

FABÍOLA TOMASSONI

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO CRAMBE CULTIVADO APÓS
CULTURAS DE COBERTURA**

**CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2015**

FABÍOLA TOMASSONI

**APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO CRAMBE CULTIVADO APÓS
CULTURAS DE COBERTURA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura para obtenção do título de Mestre.

Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Professor Coorientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Junior

**CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9ª/965

T614a Tomassoni, Fabíola
Aplicação de nitrogênio no crambe cultivado após culturas de
cobertura./Fabíola Tomassoni. Cascavel, 2015.

56 p.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Junior
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na
Agricultura,

1. *Crambe abssynica* Hoehst. 2. Clorofila. 3. Nutrição mineral. I.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 631.452

FABÍOLA TOMASSONI

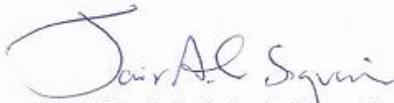
“Aplicação de nitrogênio no “crambe” cultivado após culturas de cobertura”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Elir de Oliveira
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR/Santa Tereza do Oeste

Cascavel, 02 de fevereiro de 2015.

“Os que não acreditam na magia jamais irão encontrá-la.”

Roald Dahl

AGRADECIMENTOS

Inicio os meus agradecimentos a **DEUS**.

Aos meus pais, **Basdrube** e **Lorena**, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos**, por acreditar em mim e me mostrar o caminho da ciência, sempre disponível e disposto a ajudar, fazendo parte da minha vida nos momentos bons e ruins.

Aos **Prof. Dr. Deonir Secco** e **Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira**, junto com o meu coorientador **Prof. Dr. Luiz Antonio Zanão Junior**, por serem exemplos de profissionais, pelos ensinamentos, amizade e orientação.

A **Msc. Douglas Bassegio**, por sua ajuda nos momentos mais críticos, por acreditar em mim e contribuir para o meu crescimento profissional e por ser também um exemplo a ser seguido. Sua participação foi fundamental para a realização deste projeto.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – **UNIOESTE** e ao coordenador **Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Sousa**, por abrirem as portas para que eu pudesse realizar o mestrado.

À assistente da coordenação **Vanderléia** pelo incentivo e apoio, querendo que eu aproveitasse cada segundo dentro do mestrado para absorver algum tipo de conhecimento, acreditando sempre no meu potencial.

Agradeço, também, à **CAPES** pelo apoio financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste estudo.

Muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas máximas (---) e mínimas (—), e precipitação pluvial (■) durante a condução do experimento. A semeadura das culturas de cobertura (SCC) foi iniciada em 01/02/13 e o manejo das culturas de cobertura (MCC) em 29/04/13; a semeadura do crambe (SC) foi realizada em 10/05/13, e a adubação nitrogenada (N) em 22/05/13; Florescimento do crambe (FC) em 03/06/13 e colheita do crambe (CC) em 28/08/13..21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.	22
Tabela 2. Matéria seca (MS) das culturas de cobertura.....	25
Tabela 3. Matéria seca, índice Relativo de Clorofila e N Total no florescimento do crambe cultivado após culturas de cobertura com e sem nitrogênio	28
Tabela 4. Desdobramento da interação culturas de cobertura × adubação nitrogenada para o índice relativo de clorofila e N Total (g kg^{-1}).	30
Tabela 5. População final de plantas, massa de 1000 grãos e produtividade do crambe cultivado após culturas de cobertura com e sem nitrogênio.	31

TOMASSONI, Fabíola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2015. **Aplicação de nitrogênio no crambe cultivado após culturas de cobertura.** Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Coorientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Junior.

