicado pelo fato de que a maioria dos adubos verdes quando cultivados no período chuvoso, onde existe uma maior disponibilidade de água, tendem a acumular maior quantidade de biomassa, porém para algumas espécies como as

crotalárias, que são constituídas de altos teores de água, embora tenham alta massa verde, produzem baixos valores de massa seca (CARVALHO et al., 1999).

Tabela 9 – Produtividade de massa seca (MS) da crotalária (CR), do milho (MI) em kg ha⁻¹, proporção de semeadura (PRO) e contribuição (CONT) das plantas na produtividade total de massa seca (MS total). Colhidos aos 86 e 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG

MS 86 DAS						
CR		MI		MS total	CONT CR -----%-----	CONT MI
PRO	MS	PRO	MS			
100	3.532	0	0	3.532	100,00	0,00
80	1.738	20	602	2.341	74,26	25,74
60	1.963	40	2.231	4.193	46,80	53,20
40	815	60	4.739	5.554	14,68	85,32
20	602	80	3.046	3.648	16,51	83,49
0	0	100	4.144	4.144	0,00	100,00

MS 118 DAS						
CR		MI		MS total	CONT CR -----%-----	CONT MI
PRO	MS	PRO	MS			
100	7.421	0	0	7.421	100,00	0,00
80	6.488	20	1.191	7.679	84,49	15,51
60	4.166	40	3.320	7.486	55,65	44,35
40	2.265	60	4.295	6.560	34,52	65,48
20	1.994	80	5.089	7.083	28,15	71,85
0	0	100	5.900	5.900	0,00	100,00

Aos 118 DAS, observa-se que assim como para massa verde, a contribuição do milho no valor total da massa seca foi inferior se comparada aos 86 DAS (TABELA 9). Assim como para massa verde, tal fato pode ser explicado pela diferença de ciclo entre as duas espécies de plantas de cobertura, sendo o milho uma espécie de ciclo médio com florescimento entre 60 e 90 dias (SILVA; FRATONI; SCUDELETTI, 2015), tendo a massa seca acumulada antes dos 118 dias, e a crotalária uma espécie mais tardia, com florescimento dos 100 aos 120 dias quando semeada em

épocas mais favoráveis (MATEUS; WUTKE, 2006). Tal fato mostra a importância do momento correto de manejo das plantas de cobertura que, segundo Padovan et al. (2011) varia entre o início do florescimento até o florescimento pleno, contudo, o maior acúmulo de massa seca e nutrientes acontece no enchimento dos grãos, podendo a planta fornecer mais aporte de massa para o solo se for manejada nessa época.

3.5 Desempenho dos consórcios

O desempenho dos consórcios avaliados neste experimento pode ser melhor compreendido pela interpretação da tabela 10, em que é possível observar que para todas as proporções testadas obteve-se o Índice de Equivalência de Área (IEA ou UTE) maior que um (1). Evidencia-se assim que nas proporções de consórcio estudadas neste trabalho, há uma vantagem de aproveitamento da área na associação crotalária e milheto. Ou seja, existe um efeito positivo na produtividade quando se utiliza o consórcio, ocasionando uma produção complementar quando comparado aos cultivos solteiros de milheto e crotalária.

Tabela 10 – Índices agronômicos para a produtividade dos consórcios de crotalária (CR) e milheto (MI) colhidos aos 118 dias após a semeadura (DAS) no experimento: Desempenho de crotalária consorciada com milheto na produção de biomassa, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

Proporções		CR			MI			IEA
CR	MI	I_{CR}	ERP_{CR}	$CRC_{CR}(\%)$	I_{MI}	ERP_{MI}	$CRC_{MI}(\%)$	
80%	20%	0,87	1,08	81,10	0,20	1,01	18,90	1,07
60%	40%	0,56	0,93	49,71	0,56	1,41	50,29	1,12
40%	60%	0,30	0,76	29,34	0,73	1,21	70,66	1,03
20%	80%	0,27	1,33	23,58	0,86	1,08	76,42	1,13

I_{MI} = Produtividade relativa individual para o milheto; I_{CR} = Produtividade relativa individual para a crotalária; ERP_{MI} = Eficiência parcial para o milheto; ERP_{CR} = Eficiência parcial para a crotalária; CRC_{MI} = Contribuição relativa do milheto ao IEA/UTE; CRC_{CR} = Contribuição relativa da crotalária ao IEA/UTE; UTE/IEF = Uso e eficiência da terra ou índice de equivalência de área.

As Produtividades Relativas Individuais (I_{CR} e I_{MI}) mostram que, para o milheto existem ganhos em todas as proporções em consórcio, no entanto para a crotalária as combinações 40% crotalária + 60% milheto e 60% crotalária + 40% milheto que obtiveram I_{CR} menor que a proporção

de crotalária na população, não obtiveram ganhos. Nos demais casos verificou-se então, ganhos agronômicos para ambas as plantas de cobertura utilizadas no consórcio.

A contribuição relativa das culturas (CRC) representa a participação de cada cultura no Índice de eficiência de área (IEA), para as combinações avaliadas. Para o milho o consórcio parece ter sido mais efetivo. Observa-se que, para os consórcios 40% crotalária + 60% milho e 60% crotalária + 40% milho, o CRC_{MI} (%) do milho foi superior a sua participação na população, e conseqüentemente o CRC_{CR} (%) da crotalária menor que a participação dessa cultura na população inicial para esses mesmo consórcio. Contudo, para o consórcio 20% crotalária + 80% milho e 80% crotalária e 20% milho o CRC_{CR} (%) da crotalária é superior que sua participação na população e o CRC_{MI} (%) do milho inferior.

Para as análises de Eficiência Relativa Parcial para cada cultura (ERP_{MI} e ERP_{CR}), mostrou uma vantagem parcial em termos de produtividade para o milho em todas as combinações de consórcio, sendo o consórcio 60% crotalária + 40% milho que obteve maior índice (1,41). Já para a crotalária, somente os consórcios 20% crotalária + 80% milho e 80% crotalária + 20% milho, obtiveram índices maiores que 1, evidenciando quando cada cultura deixa de ser a principal para ser a secundária. Portanto, isso evidencia que a produtividade agrônômica da crotalária com ganhos de 33% seria no consórcio 20% crotalária + 80% milho, e para o milho, com ganhos de 41% seria no consórcio 60% crotalária + 40% milho. Contudo, de acordo com Souza e Macedo et al. (2006), em alguns tratamentos observa-se ótimos parciais, esses resultados não são ótimos totais, os quais são alcançados nos maiores valores de IEA.

De acordo com os IEAs obtidos a partir do presente estudo, observa-se que o consórcio é de maneira geral vantajoso em relação ao cultivo solteiro variando de 3 a 13%. Contudo as melhores escolhas seriam para o consórcio que obteve maior IEA ou seja 20% crotalária + 80% milho.

4 CONCLUSÃO

O manejo realizado aos 118 dias proporciona maior quantidade de massa seca.

Todos os consórcios utilizados promovem ganhos em relação ao cultivo solteiro, contudo, o maior IEA é evidenciado no consórcio constituído por 20% crotalária + 80% milheto.

REFERÊNCIAS

- ALGERI, A. et al. Produção de Biomassa e cobertura do solo por milheto, braquiária e crotalária cultivados em cultura pura e consorciada. **Revista Global Science and Technology**, Rio Verde, v.11, n.2, p.112-125, maio/ago. 2018.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura do solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p. 25-36, jan./fev. 2001.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. **Circular Técnica 19**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 2001.
- BEZERRA, C. A. et al. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-porco e sorgo x milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p. 104-108, 2007.
- BOER, C. A. et al. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.843-851, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normas climatológicas 1961-1990**. Brasília, DF, 1992.
- CALVO, L. C.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALHÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandú-anão, milheto e sorgo em diferentes épocas de corte. **Revista Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p. 77-86, 2010.
- CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agrônomo de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.2, p. 157-166, fev. 2013.
- CARVALHO, A. M. et al. Manejo de adubos verdes no cerrado. **Circular técnica**, Embrapa Cerrados, Planaltina, n.4, p.1-28, dez. 1999.
- CARVALHO, A. M. et al. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p. 551-561, jul. 2015.
- CAVALCANTE, V. S. et al. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.521-528, 2012.
- CAVALCANTE, V. S. et al. Produção de adubos verdes e a utilização dos resíduos no cultivo da cebolinha. **Revista Brasileira e Agroecologia**, v.10, n.1, p.24-31, 2015.
- CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J.M.S.; MCSORLEY, R. Green manure approaches to crop production: a synthesis. **Agronomy Journal**, v.98, n. 2, p.302-319, 2006.

COSTA, A. C. T. et al. Fenologia de massa seca na floração, em cultivares de milho pérola, no plantio das águas. In: XI JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 11^o Seropédica, 2001. **Trabalhos completos...** Seropédica, Imprensa Universitária, v.11, n.2, p.47-50, 2001.

COSTA, A. C. T. et al. Desempenho de milho pérola na safrinha em espaçamentos e densidades de semeadura. **Revista Agrarian**, v.8, n.27, p. 47-56, Dourados, 2015.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov/dez. 2007.

DEBIASI, H. et al. Inserção das crotalárias e do milho em sistemas de produção de soja no norte do Paraná. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7; MERCOSOJA, 2015, FLORIANÓPOLIS. TECNOLOGIA E MERCADO GLOBAL: PERSPECTIVAS PARA SOJA. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2015.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999.

EMBRAPA. Sistema de produção Embrapa. **Cultivo do milho**. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoalf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018>: Acesso em 23/11/2018.

FERRARI NETO, J. et al. Plantas de cobertura, manejo da palhada e produtividade da mamoneira no sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p. 978-985, out-dez, 2011.

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

GARCIA, R. A.; STAUT, L. A. Como inserir crotalária em sistemas de produção de grãos. **Circular Técnica 44**, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, dezembro, 2018.

GERALDO, J. et al. Fenologia de produção de massa seca de grãos em cultivares de milho-pérola. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n.9, p. 1263-1268, set. 2002.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.27, n.2, p. 325-334, 2013.

GITTI, D. C. et al. Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com o milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.2, p.156-168, 2012.

GOMES, A.S.; VERNETTI JÚNIOR, F.J.; SILVEIRA, L. D. N. Rendimento de milho e soja cultivados no sistema plantio direto, sob diferentes coberturas mortas, em um solo de várzea. **Comunicado Técnico 9**, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, MS, 1998.

HEINRICH, R. et al. Cultivo consorciados de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.331-340, 2001.

LIEBMAN, M. **Sistemas de policultivos**. In: ALTIERI, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3.ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA 2012. p. 221-240.

MARCATE, N. C.; CAMACHO, M. A.; PAREDES, F. P. Teores de nutrientes no milheto como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.2, p.196-204, Mar./Apr. 2011.

MATEUS, G. P; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa e tecnologia**, v.3, n.1, p. 1-15, jan-jun, 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, J. C.; MORAIS, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p. 1079-1087, ago. 2002.

PADOVAN, M. P. et al. Estágio mais adequado de manejo do Milheto para fins de adubação verde. **Comunicado técnico 171**, Embrapa agropecuária Oeste, Dourados, MS, 2011.

PADOVAN, M. P. et al. Dinâmica de acúmulo de massa e nutrientes pelo milheto para fins de adubação verde em sistemas de produção sob bases ecológicas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n.1, p. 95-103, 2012.

PERIN, A. et al. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milheto solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p.274-281, mar/abr. 2010.

RODRIGUES, G. B. et al. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.3, p.380-385, maio/jun. 2012.

RÓS, A. B.; SÃO JOÃO, R. E. Desempenho agrônômico e uso eficiente da terra em arranjos de plantas de mandioca e batata-doce. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.4, p.517-522, jul/ago. 2016.

SILVA, A. G. et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema de plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v.40, n.10, p.2092-2098, out. 2010.

SILVA, D. P.; FRATONI, F.; SCUDELETTI, D. Análise biométrica em diferentes fontes de nitrogênio na cultura do milheto BRS1501 (*Pennisetum glaucum*). **Revista Científica eletrônica de agronomia**, n.27, p.114-130, julho 2015.

- SILVA, J. A. A. et al. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja – ‘pera’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v.24, n.1, p. 225-230, abril 2002.
- SOARES, C. M. J. et al. Produção de adubos verdes no cerrado e seus efeitos sobre as plantas daninhas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.13, n.2, p.57-64, 2015.
- SOUZA, J. O.; MACEDO, M. A. S. Análise da viabilidade econômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2006, Belo Horizonte, MG, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte, MG: 30 de outubro a 01 de novembro de 2006, p.1-16.
- TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-deporco e guandú-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.1, p. 93-99, jan/fev. 2005.
- TEIXEIRA, C. M. et al. Fitomassa, teor e acúmulo de micronutrientes do milheto, feijão-deporco e guandú-anão, em cultivo solteiro e consorciado. **Revista Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.30, n.4, p.553-538, 2008.
- TEODORO, R. B. et al. Aspectos agronômicos de leguminosa para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.35, n.2, p.635-643, 2011.
- TEODORO, P. E. Preparação do solo e da adubação azota nos componentes produtivos do milheto. **Revista Ciências Agrárias**, v.38, n.3, p.305-309, 2015.
- VAZQUEZ, G. H.; LEMA, A. C. F.; GRANZOTTO, R. Produção de fitomassa seca de oito espécies vegetais em duas épocas de semeadura na região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Nucleus**, v.8, n.1, p. 1-16, abr. 2011.
- WILLEY, R.W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. **Field Crops Abstracts**, Hurley, v.32, n.1, p.1-10, 1979.

CAPÍTULO 3 – COBERTURA, RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E DENSIDADE DO SOLO SOB CONSÓRCIO DE CROTALÁRIA E MILHETO.

RESUMO

A redução da cobertura superficial e da matéria orgânica decorrente do cultivo intensivo causa a degradação dos solos, resultando em compactação, erosão e diminuição da capacidade produtiva. O objetivo neste trabalho foi avaliar a cobertura do solo proporcionada pela *Crotalaria spectabilis* e *Pennisetum glaucum* consorciados em diferentes proporções, bem como seus efeitos na qualidade física do solo para o sistema de plantio direto. O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos foram constituídos de crotalária e milho consorciados em diferentes proporções, totalizando 6 tratamentos (T): T1: (100% crotalária); T2: (80% crotalária + 20% milho); T3: (60% crotalária + 40% milho); T4: (40% crotalária + 60% milho); T5: (20% crotalária + 80% milho); T6: (100% milho) com 4 repetições cada. As plantas de cobertura foram semeadas manualmente utilizando-se para a crotalária 20 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, e para o milho 25 kg ha⁻¹ para a proporção de 100%. As demais proporções foram calculadas e semeadas de acordo com cada tratamento. Não foram realizadas adubações na ocasião do semeio. As avaliações da porcentagem de cobertura e umidade do solo para as camadas de 0-5 e 5-10 cm foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo das plantas de cobertura com roçadora mecanizada. A resistência a penetração foi avaliada com o auxílio de um penetrômetro de impacto até a profundidade de 40 cm. Simultaneamente a avaliação da resistência à penetração foram coletadas amostras para determinação da umidade do solo nas mesmas profundidades. Para a densidade foram coletadas amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm de profundidade. As plantas de cobertura foram eficientes para promover a cobertura do solo, entretanto, os atributos físicos do solo não foram influenciados pelas diferentes proporções das espécies de cobertura no intervalo experimental.

Palavras-chave: Física do solo. Palhada. Plantio direto.

CHAPTER 3 – COVERAGE, PENETRATION RESISTANCE AND SOIL DENSITY UNDER CONSORTIUM OF CROTALARY AND MILLET.

ABSTRACT

The reduction of soil cover and organic matter resulting from intensive cultivation, leads to soil degradation, resulting in soil compaction, erosion and reduction of productive capacity. The objective of this trial was to evaluate the soil cover provided by *Crotalaria spectabilis* and *Pennisetum glaucum* consortium in different proportions, as well as its effects on soil physical quality for no-tillage system. The experiment was installed in the experimental area of the Department of Agriculture at the Federal University of Lavras, in a randomized block design. The treatments were composed by crotalary and millet mixed in different proportions, totaling 6 treatments : T1: (100% crotalary), T2: (80% crotalary + 20% millet), T3: (60% crotalary + 40% millet); T4: (40% crotalary + 60% millet); T5: (20% crotalary + 80% millet); T6: (100% millet) with 4 repetitions each treatment. The cover plants were sown manually using 20 kg ha⁻¹ of seeds as the proportion of 100%, and 25 kg ha⁻¹ of millet as the proportion of 100%. The other proportions were calculated and seeded according to proportion of each treatment. No manure was done at the time of sowing. The evaluations of the percentage of cover and humidity of the soil for the layers of 0-5 and 5-10 cm were made after 30, 60, 90 and 120 days after cutting the cover plants using a mechanized brushcutter. The penetration resistance was evaluated with the aid of an impact penetrometer up to a depth of 40 cm. Simultaneously the evaluation of the penetration resistance samples were collected to determine the soil moisture at the same depths. For the density, undisturbed soil samples were collected in volumetric rings in the layers of 0-5 cm and 5-10 cm depth. Cover plants were efficient to promote soil cover, however, soil physical attributes were not influenced by the different proportions of cover crops species in the experimental range.

Keywords: Soil physics. Straw. No- tillage system.

1 INTRODUÇÃO

A redução da cobertura superficial e da matéria orgânica decorrente do cultivo intensivo causa a degradação dos solos, resultando em compactação, erosão e diminuição da capacidade produtiva (ARGENTON et al., 2005). A compactação causa o aumento da resistência a penetração (RP), diminuição da porosidade, afetando a disponibilidade de água e nutrientes (PRADO; ROQUE e SOUZA, 2002), além de aumentar a densidade do solo. A RP e a densidade são atributos relacionados, os quais são afetados pela textura e umidade do solo e influenciam diretamente no desenvolvimento e crescimento das raízes e parte aérea das plantas (LIMA et al., 2014). Assim, uma das maneiras de mitigar o problema de degradação dos solos seria a utilização de plantas que sejam capazes de superar as restrições dos solos, bem como recuperar sua qualidade mesmo quando submetido a distintos sistemas de preparo (ARGENTON et al., 2005).

O uso de diferentes espécies de plantas de cobertura pode ser adotado no planejamento de recuperação de áreas fisicamente degradadas, especialmente aquelas plantas com sistemas radiculares distintos. Em muitos casos a consorciação entre duas ou mais espécies são capazes de melhorar a estrutura de solos fisicamente degradados (TEIXEIRA; PAULETTO; SILVA, 2003). As plantas de cobertura produzem fitomassa e com isso protegem o solo reduzindo a evaporação da água e o impacto direto das gotas de chuva, o escoamento superficial e consequentes processos erosivos melhoram a estruturação dos atributos químicos e físicos do solo (CARDOSO et al., 2013). Outra vantagem é a criação de bioporos pela atividade radicular e da mesofauna do solo, a penetração de raízes em camadas mais compactadas e o potencial de adição de carbono ao solo, melhorando assim, a qualidade física para o crescimento de outras culturas (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2008).

O milheto é uma gramínea adaptada a condições adversas, sendo resistente ao déficit hídrico com elevada produção de biomassa seca (OLIVEIRA et al., 2016). É uma planta rústica, de crescimento rápido, possui adaptação a solos de baixa fertilidade e devido a características do seu sistema radicular, tem a capacidade de romper camadas compactadas do solo (GUIMARÃES et al., 2013) apresentando assim, crescimento uniforme e sistema radicular que pode atingir grandes profundidades (OLIVEIRA et al., 2016). Já a *Crotalaria spectabilis*, é uma leguminosa anual com desenvolvimento inicial lento, possui vantagens como redução da multiplicação de nematóides, proporciona satisfatório acúmulo de fitomassa e grande capacidade de incorporação de nitrogênio ao sistema por meio da fixação biológica (PACHECO et al., 2015). É uma planta arbustiva que

tem um sistema radicular pivotante, que assim como as raízes do milho, podem romper as camadas mais compactadas do solo (BARRETO; FERNANDES, 2001).

O consórcio entre gramíneas e leguminosas e seus efeitos na qualidade física do solo tem sido estudado de alguns autores. Para Oliveira et al. (2005) o uso de espécies de leguminosas juntamente com espécies de gramíneas pode promover ação conjunta para a melhoria nas propriedades do solo. Já para Carvalho et al. (2013), o consórcio entre gramíneas e leguminosas trazem benefícios, devido aos sistemas radiculares distintos. Devido a isso, esse consórcio favorece a estrutura física do solo e a produção de matéria seca com relação C/N intermediária, permitindo assim, menor taxa de decomposição dos resíduos culturais promovendo a cobertura do solo por maior tempo.