RESUMO

O nitrogênio é um dos elementos de grande impacto na produtividade das culturas, porém pouco se sabe sobre seu efeito na nutrição do crambe em função de culturas antecessoras de cobertura do solo para o sistema de plantio direto. O trabalho teve como objetivo avaliar o acúmulo de matéria seca de culturas de cobertura e o efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura no cultivo subsequente de crambe. O experimento foi conduzido em Santa Helena, Estado do Paraná em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por *Pennisetum glaucum*, *Sorghum sudanense*, *Sorghum bicolor* e *Crotalaria juncea*, e as subparcelas, pela aplicação ou não de nitrogênio em cobertura (0 e 70 kg ha⁻¹). As culturas de cobertura apresentaram resultados semelhantes ($p \leq 0.05$) de matéria seca, cujos acúmulos foram de 11.551, 11.313, 10.692 e 10.268 kg ha⁻¹ para o sorgo, capim sudão, crotalaria e o milheto, respectivamente. O cultivo de crambe foi influenciado pela interação entre os fatores culturas de cobertura × adubação nitrogenada, cuja adubação nitrogenada não influenciou o índice relativo de clorofila e o teor de N total quando o crambe foi cultivado sobre palhada de crotalaria. As culturas de cobertura de forma isolada contribuíram para o acúmulo de matéria seca, número de plantas e produtividade de grãos de crambe, com destaque para a crotalaria. Com exceção à massa de mil grãos, os demais componentes da produção do crambe foram beneficiados pela adubação nitrogenada de cobertura. A adubação nitrogenada de cobertura proporcionou maior produtividade de crambe (1.347 kg ha⁻¹).

PALAVRAS CHAVE: *Crambe abssynica* Hoechst, clorofila, nutrição mineral

TOMASSONI, Fabíola. University of Western Paraná, February 2015. **Application nitrogen in crambe grown after cover crops.** Advisor: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-advisor: Dr. Luiz Antonio Junior Zanão.

ABSTRACT

Nitrogen is one of the great impact of elements in crop productivity, but little is known about its effect on crambe nutrition as a function of crop ground cover predecessors to the no-till system. The study aimed to evaluate the dry matter accumulation of cover crops and the effect of nitrogen application coverage in the subsequent crop crambe. The experiment was conducted in Santa Helena, State of Parana in a Rhodic Hapludox (Red Latosol in the Brazilian classification). The experimental design was a randomized block in a split plot design with four replications. The plots were *Pennisetum glaucum*, *sudanense Sorghum*, *Sorghum bicolor* and *Crotalaria juncea*, and the subplots of absence or presence of nitrogen in coverage (0 and 70 kg ha⁻¹). Cover crops showed similar results ($p \leq 0.05$), dry matter, whose accumulations were 11,551, 11,313, 10,692 and 10,268 kg ha⁻¹ for sorghum, sudan grass, sun hemp and millet, respectively. The crambe culture was influenced by the interaction between the factors cover crops \times nitrogen fertilization, the nitrogen fertilization did not influence the relative chlorophyll index and the total N content when the crambe was grown on straw of sunn hemp. The isolation of cover crops positively affected the dry matter accumulation, the number of plants and productivity of crambe grains, especially the sun hemp. Except the thousand grain weight, the other crambe yield components were positively influenced by nitrogen fertilization. The nitrogen fertilization provided higher productivity crambe (1,347 kg ha⁻¹).

KEYWORDS: *Crambe abssynica* *Hoechst*, chlorophyll, mineral nutrition

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 CULTURAS DE COBERTURA	3
2.1.1 Milheto – <i>Pennisetum glaucum</i> L.....	6
2.1.2 Capim-sudão – <i>Sorghum sudanense</i>	8
2.1.3 Sorgo forrageiro – <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench.....	9
2.1.4 Crotalária – <i>Crotalaria juncea</i> L.....	10
2.2 NITROGÊNIO	12
2.2.1 Ciclo do nitrogênio	14
2.2.2 Relação C/N.....	16
2.3 CRAMBE – <i>CRAMBE ABYSSINICA</i>	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	21
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	22
3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E MANEJO DAS CULTURAS DE COBERTURA 22	
3.4 PARÂMETROS AVALIADOS.....	23
3.4.1 Produtividade de matéria seca (MS) (kg ha ⁻¹) das culturas de cobertura.....	23
3.4.2 Índice relativo de clorofila (IRC)	23
3.4.3 Análise do teor de nitrogênio na folha	23
3.4.4 Produtividade de matéria seca (kg ha ⁻¹).....	24
3.4.5 População final de plantas	24
3.4.6 Massa de 1000 grãos (g).....	24
3.4.7 Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	24
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	24
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	25
4.1 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA (MS) DAS CULTURAS DE COBERTURA.....	25
4.2 MATÉRIA SECA, ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA E N TOTAL.....	27
4.2.1 Interação do índice relativo de clorofila e o teor de N total	29