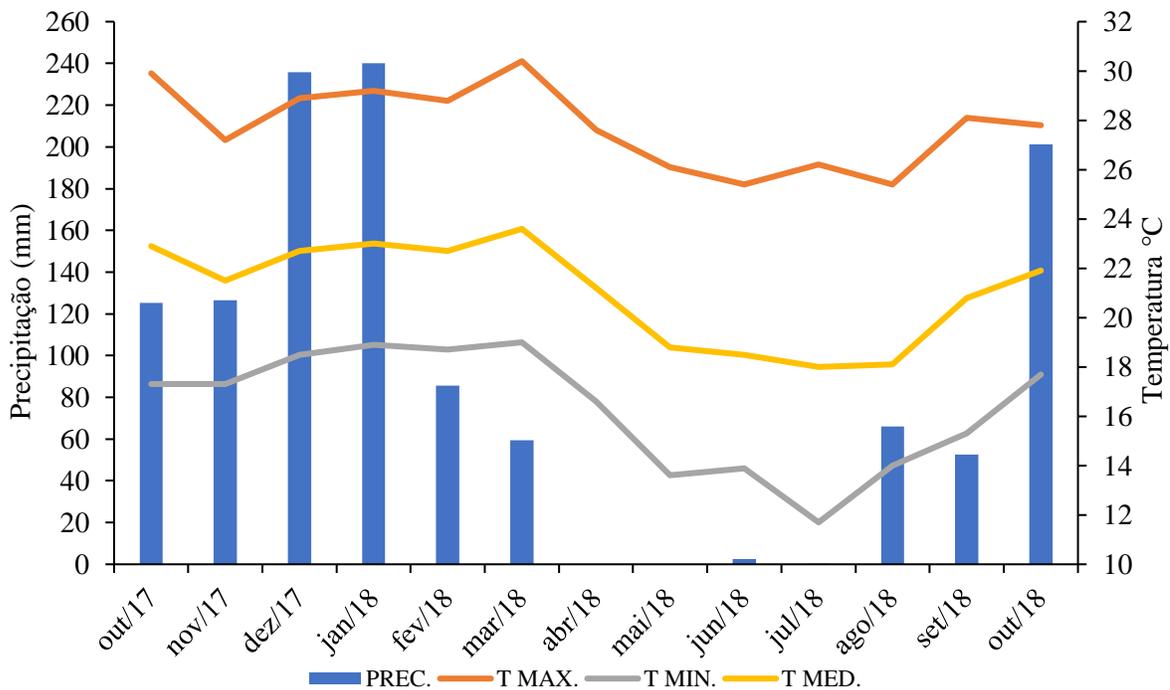
O objetivo desse ensaio foi avaliar a cobertura do solo proporcionada pela *Crotalaria spectabilis* e *Pennisetum glaucum* consorciados em diferentes proporções, bem como seu efeito na qualidade física do solo para o sistema de plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras MG, (21° 14'S e 45° 00'W) e altitude média de 920 metros. O clima da região é classificado como temperado úmido (Cwa) de acordo com Koppen, com inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,4 °C (BRASIL, 1992 e DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico – LVdt (EMBRAPA, 1999). A área utilizada se encontrava a três anos em pousio. Os dados de precipitação pluvial e temperaturas ocorridas no período de outubro de 2017 a outubro de 2018 estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Precipitação pluvial (mm) total e temperaturas (°C) mínimas, médias e máximas no período de outubro de 2017 a outubro de 2018 em Lavras, MG.



Dados obtidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras localizada no campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), constituído de seis proporções de plantas de cobertura consorciadas entre si, totalizando seis tratamentos com quatro repetições (TABELA 1).

Tabela 1 – Proporções de sementeira das plantas de cobertura, crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e milho (*Pennisetum glaucum*) em solteiro e em consórcio.

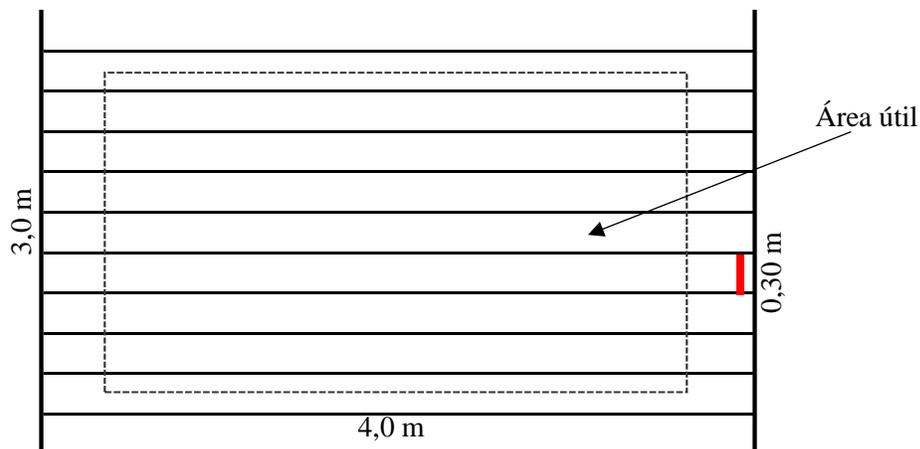
Tratamento		Crotalária	Milho
1	Solteiro	100%	0%
2	Consórcio	80%	20%
3	Consórcio	60%	40%
4	Consórcio	40%	60%
5	Consórcio	20%	80%
6	Solteiro	0%	100%

Fonte: do autor (2017).

2.3 Parcela experimental

A parcela experimental foi formada por 10 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas de 0,30 metros entre si, totalizando 12,0 m² com uma área útil de 7,2 m² (FIGURA 2). Para a determinação da área útil, eliminou-se as duas linhas laterais de 4,0 metros e 0,5 metros de cada extremidade.

Figura 2 – Detalhe da parcela experimental



Fonte: do autor (2018).

2.4 Instalação do experimento

O experimento foi instalado em campo em novembro de 2017, sendo que para o preparo do solo foi realizada uma aração e duas gradagens. Antes da última gradagem foi realizada a calagem utilizando 1,31 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, objetivando o alcance da saturação por bases (V%) de 70%, de acordo com a análise de solo (TABELA 2), sendo incorporado a uma profundidade de 20 cm. Na sequência procedeu-se a abertura dos sulcos espaçados de 30 cm de forma mecanizada para delimitação das parcelas.

Tabela 2 – Resultado da análise química e física da amostra de solo (0-20 cm de profundidade) antes da implantação do experimento, UFLA, Lavras, 2017.

Característica	unidades	valores
pH em H ₂ O		6,85
P (Fósforo Mehlich I)	mg/dm ⁻³	12,5
K ⁺	mg/dm ⁻³	110,8
Ca ²⁺	cmolc/dm ⁻³	1,1
Mg ²⁺	cmolc/dm ⁻³	0,4
Al ³⁺	cmolc/dm ⁻³	0,1
H+Al	cmolc/dm ⁻³	2,7
SB	cmolc/dm ⁻³	1,8
CTC (t)	cmolc/dm ⁻³	1,9
CTC (T)	cmolc/dm ⁻³	4,5
V%	%	39,6
MO	dag/kg	2,06
Classe Textural – Argilosa		
Argila	dag/kg	37
Silte	dag/kg	13
Areia	dag/kg	50

Análise realizada pelo laboratório de Análises Agropecuárias-Ltda., 3rlab. SB= Soma de bases, T= Capacidade de troca de cátions a pH 7, t= Capacidade efetiva de troca de cátions, m= Saturação por alumínio, V= Saturação por bases, MO= Matéria orgânica.

2.5 Condução do experimento

As plantas de cobertura foram semeadas simultaneamente e manualmente no sulco de plantio, utilizando-se para a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) cultivar “comum” a quantidade de 20 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, e para o milho (*Pennisetum glaucum*) cultivar BRS1501, 25 kg ha⁻¹ de sementes para a proporção de 100%, ambos da Piraí Sementes. Posteriormente foram calculadas e semeadas a quantidade de semente de acordo com os demais tratamentos (T) constituídos com diferentes proporções de milho e crotalária T1: (100% crotalária); T2: (80% crotalária + 20% milho); T3: (60% crotalária + 40% milho); T4: (40% crotalária + 60% milho); T5: (20% crotalária + 80% milho); T6: (100% milho). Na ocasião do semeio não foram realizadas adubações. Aos 35 dias após o semeio foi realizada a capina de forma manual para o controle de plantas daninhas.

2.6 Características avaliadas

2.6.1 Massa seca das plantas de cobertura

A determinação da massa seca das plantas de cobertura foi realizada aos 118 dias após a semeadura, ocasião em que o milho já se encontrava em senescência e a crotalária no início do florescimento. A massa seca foi obtida a partir da colheita de plantas em duas linhas centrais de três metros. As plantas foram pesadas em campo, retirou-se uma amostra de 500 gramas e o restante foi devolvido ao local. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingirem peso constante. O teor de massa seca foi determinado dividindo-se o peso seco pelo peso verde. De posse do teor de massa seca, multiplicado pela produtividade de massa verde por hectare, obteve-se a produtividade de massa seca em kg ha⁻¹.

2.6.2 Porcentagem de cobertura do solo

As plantas de cobertura foram manejadas com roçadora costal, aos 120 dias após o plantio, em abril de 2018. A porcentagem de cobertura do solo foi avaliada aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo, utilizando-se um quadro de madeira de 0,50 metros de lado, com rede de barbantes a cada 0,05 metros, em que foi observada a cobertura do solo proporcionada pelas diferentes proporções de plantas de cobertura utilizadas, de acordo com a metodologia utilizada por Sodré-Filho et al. (2004).

2.6.3 Umidade do solo

Para a obtenção da umidade do solo, foram coletadas amostras deformadas de solo nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm em três pontos aleatórios dentro da área útil de cada parcela. As coletas foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a roçagem das plantas, no momento da avaliação da taxa de cobertura do solo. As amostras foram coletadas com o auxílio de uma cavadeira. No laboratório, foram pesadas em média 30 gramas de cada uma das amostras que posteriormente foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas, e logo após a secagem, pesadas novamente. O cálculo da umidade em base gravimétrica (UGA) expressa em %, foi calculada de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (2017).

2.6.4 Resistência do solo à penetração

A análise de resistência à penetração do solo (RP), foi realizada aos 131 dias após a roçagem das plantas de cobertura, na entrelinhas das linhas de plantio em cada parcela. Utilizou-se para este procedimento um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, no qual o funcionamento consiste na penetração de uma haste com ponteira através de um êmbolo de massa conhecida e altura constante. A penetração foi medida após cada impacto e penetração da haste no solo (MOLIN et al., 2012) até a profundidade de 40 cm. Os dados obtidos foram processados em uma planilha eletrônica desenvolvida por STOLF (2011).

Simultaneamente a RP, com auxílio de um trado, foram coletadas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 cm de profundidade para a determinação da umidade do solo. No laboratório foram pesadas em média 30 gramas de cada amostra, que posteriormente foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, e logo após a secagem pesadas novamente. O cálculo da umidade em base gravimétrica (UGA) expressa em %, foi calculada de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (2017).