4.3 POPULAÇÃO FINAL DE PLANTAS, MASSA DE 1000 GRÃOS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	30
5 CONCLUSÃO.....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Com a grande expansão do plantio direto nos últimos anos na Região Sul do Brasil, é cada vez mais comum o uso de plantas de cobertura de solo antecedendo o cultivo de inúmeras culturas comerciais e, conseqüentemente, quantidades e qualidades destes resíduos vegetais são adicionados continuamente ao solo. Este sistema de cultivo contribuiu para a solução, de problemas de erosão decorrentes do preparo do solo pelo sistema de cultivo convencional, além de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados.

Assim, a utilização de culturas de cobertura busca viabilizar os sistemas de produção agrícola, através do aproveitamento de restos culturais pelas espécies subsequentes. O sucesso deste sistema reside no fato de que os resíduos vegetais deixados pelas culturas de cobertura sobre a superfície do solo proporciona um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal.

Primeiramente, devem-se selecionar espécies com maior potencial para as condições locais, levando em consideração a disponibilidade de sementes, as condições do solo e sua rusticidade, especialmente quanto à tolerância ao déficit hídrico e a possibilidade de utilização comercial. Essa seleção deve ser adotada tomando-se por base a rapidez com que as espécies se estabelecem e sua produção de fitomassa, pois quanto mais rápido isso ocorrer, maiores os benefícios físicos advindos da cobertura na proteção do solo e na supressão de plantas daninhas.

Outro aspecto que deve ser avaliado é a taxa de decomposição de resíduos vegetais associada à relação C/N do tecido, fator que governa boa parte do processo de decomposição dos restos culturais e afeta a disponibilidade de nitrogênio para as culturas de sucessão. A escolha da cultura de cobertura deve levar em conta, ainda, espécies relacionadas à grande produção de biomassa, e àquelas com elevado potencial de manutenção da palha sobre o solo, com relação C/N > 30 e alta capacidade de rebrote. Assim, é possível manter o solo cultivado praticamente o ano todo, principalmente em locais com condições climáticas favoráveis.

As formações de palhada através de espécies leguminosas constituem-se como fonte de nitrogênio para suplementação das culturas em sucessão, por meio de sua rápida decomposição e conseqüentemente liberação de nutrientes. Por outro lado, as gramíneas possuem rusticidade e rápido desenvolvimento, com manutenção da palhada e persistência na superfície do solo, ideal para espécies que em sucessão não possuam alta demanda inicial de nutrientes, como é o caso do crambe, embora seja uma cultura de ciclo curto.

Recentemente, o crambe tem despertado interesse de produtores e pesquisadores devido ao seu potencial de produção de óleo industrial e características agronômicas favoráveis. Na região Sul do Brasil, esta cultura é uma alternativa eficaz para semeadura de segunda safra (safrinha), surgindo ainda como opção viável de matéria prima para a cadeia do biodiesel. Sua semente possui cerca de 38% de óleo, o qual é constituído por até 57% de ácido erúico, características peculiares por proporcionar alta estabilidade a oxidação.

Nos Estados do Mato Grosso do Sul e Goiás, a Fundação MS vem desenvolvendo variedades da semente do crambe adaptadas às questões edafoclimáticas destes locais. No entanto, pesquisas em relação ao cultivo do crambe são ainda escassas no país, principalmente por se tratar de uma espécie emergente, de tratos culturais ainda pouco conhecidos. Assim, torna-se necessário avaliar as melhores épocas de plantio, adubação, densidade e perda de rendimento na colheita, além da estruturação de uma cadeia produtiva para difundir esta cultura e torná-la mais vantajosa do ponto de vista comercial.