2.6.5 Densidade do solo

A avaliação da densidade do solo foi realizada em setembro de 2018. Foram coletadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos de aproximadamente 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 105°C durante 48 horas, e pesadas após a secagem. A densidade do solo

foi determinada dividindo-se a massa do solo seco pelo volume da amostra, de acordo com o Manual de Métodos e Análise de solo da EMPRAPA (2017).

2.7 Análises estatísticas

Os dados em porcentagem foram submetidos a transformação angular de arcoseno da raiz quadrada de $X/100$. A análise de variância (Teste F) permitiu avaliar o efeitos dos tratamentos (parcelas) e dos períodos de coleta dos dados (subparcelas), bem como a interação entre esses fatores, para a porcentagem de cobertura do solo e umidade do solo aos 0-5 e 5-10 cm, e quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% . Os dados de Resistência à penetração e densidade do solo também foram submetidas a análise de variância e se significativos aos teste de Tukey a 5% de significância utilizando o programa estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Porcentagem de cobertura do solo

Os resultados obtidos para a porcentagem de cobertura do solo aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo estão representados nas Tabelas 3 e 4. Não foi verificada interação significativa para épocas e tratamentos, o mesmo ocorreu para tratamentos quando avaliados de forma isolada, contudo, foi significativo para épocas (ANEXO A). Dentre as épocas, a maior porcentagem de cobertura foi observada aos 30 dias após o manejo, com uma média de 86,71%. As demais épocas não diferiram entre si, mostrando uma porcentagem de cobertura praticamente constante até os 120 dias após o manejo, com médias de 77,54% aos 120, 78,88% aos 90 e 80,26% aos 60 dias após o manejo. Para a massa seca total do milho, crotalária e consórcio (crotalária + milho), que são apresentados na Tabela 3, também não foram verificadas diferenças significativas. Foram encontrados valores de massa seca de 5.900 kg ha⁻¹ para o milho em monocultivo a 7.679 kg ha⁻¹ para o tratamento constituído de 80% crotalária + 20% milho.

Tabela 3 – Massa seca total (MS Total) do milho, crotalária e consórcios (milho + crotalária), e porcentagem de cobertura do solo (PCS) aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo (DAM), nos diferentes tratamentos (TRAT) constituídos de milho e crotalária. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	MS Total	DAS			
		30	60	90	120
		-----PCS(%)-----			
T1	7421	86,05	77,20	76,60	76,55
T2	7679	82,00	68,27	66,53	65,53
T3	7486	86,07	81,07	82,20	81,40
T4	6560	87,67	82,47	82,07	78,40
T5	7083	90,80	88,10	87,00	85,40
T6	5900	87,70	83,20	78,40	77,87
Médias	7021	86,71 A	80,23 B	78,8 B	77,54 B

T1=100% crotalária; T2=80% crotalária + 20% milho; T3=60% crotalária + 40% milho; T4=40% crotalária + 60% milho; T5=20% crotalária + 80% milho; T6=100% milho. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A massa seca total obtida neste estudo para os monocultivos de crotalária e milho foram inferiores e superiores (TABELA 3) aos obtidos por outros autores como Castro et al. (2017) que

evidenciaram para o milho e crotalaria em monocultivo uma massa seca de 8.000 kg ha⁻¹ e 2.300 kg ha⁻¹ respectivamente. No consórcio entre milho + crotalaria, a massa seca total foi de 5900 kg ha⁻¹, também inferior a obtida no presente trabalho. Já as porcentagens de cobertura do solo foram superiores a verificada por esses autores que relataram para o milho, crotalaria e consórcio (crotalaria + milho) valores de 50,2 %, 81,9 % e 50,2% respectivamente após o manejo. Para Alvarenga et al. (2001) para uma boa taxa de cobertura do solo no sistema de plantio direto são necessários uma quantidade de 6 t ha⁻¹ de massa seca, assim, embora não tenha verificado diferença significativa para massa seca total entre os tratamentos avaliados, apenas o tratamento T6 (5.900 kg ha⁻¹) não está acima da quantidade mínima necessária para o sistema.

Pelas médias apresentadas na Tabela 3 observou-se que, embora os tratamentos sendo constituídos de gramíneas e leguminosas e o consórcio com proporções diferentes de plantas, todos os tratamentos tiveram o mesmo comportamento em relação a cobertura do solo ao longo das épocas de avaliação. De acordo com Souza et al. (2014), o tempo de permanência da cobertura do solo e sua eficiência na conservação do mesmo, é determinada pela taxa de decomposição dos resíduos culturais, fator que é regulado pela relação C/N de cada espécie. No caso das leguminosas, quando utilizadas para formação de palhada, auxiliam no aumento de N nos solos, contudo a baixa relação C/N é favorável a decomposição reduzindo a durabilidade da cobertura do solo (TEIXEIRA et al., 2009). Assim, quanto mais rápida a decomposição dessa palhada, maior a velocidade de liberação de nutrientes e menor a proteção do solo (SOUZA et al., 2010).

Para Kliemann; Braz e Silveira (2006) apesar de o milho possuir uma relação C/N acima de 30, sua palhada tem apresentado alta taxa de decomposição devido as condições climáticas, quando cultivado no cerrado. Outro aspecto a se considerar é a composição do milho utilizada neste trabalho, que segundo Teixeira et al. (2011), possui maior proporção de folhas em relação ao colmo, e como a relação C/N está associada com a proporção de colmos, essa cultura apresenta decomposição mais rápida quando comparada as demais. Para Giacomini et al. (2003), o consórcio entre plantas de cobertura como gramíneas e leguminosas proporcionam ao solo uma massa seca com relação C/N intermediária quando comparada aos seus monocultivos, possibilitando uma menor taxa de decomposição dos resíduos e garantindo a cobertura do solo por mais tempo, além da sincronia da demanda e fornecimento de nitrogênio para os cultivos principais. Assim, no presente estudo observa-se que, embora exista diferença na composição química do material

vegetal utilizado, não foi possível verificar diferenças na porcentagem de cobertura do solo entre as épocas estudadas.

A porcentagem de cobertura praticamente constante após os 30 dias (TABELA 3) pode estar relacionada com o teor de água no solo, influenciando dessa maneira na decomposição dos resíduos vegetais, tendo em vista que os menores teores de umidade do solo na camada superficial (0-5) (TABELA 5) foram verificados após essa época de avaliação. Gonçalves, Saraiva e Torres (2010), estudando a influência dos fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de aveia e trigo, observaram que embora a temperatura não seja um agente limitante à decomposição de resíduos, temperaturas por volta dos 28°C, considerada amena pelos autores, proporcionam menor evaporação de água, mantendo a umidade do sistema e assim, favorecendo a maior decomposição dos resíduos. No entanto, temperaturas mais altas, por volta dos 30°C, secam o sistema ocasionando menor decomposição dos resíduos. Dessa maneira, a umidade proveniente das chuvas desempenham uma função mais importante na decomposição de resíduos, dado que quando mais alto o teor de umidade maior será a decomposição de resíduos.

O modo de manejo das plantas de cobertura é outro fator que deve ser levado em consideração quando se visa permanência da palhada e menor decomposição de seus resíduos. Segundo Bortoluzzi e Eltz (2000), em manejos em que se realizam a trituração da palha ou de certa forma submetem essa palha a maior contato com o solo, observa-se acentuada decomposição dos resíduos vegetais e redução da cobertura sobre o solo. Portanto, as temperaturas mais baixas, precipitação pluviométrica em menores volumes (FIGURA 1) durante o período de avaliação da porcentagem de cobertura do solo e o método de manejo das plantas de cobertura em que os resíduos foram submetidos nesse ensaio, podem ter contribuído para uma menor decomposição dos resíduos e conseqüentemente uma satisfatória taxa de cobertura proporcionada ao solo por maior período de tempo.

Segundo Alvarenga et al. (2001) para o sistema de plantio direto é necessário uma taxa de cobertura do solo de pelo menos 50%. Sendo assim, as taxas de cobertura do solo provenientes dos tratamentos estudados estão acima do mínimo necessário para adequado estabelecimento e condução do referido sistema de plantio.

3.2 Umidade do solo

Os resultados obtidos para umidade do solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo das plantas nos diferentes tratamentos estudados estão representados nas Tabelas 4 e 5. Para a profundidade de 0-5 cm foi verificada interação significativa para épocas e tratamentos para a umidade do solo (ANEXO B). Quando comparadas a uma mesma época de avaliação, para os 30 dias após o manejo foram verificadas diferenças significativas entre T1 (14,29 %), T3 (13,56 %) e T6 (16,23 %), sendo que o tratamento T6 (16,23 %) apresentou maior teor de umidade que os demais. Aos 60 dias após o manejo, houve diferenças significativas entre os tratamentos T2 (10,96 %), T3 (10,53 %) e T4 (10,69 %) em relação ao T6 (12,92 %) que apresentou maior teor de umidade. Aos 90 dias após o manejo, o tratamento T2 (6,19 %) se mostrou mais úmido quando comparado ao T5 (4,22 %). Já aos 120 dias após o manejo novamente o tratamento T6 (12,58 %) apresentou maior teor de umidade (ANEXO C). Na análise de épocas dentro de cada tratamento, foram observados os mesmos comportamentos, onde o maior teor de umidade foi verificado aos 30 dias após o manejo e o menor aos 90 dias após o manejo para todos os tratamentos (ANEXO D).

Tabela 4 – Umidade do solo (U%) de 0-5 cm de profundidade aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo (DAM), nos diferentes tratamentos (TRAT) constituídos de milho e crotalária, em função da interação época e tratamento. Experimento: Cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	DAM 0-5 cm							
	30 Maio		60 Junho		90 Julho		120 Agosto	
	-----U%-----							
T1	14,29	b A	11,59	ab B	6,14	ab C	10,15	b B
T2	14,55	ab A	10,96	b B	6,19	a C	10,15	b B
T3	13,56	b A	10,53	b B	5,97	ab C	10,30	b B
T4	15,08	ab A	10,69	b B	5,97	ab C	10,58	b B
T5	15,01	ab A	11,27	ab B	4,22	b C	10,54	b B
T6	16,23	a A	12,92	a B	5,62	ab C	12,58	a B

T1= 100% crotalária; T2=80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4=40% crotalária + 60% milho; T5=20% crotalária + 80% milho; T6=100% milho. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na profundidade de 5-10 cm não foi verificada interação significativa entre épocas e tratamentos. Para tratamentos quando avaliados de forma isolada não foram verificadas diferenças significativas, contudo, observou-se efeito significativo para épocas (ANEXO E). Comparando-se as épocas, foi possível observar um menor teor de umidade aos 90 DAM, sendo que as demais épocas, 30, 60, e 120 DAM não diferiram entre si (TABELA 5).

Tabela 5 – Umidade do solo (U%) de 5-10 cm de profundidade aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo (DAM), nos diferentes tratamentos (TRAT) constituídos de milho e crotalária. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	DAM 5-10 cm			
	30 Maio	60 Junho	90 Julho	120 Agosto
	-----U%-----			
T1	12,00	13,04	10,39	12,30
T2	12,56	12,63	10,75	12,50
T3	12,50	12,92	9,78	13,00
T4	12,39	12,36	9,87	12,48
T5	11,94	12,80	9,58	12,49
T6	13,46	12,67	11,11	13,36
Médias	12,47 A	12,76 A	10,24 B	12,67 A

T1= 100% crotalária; T2=80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4=40% crotalária + 60% milho; T5=20% crotalária + 80% milho; T6=100% milho. *Médias seguida pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De maneira geral observou-se na profundidade de 0-5 cm maior teor de umidade para o T6 em quase todas as épocas de avaliação (TABELA 4). O mesmo aconteceu para a profundidade de 5-10 cm embora não se tenha verificado diferenças significativas (TABELA 5). Os maiores valores de umidade observados para o tratamento T6 pode estar relacionado a sua composição, já que é constituído de 100% milho. Segundo Embrapa (2018), o milho é uma planta que possui o sistema radicular abundante e profundo e em alguns casos pode atingir mais de dois metros de profundidade. Assim essas raízes quando em decomposição, criam canalículos que aumentam a infiltração de água no solo (BRANCALIANO et al., 2014) e conseqüentemente o teor de umidade. A cobertura do solo, por sua vez, contribui para melhor aproveitamento da água da chuva

(BORGES et al., 2014), reduz a velocidade do vento sobre a superfície do solo, minimizando a perda de água por evaporação (KLEIN; KLEIN, 2014).

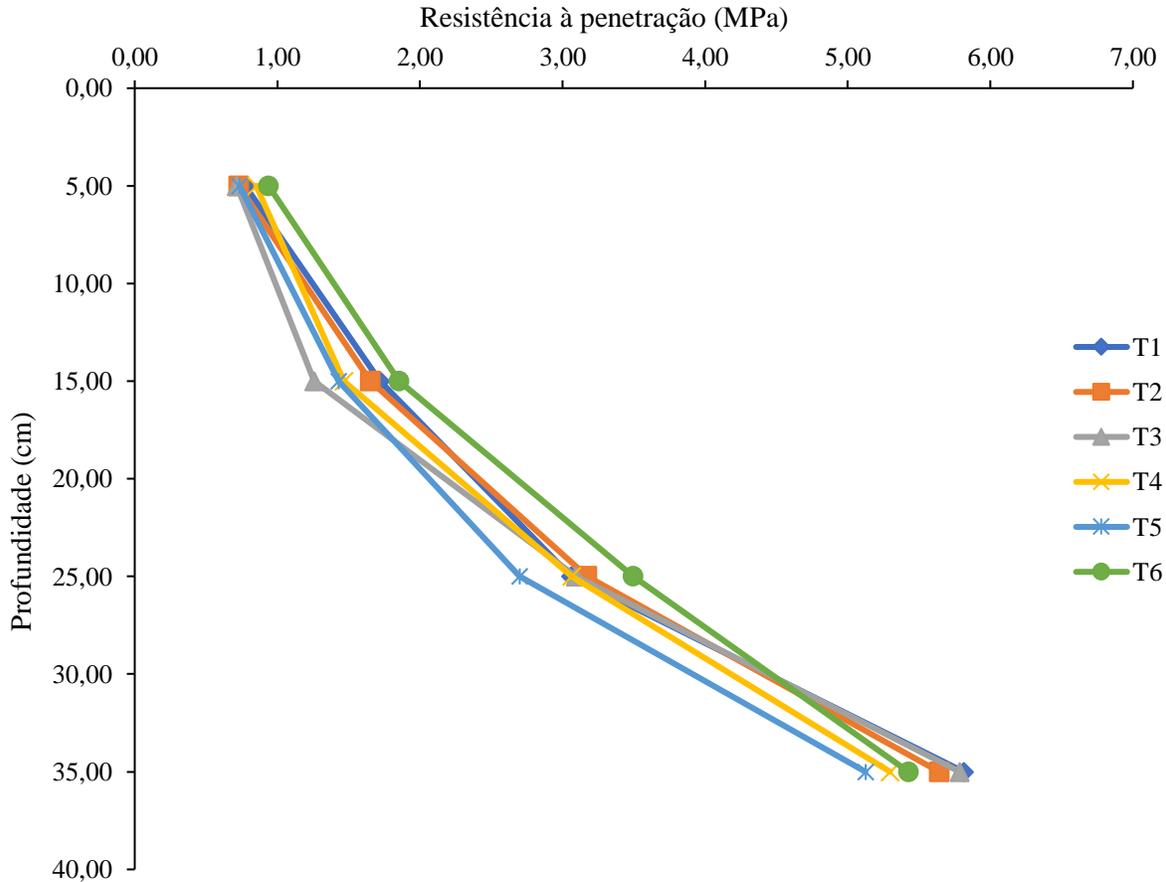
O menor teor de umidade observado aos 90 dias (10,24%) após o manejo (TABELA 5) podem estar relacionadas com os baixos índices de precipitação pluviométricas ocorridas no local. De acordo com Borges et al. (2014), a umidade do perfil do solo está diretamente relacionada a ocorrência da precipitação que ocorreu anteriormente e a sua permanência nas coberturas presentes na superfície do solo. A partir disso, pode-se observar para os valores presentes neste ensaio, principalmente na camada superficial, uma diminuição dos teores de umidade em decorrência das menores precipitações pluviométricas (FIGURA 1).

3.3 Resistência à penetração

Os resultados de resistência à penetração do solo (RP) nos diferentes tratamentos avaliados estão representados na Figura 3 e Tabela 6. Não foram verificadas diferenças significativas dentre os tratamentos avaliados quando comparados em mesma profundidade (ANEXOS F,G, H, I).

Assis et al. (2014) avaliando a RP em um Argissolo Amarelo, também não verificaram diferenças significativas entre solos cultivados com plantas de cobertura para a profundidade de 0-30 cm. O autor atribui o resultado ao pouco tempo de condução do experimento. Contudo, Andrade et al. (2016) analisando a qualidade física de um Latossolo Vermelho Amarelo sob cultivo de diferentes plantas de cobertura como girassol, nabo forrageiro, aveia, azevém e dois mix de gramíneas e leguminosas, observaram diferenças significativas, sendo que a camada superior 0-10 cm apresentou menor RP quando comparada as camadas de 10-20, 20-30 cm e 30-40 cm. Os autores observaram que houve melhora do solo após a implantação das plantas de cobertura e todas proporcionaram redução da RP.

Figura 3 – Resistência à penetração nos diferentes tratamentos estudados. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG



T1= 100% crotalária; T2=80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4=40% crotalária + 60% milho; T5=20% crotalária + 80% milho; T6=100% milho.

Na camada superficial do solo 0-10 e 10-20 cm observe-se valores de 0,72 MPa a 0,87 MPa na e 1,26 MPa a 1,86 MPa, respectivamente (TABELA 6). Os valores encontrados neste trabalho para essas camadas foram inferiores aos evidenciados por Assis et al. (2014) em um Argissolo Amarelo para as mesmas profundidades cultivado com plantas de cobertura como mucuna (1,34 e 2,86 MPa), milho (1,14 e 2,43 MPa), crotalária (1,30 e 3,54 MPa), feijão de porco (1,71 e 5,15 MPa) e uma área de pousio (1,34 e 3,08 MPa) para as camadas de 0-10 e 10-20 respectivamente, e classificaram os valores de RP desses tratamentos como altos com exceção do feijão de porco, que foi muito alto. Mazurana et al. (2011) em seu trabalho sobre sistemas de preparo do solo e alterações na sua estrutura e rendimento das culturas, observaram que os sistemas de preparo do solo interferiram em atributos como densidade, porosidade, infiltração de água e RP. Os autores

concluíram ainda que a RP aumentou com a profundidade, porém reduziu com o aumento da mobilização do solo. Assim, os resultados de RP para as camadas superficiais encontradas neste trabalho podem estar relacionadas com o preparo do solo realizado anteriormente na área, sendo eficiente para a profundidade de até 20 cm.

Tabela 6 – Valores de resistência à penetração em Megapascal (MPa) nas diferentes profundidades (cm) nos tratamentos (TRAT) estudados. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

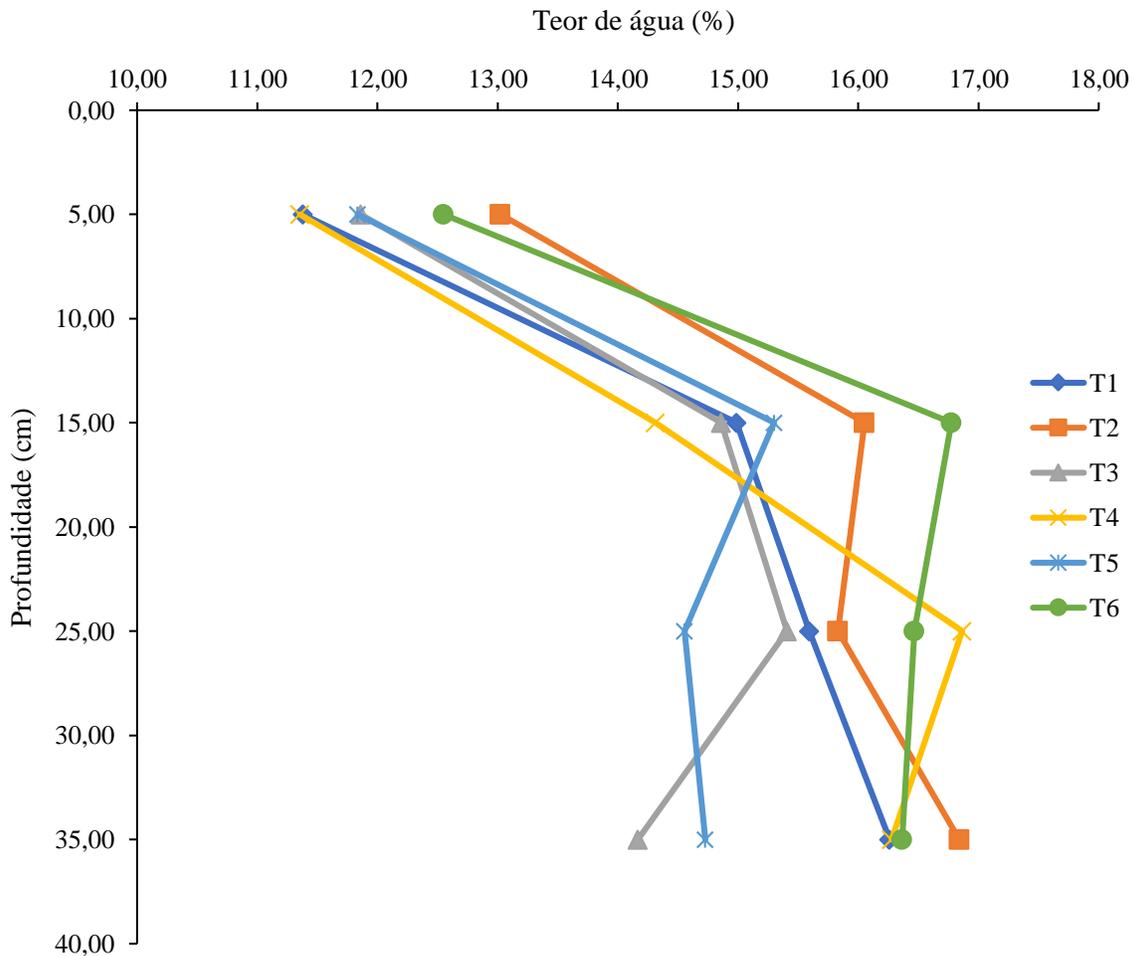
TRAT	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
	-----MPa-----			
T1	0,77	1,72	3,06	5,81
T2	0,73	1,65	3,17	5,64
T3	0,72	1,26	3,09	5,78
T4	0,85	1,47	3,06	5,30
T5	0,74	1,43	2,70	5,12
T6	0,87	1,86	3,55	5,94

T1=100% crotalária; T2=80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4=40% crotalária + 60% milho; T5=20% crotalária + 80% milho; T6=100% milho.