Outro fator que necessita grande atenção em relação a esta cultura é a adubação nitrogenada em cobertura. A mesma se faz necessária para o desenvolvimento de inúmeras espécies, sendo dependente da disponibilidade de N no solo deixado pela cultura antecessora e pela demanda nutricional da cultura subsequente. Porém, até o momento, poucas são as informações em relação à sua aplicação na cultura do crambe.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de culturas de cobertura e da adubação nitrogenada de cobertura nos componentes da produção e na produtividade de grãos do crambe em sucessão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURAS DE COBERTURA

A utilização de plantas de cobertura de solo busca selecionar plantas com maior potencial em produzir fitomassa e acumular, principalmente, carbono (C) e nitrogênio (N). É uma prática que vem ganhando cada vez mais espaço no sistema plantio direto (SPD) nas áreas agrícolas do Sul do Brasil, atendendo a uma das premissas básicas do SPD, que é a adequação de sistema de rotação e sucessão de culturas de modo a otimizar o aporte de matéria orgânica e nutrientes, além de proteger o solo dos processos erosivos (DONEDA, 2010).

Grande parte do sucesso deste sistema reside no fato de que a palha deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, somada aos resíduos das culturas comerciais, cria um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, contribuindo para a estabilização da produção e recuperação ou manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de tal modo que a sua qualidade seja melhorada (EMBRAPA, 2006).

Segundo Torres e Pereira (2008), a quantidade e a qualidade da palha sobre a superfície do solo dependem do sistema de rotação adotado e, em grande parte, do tipo de planta de cobertura e do manejo que lhe é dado, assim como, a persistência desses resíduos sobre o solo, velocidade de decomposição e liberação de nutrientes.

Primeiramente, devem-se selecionar espécies com maior potencial para as condições locais, tomando-se por base a rapidez com que se estabelecem e as suas produções de fitomassa. Quanto mais rápido o estabelecimento, maiores os benefícios físicos advindos da cobertura na proteção do solo e na supressão de plantas daninhas (EMBRAPA, 2006).

Na escolha da cultura, deve ser levada em consideração ainda, a disponibilidade de sementes, as condições do solo, a sua rusticidade, especialmente quanto à tolerância ao déficit hídrico e a possibilidade de utilização comercial. Atentando-se para regiões de baixa altitude, onde a taxa de decomposição dos resíduos vegetais é acelerada devido às condições climáticas, enquanto o inverso ocorre em climas frios (CARTER, 2001; PRIMAVESI et al., 2002; ANDREOTTI et al., 2008; TORRES et al., 2008).

Outro aspecto importante a ser observado é o potencial destas culturas a serem hospedeiras de pragas e doenças. Assim, é possível alterná-las de tal modo que a cultura subsequente não sofra prejuízos, pelo contrário, se beneficie das características favoráveis da

anterior, sendo possível melhorar as condições para o seu crescimento, produção e refúgio dessas populações (FADINI et al., 2001).

As coberturas vegetais podem exercer efeitos tanto positivos quanto negativos sobre o desenvolvimento de plantas subsequentes. Dentre os efeitos positivos podem-se citar a diminuição do impacto direto provocado por gotas de chuvas e evaporação de água, a melhoria da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica (M.O.), a redução da velocidade das enxurradas, proteção do solo da radiação solar, diminuição da variação térmica do solo e o favorecimento do desenvolvimento de microrganismos (POSSAMAI, 2001). As plantas de cobertura auxiliam ainda na reciclagem de minerais, pois se constituem em considerável reserva de nutrientes, cuja disponibilidade pode ser rápida e intensa, dependendo dentre outros fatores, do regime de chuvas, da espécie empregada e do tipo de solo (ROSOLEM et al., 2003).

Um dos pontos negativos da utilização das plantas de cobertura, dependendo da espécie empregada no sistema, devido sua elevada taxa de decomposição de resíduos, deixando o solo desprotegido rapidamente (ARGENTA et al., 2001). Neste sentido, a escolha das espécies para compor um programa de rotação e sucessão de culturas deve, dentre outros fatores, ser capaz de recobrir o solo. Lima (2004) afirma que é recomendável usar espécies fixadoras de nitrogênio com sistema radicular profundo e abundante, capaz de aproveitar fertilizantes residuais das culturas comerciais (IAPAR, 1995).