Nas camadas de 20-30 e 30-40 cm foi possível observar um aumento acentuado da RP para todos os tratamentos (TABELA 6). Tal comportamento pode ser explicado pelo fato do preparo de solo realizados anteriormente na área para a implantação do experimento não terem alcançado além da profundidade de 20 cm.

Para alguns autores como Assis et al. (2009) a RP está diretamente relacionada com a umidade do solo, logo, a medida que diminui o teor de água em um solo, ocorre o aumento significativo da RP. Contudo, tal relação não foi observada para este trabalho, onde se verificou maiores valores de RP, sobretudo na camada de 30-40 cm, onde foram encontrados maiores teores de umidade, conforme a Figura 4 e Tabela 7. Neste caso umidade do solo não influenciou na RP das camadas avaliadas.

Figura 4 – Umidade do solo (U%) nos diferentes tratamentos estudados. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.



T1= 100% crotalária; T2= 80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4= 40% crotalária + 60% milho; T5= 20% crotalária + 80% milho; T6= 100% milho.

A baixa umidade do solo em superfície quando comparado em subsuperfície (TABELA 7) pode estar relacionada com a época de coleta dos dados, as quais foram realizadas em agosto, época de baixa precipitação pluviométrica como observado na Figura 1. Contudo, foi observado um incremento da umidade com a profundidade da amostragem. Resultado semelhante foi observado por Oliveira et al. (2005), que atribuiu esse comportamento a cobertura vegetal do solo que o protege contra a insolação, amenizando a temperatura ambiente e do solo, além de dificultar a ação do vento reduzindo sua capacidade de renovação da massa gasosa presente na superfície, minimizando seu ressecamento. Os autores concluíram ainda que as variações na umidade do solo tendem a serem menores com o aumento da profundidade da amostragem

Tabela 7 - Valores de umidade do solo (U%) nas diferentes profundidades (cm) nos tratamentos (TRAT) estudados. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
	-----U%-----			
T1	11,37	14,99	15,93	16,26
T2	13,02	16,04	15,83	16,84
T3	11,86	14,86	15,40	14,16
T4	11,35	14,31	16,86	16,28
T5	11,83	15,29	14,55	17,73
T6	12,55	16,77	16,46	16,84

T1= 100% crotalária; T2= 80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4= 40% crotalária + 60% milho; T5= 20% crotalária + 80% milho; T6= 100% milho.

Os valores mais altos de RP encontrados em subsuperfície para este trabalho (TABELA 6) podem ser explicados pelo histórico da área, uma vez que a mesma foi cultivada em muitos anos anteriores ao pousio e antes da implantação desse experimento. Cherubin et al. (2011), verificaram resultado semelhante onde obtiveram aumento da RP em camadas mais profundas de solo (20, 30, 40 cm). Os autores relacionaram os altos valores de RP a uma camada de impedimento mecânico que pode estar relacionado ao “pé-de-arado”, efeito causado por preparo de solo do sistema convencional de cultivo. Para Alves e Suzuki (2004), que também verificaram uma maior compactação em profundidade, o pé-de-grade ou pé-de-arado é causado pelo trabalho do implemento utilizado para o preparo do solo em uma mesma profundidade e umidade inadequada. De acordo com Prado, Roque e Souza (2002), em uma área submetida a pousio por muitos anos a RP tende a aumentar independente do preparo de solo realizado anteriormente.

Canarache (1990) citado por Gomes Júnior et al. (2016) classificou os limites de RP em muito baixos quando menores ou igual a 1,0 MPa, baixos quando entre 1,1 e 2,5 MPa, de 2,6 a 5,0 MPa médios, entre 5,1 e 10,0 MPa altos, de 10,1 a 15,0 MPa muito altos, e extremamente altos quando maiores de 15 MPa. Assim, para os valores baixos e muitos baixos não existe limitação para o crescimento de raízes, para médios há algumas limitações, em altos existem limitações e para os muitos altos e extremamente altos não é possível o crescimento de raízes. Portanto, podemos inferir pelos valores obtidos neste trabalho que a RP para a profundidade 0-10 e 10-20 é considerada muito baixa e baixa e para 20-30 e 30-40 cm altos.

Segundo Tormena e Roloff (1996) valores de RP maiores de 2 MPa é restritivo ao crescimento de raízes da maioria das espécies cultivadas. Já Girardello et al. (2014) observaram que o valor crítico de RP em Latossolo Vermelho foi de 3,0 MPa reduzindo a produtividade da soja em 10%, e a partir desse valor, pequenos incrementos no valor de RP podem causar acentuado decréscimo de produtividade, chegando a 38% de perdas da oleaginosa em solos com RP de 5,0 MPa. Para Rosolen et al. (1999) uma RP de 1,3 MPa reduz o crescimento das raízes adventícias do milho. Lima et al. (2010) em seu trabalho sobre produtividade de culturas e RP de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos, concluiu que a RP crítica para a produtividade de grãos de feijão é de 1,7 MPa e que a altura de plantas da soja foi afetada à partir de 1,9 MPa.

Os valores de RP encontrados neste trabalho para a camada de 0-10 e 10-20 estão dentro dos valores críticos para a maioria das culturas, contudo as raízes dessas plantas encontrariam restrições a partir da profundidade de 20 cm. Reinet et al. (2008), em seu trabalho sobre limites de densidade de solo para crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho, constatou que o crescimento das raízes das plantas devem ocorrer em camadas de solo com menor RP, compensando em parte o volume de solo explorado pelo sistema radicular, embora exista a concentração nas camadas mais superficiais, o que causa prejuízo em épocas de déficit hídrico.

3.4 Densidade do solo

Os resultados de densidade do solo (DS) obtidos para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm nos diferentes tratamentos avaliados são apresentados na Tabela 8. Não foram verificadas diferenças significativas para os tratamentos quando comparados em uma mesma profundidade (ANEXOS N, O).

Tabela 8 - Densidade do solo (DS) nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm nos diferentes tratamentos (TRAT) estudados. Experimento: cobertura, resistência à penetração e densidade do solo sob consórcio de milho e crotalária, ano agrícola 2018, Lavras, MG.

TRAT	Profundidade	
	0-5 cm	5-10 cm
	-----g cm ⁻³ -----	
T1	1,1	1,07
T2	1,07	1,07
T3	1,13	1,06
T4	1,14	1,12
T5	1,11	1,1
T6	1,08	1,12

T1= 100% crotalária; T2= 80% crotalária + 20% milho; T3= 60% crotalária + 40% milho; T4= 40% crotalária + 60% milho; T5= 20% crotalária + 80% milho; T6= 100% milho.

Os valores de DS obtidos neste trabalho foram inferiores aos evidenciados por Alves e Suzuki (2004) para um Latossolo Vermelho distrófico típico sob rotação de culturas para a camada de 0-10 cm cultivado com guandu (1,55 g cm⁻³), crotalária (1,52 g cm⁻³), mucuna (1,51 g cm⁻³) e milho (1,51 g cm⁻³). Assis et al. (2014) também observaram valores superiores na camada de 0-10 cm para áreas cultivadas com mucuna (1,53 g cm⁻³), milho (1,56 g cm⁻³), crotalária (1,81 g cm⁻³) e feijão de porco (1,56 g cm⁻³), de Argissolo Vermelho Amarelo cultivado a dez anos sob cultivo convencional, contudo sem diferenças singnificativas entre os tratamentos. Sulzback et al. (2017) obtiveram valores inferiores quando avaliando a camada de 0-10 cm em uma área de Latossolo Vermelho distroférico na implantação do plantio direto utilizando plantas de cobertura como milho (1,04 g cm⁻³), guandú anão (0,87 g cm⁻³), crotalária juncea (1,11 g cm⁻³), crotalária spectabilis (1,08 g cm⁻³) e mucuna preta (1,01 g cm⁻³), porém os autores verificaram diferenças entre os tratamentos avaliados atribuindo ao guandú anão o potencial de diminuir os efeitos da compactação dos solos. Contudo, Cardoso et al. (2014) em uma aréa de Latossolo cultivada anteriormente com milho sob cultivo convencional obteve valores inferiores em parcelas cultivadas com tremoço, guandú, aveia branca, aveia preta e nabo forrageiro, com valores variando de 0,22 a 0,35 g cm⁻³ para a camada de 0-5 cm e 0,28 a 0,34 g cm⁻³ para a camada de 5-10 cm, sendo que o tremoço proporcionou menor DS na camada superior e a aveia branca na inferior.

Para Torres e Saraiva (1999), a variação da densidade de solos argilosos vão desde $1,00 \text{ g cm}^{-3}$ sob condições naturais e altos teores de matéria orgânica, até $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ em solos sob más condições de manejo e compactados. Já a densidade de solos arenosos varia em média de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,70 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo Arshad et al. (1996) citado por Spera et al. (2009), em solos argilosos a DS acima de $1,40 \text{ g m}^{-3}$ é restritiva ao crescimento radicular e conseqüentemente ao rendimento de grãos dos cultivos. Argenton et al. (2005) observaram para o Latossolo vermelho um limite crítico de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$. Contudo, Reinert et al. (2008) em seu trabalho sobre limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho, onde avaliaram o solo sob cultivo de crotalária juncea, guandú anão, feijão de porco e mucuna cinza, concluíram que o crescimento normal das plantas de cobertura ocorre até o limite de DS de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$. De $1,75$ a $1,85 \text{ g cm}^{-3}$, há restrição e deformações na morfologia das raízes de grau médio, e acima de $1,85 \text{ g cm}^{-3}$ as deformações são mais acentuadas, com grande engrossamento, desvios no crescimento vertical e acúmulo nas camadas mais superficiais.