Entre outros benefícios, plantas de cobertura podem alterar e recuperar, de forma positiva, as propriedades físicas do solo ocasionadas pelo trânsito de máquinas nas operações de semeadura, tratos culturais e colheita (SECCO et al., 2005; CALONEGO; ROSOLEM, 2011). Desta forma, Calonego et al. (2011) constataram que culturas de cobertura podem ser utilizadas para reduzir a compactação do solo, aumentando sua porosidade, capacidade de infiltração e retenção de água, diminuindo assim a densidade e o escoamento superficial.

Garcia et al. (2008) corroboram os efeitos diferenciados da utilização de plantas de cobertura nas propriedades químicas do solo quando comparadas às culturas anuais, principalmente na absorção de nutrientes em camadas profundas do perfil do solo, velocidade de liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais, absorção de formas pouco disponíveis e associações com microrganismos do solo (PAUL; CLARK, 1996; ROSOLEM et al., 2005).

Outro fator importante nas culturas de cobertura se deve ao fato de que a taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação C/N do tecido, fator que governa boa parte do processo de decomposição dos restos culturais, afetando a disponibilidade de nitrogênio para as culturas de sucessão (EMBRAPA, 2006). Devido a isso, espécies não

gramíneas possuem maior taxa de decomposição quando comparadas às gramíneas (CERETTA et al., 2002). Já as espécies leguminosas, por imobilizarem em seus tecidos o nitrogênio da fixação biológica, possuem relação C/N próxima a 20 e taxa de decomposição rápida, ao passo que as gramíneas são de decomposição mais lenta, pois o conteúdo de N na fitomassa é menor, com valor de relação próximo a 25 (EMBRAPA, 2006).

Segundo Floss (2000), as palhadas de gramíneas são fornecedoras de nutrientes às culturas sucessoras, a médio e longo prazo, especialmente na camada superficial. Como exemplo, pode-se citar o significativo aumento dos teores de fósforo e potássio nas camadas superficiais do solo sob sistema plantio direto. As leguminosas desempenham um papel fundamental como fornecedoras de nutrientes quando o sistema plantio direto está estabilizado. O uso de leguminosas tem ainda a vantagem de colocar nutrientes prontamente disponíveis para as culturas sucessoras, devido à rápida decomposição dos resíduos (SILVEIRA et al., 2010).

Segundo Pacheco et al. (2011) e Carneiro et al. (2008), atualmente os produtores dispõem-se de várias espécies para uso em cobertura no solo, porém, o milho e o sorgo destacam-se como espécies de rápido recobrimento, visto que a agressividade de seu sistema radicular contribui para o rompimento das camadas compactadas, promovendo uma maior aeração do solo (ROSOLEM et al., 2010; ROSA et al., 2012).

Cazetta et al. (2005) compararam cultivos isolados e consorciados de milho e *Crotalaria juncea*, constatando que o cultivo consorciado produziu mais fitomassa e maior acúmulo de N na palhada do que o monocultivo de crotalária, e que a persistência da cobertura do solo da crotalária + milho foi equivalente à do milho isolado. Em outro experimento, Perin et al. (2004) observaram que o consórcio milho + *Crotalaria juncea* apresentaram produtividade de fitomassa equivalente à do monocultivo de milho. Além disso, na lavoura consorciada, o acúmulo de N na palhada foi de 218 kg ha⁻¹, enquanto na gramínea isolada foram obtidos somente 97 kg ha⁻¹ de N.

Assim, uma alternativa eficaz para a melhoria da qualidade do solo, principalmente em regiões de clima quente, é a utilização de espécies forrageiras perenes para produção de cobertura do solo, como as do gênero *Urochloa* e *Panicum*. A escolha destas espécies está relacionada a grande produção de biomassa e por possuírem grande potencial na manutenção da palha sobre o solo (devido a sua relação C/N > 30), além de sua elevada capacidade de rebrote (BRAZ et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2012).