Os valores de DS encontrados neste trabalho estão dentro dos limites estabelecidos por Torres e Saraiva (1999), Arshad et al. (1996), Argenton et al. (2005) e Reinert (2008). No entanto, segundo Bicalho (2011) a DS é uma propriedade variável dependente da estrutura e a compactação do solo, sendo muito influenciada pelo material constituinte, pelos sistemas de uso e tipo de cobertura vegetal. Sendo assim, os valores de DS podem ser extremamente variáveis, podendo ocorrer diferentes densidades no perfil de solos com mesma textura. Porém, para Reinert et al. (2008) devemos levar em consideração que a densidade crítica é dependente principalmente da classe textural do solo.

Por se tratar do primeiro ano de adoção do sistema em estudo, a crotalária, o milho e o consórcio constituído de milho + crotalária, não promoveram diferenças marcantes em atributos físicos do solo como resistência à penetração e densidade do solo. Entretanto, melhores resultados podem ser obtidos na mesma área com o avanço do tempo de adoção do sistema.

4 CONCLUSÃO

A crotalária e o milheto e seus consórcios foram eficientes para promover a cobertura do solo.

O milheto solteiro promoveu maior umidade do solo na profundidade de 0-5 cm aos 30,60 e 120 dias.

As espécies estudadas e seus respectivos consórcios não promoveram diferenças na resistência à penetração e densidade do solo.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura do solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte- MG, v.22, n.208, p. 25-36, jan./fev. 2001.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Revista Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.26, n.1, p.27-34, 2004.
- ANDRADE, F. H et al. Efeito de diferentes plantas de cobertura na qualidade física de um latossolo cultivado com milho. In: 8ª JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 5º SIMPÓSIO DA PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSUL DE MINAS. 2016, IF Sul de Minas, Passos, MG. **Anais...** Passos: 1 a 7 de novembro de 2016.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Cultiva de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p. 411-418, 2009.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.29, n.3, p. 425-435, 2005.
- ASSIS, E. B. et al. Resistência à penetração em argissolo vermelho-amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico conhecer – Goiânia, v.10, n.19, p. 1668-1677, 2014.
- ASSIS, R. F. et al. Avaliação da resistência à penetração em diferentes solos com variação do teor de água. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.558-568, out/dez. 2009.
- BARRETO, A, C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. **Circular Técnica 19**, Aracajú, SE, Dezembro, 2001.
- BICALHO, I. M. Um estudo da densidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.12, p.1-9, 2011.
- BORGES, T. K. S. et al. Influência de práticas conservacionista na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays L.*) em semiarido nordestino. **Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v.38, n.6, p. 1862-1873, 2014.
- BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.24, n.2, p.449-457, 2000.
- BRANCALÃO, S. R et al. Sistema Radicular Do Milheto E Ciclagem De Cálcio Em Nitossolo Vermelho Cultivado Em Sistema De Plantio Direto. **Revista Científica Eletrônica Uniseb**, Ribeirão Preto, n.3. ano 2, p. 227-237, janeiro-julho, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normas climatológicas**. 1961-1990. Brasília, DF, 1992.

CARDOSO, D, P. et al. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p. 375-382, 2013.

CARDOSO, R. A. et al. Influência da adubação verde nas propriedades físicas e biológicas do solo e na produtividade da cultura de soja. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v.35, n.2, p. 51-60, jul./dez. 2014.

CARVALHO, W. P. et al. Desempenho agrônomo de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.157-166, fev. 2013.

CASTRO, G. F. et al. Plantas de cobertura em sucessão ao milho para silagem em consórcios de cerrado. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.4, n.1, p.37-49, 2017.

CHERUBIN, M.R. et al. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.125, n.5, p.1-9, 2011.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, DF: Embrapa Solos, 573 p. 2017.

EMBRAPA. Sistema de produção Embrapa. **O cultivo do milheto**. Disponível em <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoalf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9021> acesso em: 07/12/2018.

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

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, n.4, p.1234-1244, 2014.

- GOMES JUNIOR, D. G. et al. Soil physical quality of brazilian crop management systems evaluated with aid of penetrometer. **Journal of Agricultural Science**, v.8, n.6, p. 120-128, 2016.
- GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; TORRES, E. Influência de fatores climáticos na decomposição de resíduos culturais de aveia e trigo. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Embrapa Soja, Londrina, PR, Dezembro 2010.
- GUIMARÃES, C.V. et al. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1188-1194, 2013.
- KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais -REMOA**, v.13, n.5, dez.2014, p.3915-3925, 2014.
- KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em latossolo vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.
- LIMA, C. L. R. et al. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45 n.1, p.89-98, jan. 2010.
- LIMA, R. P. et al. **Resistência a Penetração e Densidade do Solo como Indicativos de Compactação do Solo em Área de Cultivo da Cana-de-Açúcar**. Disponível: http://www.falcker.com.br/artigos/CBCS_UFP_B_RP_CompactacaoCana-de-Acucar.pdf. Acesso em: 08/12/2018, v. 10, 2014.
- MAZURANA, M. et al. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo: rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1197-1206, 2011.
- MOLIN, J. P., DIAS, C. T. D. S., CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba: v.16, n.5, p.584-590, 2012.
- OLIVEIRA, M. L. et al. Flutuações de temperatura e umidade so solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p. 535-539, 2005.
- OLIVEIRA, V. F. et al. Desempenho de híbridos de milho graníferos em camadas compactadas de solo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 2016, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN, 02 a 07 de agosto de 2016.
- PACHECO, L. P. et al. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.45, n.4, p.464-472, out./dez. 2015.

- PRADO, M. P.; ROQUE, C. R.; SOUZA, Z. S. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p. 1795-1801, dez. 2002.
- REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.
- ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.5, p.821-828, maio, 1999.
- SODRÉ-FILHO, J. et al. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n. 4, p.327-334, 2004.
- SOUZA, A. P. et al. Influência da decomposição de diferentes resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação no comportamento da vegetação espontânea. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.32, n.2, p.317-324, 2010.
- SOUZA, A. P. et al. Taxas de decomposição de resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação, **Revista Irriga**, Botucatu, v.19, n.3, p. 512-526, julho-setembro, 2014.
- SPERA, S. T. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Revista Bragatia**, Campinas, v.68, n.4, p. 1079-1093, 2009.
- STOLF, R. **Penetrômetro de Impacto Stolf – programa de manipulação de dados em Excel – VBA**. UFSCar, 2011.
- SULZBACH, L. G. et al. Implicações de espécies de cobertura em parâmetros físicos-hídricos de um Latossolo argiloso e no rendimento de grãos de soja. Edição Especial: II Seminário de Engenharia na Agricultura, **Revista Acta Iguazu**, v.6, n.5, p. 280-286, 2017.
- TEIXEIRA, C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. Resistência à penetração de um argissolo amarelo distrófico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1165-1167, nov-dez, 2003.
- TEIXEIRA, C. M. et al. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio do feijoeiro. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.4, p.647-653, 2009.
- TEIXEIRA, M. B. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de planta de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.867-876, 2011.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v.20, n.2, p.333-339,1996.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. **Circular Técnica 23**. Embrpa Soja, Londrina, PR, Outubro de 1999.

ANEXOS

CAPÍTULO 2

ANEXO A - Tabela da análise de variância para altura da crotalaria.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,29	0,10	1,63	0,23 ^{NS}
Proporções	4	0,36	0,09	1,53	0,26 ^{NS}
erro 1	12	0,72	0,06		
Época	1	1,10	1,10	87,68	0,00*
erro 2	3	0,04	0,01		
Época X Proporções	4	0,06	0,01	2,80	0,07 ^{NS}
erro 3	12	0,06	0,00		
Total corrigido	39	2,62			
CV 1 (%) = 18,98		CV 2 (%) = 8,69		CV 3 (%) = 5,42	

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO B - Tabela da análise de variância para altura do milho

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,73	0,24	1,68	0,22 ^{NS}
Proporções	4	0,27	0,07	0,47	0,76 ^{NS}
erro 1	12	1,75	0,15		
Época	1	0,28	0,28	6,95	0,08 ^{NS}
erro 2	3	0,12	0,04		
Época X Proporções	4	0,25	0,06	2,21	0,01*
erro 3	12	0,15	0,01		
Total corrigido	39	3,55			
CV 1 (%) = 20,76		CV 2 (%) = 10,98		CV 3 (%) = 6,02	

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO C - Tabela da análise de variância do desdobramento de época dentro de cada tratamento para altura do milho.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Época dentro de 20%	1	0,01	0,01	0,34	0,57 ^{NS}
Época dentro de 40%	1	0,15	0,15	3,91	0,06 ^{NS}
Época dentro de 60%	1	0,24	0,24	6,13	0,02*
Época dentro de 80%	1	0,13	0,13	3,33	0,08 ^{NS}
Época dentro de 100%	1	0,00	0,00	0,11	0,74 ^{NS}
erro	19	0,75	0,04		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO D - Tabela da análise de variância do desdobramento de tratamento dentro década época de avaliação para altura do milho.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Proporção dentro de 86 dias	4	0,14	0,04	0,45	0,77 ^{NS}
Proporção dentro de 118 dias	4	0,39	0,10	1,23	0,34 ^{NS}
erro	14	1,10	0,08		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a

ANEXO E - Tabela da análise de variância para massa verde da crotalária.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	243232246,41	81077415,47	1,32	0,31 ^{NS}
Proporção	5	5,71 ⁰⁰⁰⁹	1,14 ⁰⁰⁰⁹	18,65	0,00*
erro 1	15	922082994,08	61472199,60		
Época	1	55672284,08	55672284,08	20,65	0,02*
erro 2	3	8087382,41	2695794,13		
Época X Proporção	5	28487743,41	5697548,68	0,46	0,80 ^{NS}
erro 3	15	185783499,08	12385566,60		
Total corrigido	47	7,17 ⁰⁰⁰⁹			
CV 1 (%) = 54,87		CV 2 (%) = 11,49		CV 3 (%) = 24,63	

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO F - Tabela da análise de variância para a massa verde do milheto

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	142875645,39	47625215,13	1,10	0,38 ^{NS}
Proporção	5	2,92 ⁰⁰⁹	585353569,92	13,51	0,00*
erro 1	15	649985962,47	43332397,52		
Época	1	93088625,52	93088625,52	7,83	0,07 ^{NS}
erro 2	3	35663599,22	11887866,40		
Época X Proporção	5	117000207,60	23400041,52	2,02	0,13 ^{NS}
erro 3	15	174228056,15	11615203,74		
Total corrigido	47	4,13 ⁰⁰⁹			
CV 1 (%) = 56,61		CV 2 (%) = 59,60		CV 3 (%) = 29,26	

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO G - Tabela da análise de variância para massa verde total da crotalária, milho e consórcio (crotalária + milho).

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	191186527,58	63728842,52	0,98	0,43 ^{NS}
Proporção	5	463048216,00	92609643,20	1,43	0,27 ^{NS}
erro 1	15	972810729,66	64854048,64		
Época	1	47810729,66	4781718,75	0,08	0,80 ^{NS}
erro 2	3	189927618,25	6330206,08		
Época X Proporção	5	510968875,00	102193775,00	1,43	0,27 ^{NS}
erro 3	15	1,07 ⁰⁰⁰⁹	71382028,53		
Total corrigido	47	3,40 ⁰⁰⁰⁹			
CV 1 (%) = 31,05		CV 2 (%) = 30,68			CV 3 (%) = 32,57

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO H - Tabela da análise de variância para a massa seca da crotalária

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	8844641,58	2948213,86	1,66	0,22 ^{NS}
Proporção	5	171390155,16	34278031,03	19,26	0,00*
erro 1	15	2669339,16	1779755,94		
Época	1	55814533,33	55814533,33	51,86	0,00*
erro 2	3	3229084,00	1076361,33		
Época X Proporção	5	34309473,91	6861894,78	10,93	0,00*
erro 3	15	9420098,75	628006,58		
Total corrigido	47	309704325,91			
CV 1 (%) = 52,94		CV 2 (%) = 41,17			CV 3 (%) = 31,45

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO I - Tabela da análise de variância do desdobramento de época dentro de cada tratamento para massa seca da crotalária.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	F _{calc.}	Pr>F _c
Época dentro de 0%	1	0,00	0,00	0,00	1,00 ^{NS}
Época dentro de 20%	1	839808,00	839808,00	1,02	0,32 ^{NS}
Época dentro de 40%	1	4505000,00	4205000,00	5,13	0,03*
Época dentro de 60%	1	9706418,00	9706418,00	11,84	0,00*
Época dentro de 80%	1	45120250,00	45120250,12	55,03	0,00*
Época dentro de 100%	1	30252531,12	30252531,12	36,90	0,00*
erro	28	22959014,68	819964,81		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%

ANEXO J - Tabela da análise de variância do desdobramento de tratamento dentro de cada época de avaliação para massa seca da crotalária.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	F _{calc.}	Pr>F _c
Tratamento dentro de 86 dias	5	316105083,75	6322101,68	5,25	0,00*
Tratamento dentro de 118 dias	5	174089120,71	34817824,14	28,92	0,00*
erro	24	28893150,33	1203881,26		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO K- Tabela da análise de variância para a massa seca do milho

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	5589917,83	1863305,94	0,89	0,47 ^{NS}
Proporção	5	174006458,16	34801291,63	16,70	0,00*
erro 1	15	31252046,66	2083469,77		
Época	1	10697408,33	10697408,33	16,17	0,03*
erro 2	3	1984304,16	661434,72		
Época X Proporção	5	13233683,66	2646736,73	2,54	0,07 ^{NS}
erro 3	15	15652970,83	1043531,38		
Total corrigido	47	252416789,66			
CV 1 (%) = 49,22		CV 2 (%) = 27,73			CV 3 (%) = 34,84

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO L - Tabela da análise de variância para massa seca total da crotalária, milho e consórcio (crotalária + milho).

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	16914454,41	5638151,47	1,37	0,29 ^{NS}
Proporção	5	7685573,75	1537114,75	0,37	0,86 ^{NS}
erro 1	15	61798514,08	4119900,93		
Época	1	100213640,33	100213640,33	26,79	0,01*
erro 2	3	11223425,83	3741141,94		
Época X Proporção	5	19101332,16	3820266,43	2,19	0,11 ^{NS}
erro 3	15	26146198,66	1743079,91		
Total corrigido	47	243083139,25			
CV 1 (%) = 37,29		CV 2 (%) = 35,53			CV 3 (%) = 24,25

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

CAPÍTULO 3

ANEXO A - Tabela de análise de variância para porcentagem de cobertura do solo

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,17	0,06	0,92	0,46 ^{NS}
Tratamento	5	0,34	0,07	1,10	0,40 ^{NS}
erro 1	15	0,94	0,06		
Época	3	0,21	0,07	14,49	0,00*
erro 2	9	0,04	0,00		
Época X Tratamento	15	0,04	0,00	1,00	0,48 ^{NS}
erro 3	45	0,12	0,00		
Total corrigido	95	1,86			
CV 1 (%) = 22,17		CV 2 (%) = 6,16			CV 3 (%) = 4,51

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO B - Tabela de análise de variância para umidade do solo de 0-5 cm

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	4,71	1,57	2,06	0,15 ^{NS}
Tratamento	5	30,74	6,14	8,05	0,00*
erro 1	15	11,46	0,76		
Época	3	1013,58	337,86	490,77	0,00*
erro 2	9	6,19	0,68		
Época X Tratamento	15	28,90	1,92	2,16	0,02*
erro 3	45	40,18	0,89		
Total corrigido	95	1135,80			
CV 1 (%) = 8,22		CV 2 (%) = 7,80			CV 3 (%) = 8,89

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO C - Tabela da análise de variância do desdobramento de época dentro de cada tratamento para umidade do solo a 0-5 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Época dentro de T1	3	138,82	46,27	53,09	0,00*
Época dentro de T2	3	141,47	47,15	54,11	0,00*
Época dentro de T3	3	116,79	38,93	44,67	0,00*
Época dentro de T4	3	166,05	55,35	63,51	0,00*
Época dentro de T5	3	240,52	80,17	91,99	0,00*
Época dentro de T6	3	238,81	79,60	91,33	0,00*
erro	57	19,68	0,87		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO D - Tabela da análise de variância do desdobramento de tratamento dentro de cada época de avaliação para umidade do solo a 0-5 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Tratamento dentro de 30 dias	5	16,10	3,21	3,74	0,01*
Tratamento dentro de 60 dias	5	15,07	3,01	3,50	0,01*
Tratamento dentro de 90 dias	5	11,12	2,22	2,58	0,03*
Tratamento dentro de 120 dias	5	17,38	3,47	4,04	0,00*
erro	60	51,65	0,86		

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO E – Tabela da análise de variância para a umidade do solo 5-10 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	3,26	1,08	0,70	0,56 ^{NS}
Tratamento	5	16,51	3,30	2,14	0,12 ^{NS}
erro 1	15	23,19	1,54		
Época	3	103,74	34,58	92,29	0,00*
erro 2	9	3,37	0,37		
Época X Tratamento	15	7,97	0,53	1,86	0,06 ^{NS}
erro 3	45	12,89	0,29		
Total corrigido	95	170,94			
CV 1 (%) = 10,33		CV 2 (%) = 5,08			CV 3 (%) = 4,45

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO F - Tabela da análise de variância para resistência à penetração para a camada de 0-10 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,25	0,08	2,98	0,07 ^{NS}
Tratamento	5	0,09	0,02	0,62	0,07 ^{NS}
erro	15	0,42	0,03		
Total corrigido	23	0,76			
CV (%) = 21,58					

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO G – Tabela da análise de variância para resistência à penetração para a camada de 10-20 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,42	0,14	1,47	0,26 ^{NS}
Tratamento	5	0,98	0,20	2,07	0,13 ^{NS}
erro	15	1,42	0,09		
Total corrigido	23	2,82			

CV (%) = 19,66

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO H - Tabela da análise de variância para resistência a penetração para a camada de 20-30 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	2,38	0,79	1,41	0,28 ^{NS}
Tratamento	5	1,49	0,20	0,53	0,75 ^{NS}
erro	15	8,45	0,56		
Total corrigido	23	12,31			

CV (%) = 24,15

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO I - Tabela da análise de variância para resistência à penetração para a camada de 30-40 cm

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	3,01	1,00	1,01	0,42 ^{NS}
Tratamento	5	2,07	0,41	0,42	0,83 ^{NS}
erro	15	14,91	0,99		
Total corrigido	23	19,99			

CV (%) = 17,18

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO J - Tabela da análise de variância para umidade da resistência à penetração para a camada de 0-10 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	F _{calc.}	Pr>F _c
Bloco	3	14,19	4,73	1,59	0,23
Tratamento	5	8,80	1,76	0,59	0,71
erro	15	44,66	2,98		
Total corrigido	23	67,66			

CV (%) = 14,38

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO K - Tabela da análise de variância para umidade da resistência à penetração para a camada de 10-20 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	F _{calc.}	Pr>F _c
Bloco	3	4,26	1,42	0,67	0,58 ^{NS}
Tratamento	5	15,85	3,17	1,50	0,25 ^{SN}
erro	15	31,80	2,12		
Total corrigido	23	51,91			

CV (%) = 9,47

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO L - Tabela da análise de variância para umidade da resistência à penetração para a camada de 20-30 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	F _{calc.}	Pr>F _c
Bloco	3	4,95	1,65	1,13	0,37 ^{NS}
Tratamento	5	13,29	2,66	1,81	0,17 ^{NS}
erro	15	21,98	1,47		
Total corrigido	23	40,22			

CV (%) = 7,67

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5% .

ANEXO M - Tabela da análise de variância para umidade da resistência à penetração para a camada de 30-40 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	1,65	0,55	0,19	0,90 ^{NS}
Tratamento	5	22,59	4,52	1,58	0,23 ^{NS}
erro	15	42,87	2,86		
Total corrigido	23	67,10			
CV (%) = 10,72					

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO N - Tabela da análise de variância para densidade do solo para a camada de 0-5 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,01	0,00	1,85	0,18 ^{NS}
Tratamento	5	0,02	0,00	1,13	0,32 ^{NS}
erro	15	0,04	0,00		
Total corrigido	23	0,06			
CV (%) = 4,41					

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.

ANEXO O - Tabela da análise de variância para densidade do solo para a camada de 5-10 cm.

FATORES DE VARIAÇÃO	G.L.	S.Q	Q.M.	Fcalc.	Pr>Fc
Bloco	3	0,00	0,00	0,88	0,47 ^{NS}
Tratamento	5	0,02	0,00	1,89	0,16 ^{NS}
erro	15	0,02	0,00		
Total corrigido	23	0,04			
CV (%) = 3,71					

G.L= Grau de Liberdade; S.Q= Soma de quadrados; Q.M= Quadrado Médio; ^{NS}= Não significativo, *Significativo a 5%.