As gramíneas, como braquiárias, milho, sorgo e capim pé de galinha, produzem um sistema radicular volumoso, com grande capacidade de explorar o perfil do solo. Em

contrapartida, espécies com sistema radicular pivotante, como o guandu, crotalária e o nabo forrageiro possuem maior capacidade de romper camadas compactadas (FOLONI et al., 2006).

2.1.1 Milheto – *Pennisetum glaucum* L.

Cultivado há muito tempo no continente africano, o milheto é uma gramínea anual, adaptada a climas quentes. No Brasil, pode ser usada como forrageira e vem se destacando no consórcio com leguminosas em plantio direto, na produção de grãos para fabricar ração, renovação de pastagens degradadas, produção de biomassa para biocombustível (através de bioenzimas especiais), além de servir como alternativa na alimentação humana para pequenos produtores de regiões menos favorecidas (FERNANDES, 2008).

Com crescimento ereto, altura variando entre 1,50 a 1,80 m e ciclo de 130 a 160 dias, é considerada uma espécie rústica, indiferente à textura do solo, com baixa exigência quanto à fertilidade, média tolerância ao alumínio e ao frio, resistência moderada à geada e boa tolerância à seca, com necessidade de no mínimo 600 mm anuais (EMBRAPA, 2009).

Recomenda-se a utilização do milheto para a produção de palhada e cobertura do solo, visto que a mesma apresenta elevada taxa de crescimento, com características favoráveis a reciclagem de nutrientes, devido à sua alta relação C/N, garantindo assim uma decomposição mais lenta de seus resíduos, raízes vigorosas e abundantes, permitindo ainda a recuperação de nutrientes que se encontram até uma profundidade de 2 metros (CAZETTA et al., 2005).

É uma cultura de fácil instalação e requer poucos insumos, pois a planta tem um sistema radicular profundo e vigoroso, o que a torna eficiente no uso de água e nutrientes. Quando comparado às culturas do milho e do sorgo, o milheto se destaca por suas características de alta produção e boa qualidade alcançadas nos períodos mais quentes do ano (EMBRAPA, 2009). Possui alto conteúdo de energia em relação às gramíneas perenes e apresenta potencial para elevar os níveis de produção animal (HERINGER; MOOJEN, 2002). Seu valor nutritivo chega a 24% de proteína bruta (quando em pastejo), com boa palatabilidade e digestibilidade (60% a 78%), sendo atóxica aos animais em qualquer estágio vegetativo, por não possuir fatores antinutricionais, como os cianogênicos (KICHEL; MACEDO, 1994).

Apesar da capacidade de produzir em condições extremamente adversas, como solos de baixa fertilidade, o milheto responde muito bem à adubação ou a solos mais férteis e com

boa disponibilidade hídrica. A produção de massa seca pode chegar entre 10 a 15 t ha⁻¹, dependendo da cultivar e do ambiente (BRAZ et al., 2004). No Mato Grosso do Sul, esta cultura tem se constituído em uma boa opção de planta de cobertura, assim como no restante de toda a região de cerrado, fornecendo quantidades razoáveis de massa seca.

Com o crescimento das áreas de plantio direto, o milheto tem sido a principal planta indicada para cobertura morta do solo nesse sistema conservacionista. Para essa prática, utiliza-se alta densidade de semeadura (acima de 20 kg ha⁻¹), que resulta numa rápida cobertura de alto volume de massa verde que, dessecado na prefloração, produz uma massa seca de baixa relação C/N e de rápida decomposição (EMBRAPA, 2003).

A época de semeadura está em função da finalidade do uso da cultura. Para cobertura do solo no plantio direto, pode-se realizar a semeadura, como safrinha, após a colheita do milho ou da soja, no período que compreende do final de janeiro até meados de abril (EMBRAPA, 2003). Nessa situação, plantios efetuados mais cedo produzem mais massa seca e grãos, ocorrendo o inverso em plantios tardios. Outra opção de plantio para produção de massa seca para cobertura do solo é o período que vai de agosto a setembro, antes da semeadura do milho ou da soja em novembro, época na qual se faz a dessecação do milheto (SCALÉA, 1998).

Segundo Pacheco et al. (2011), o milheto possui rápida emergência e crescimento até 60 dias após a semeadura (florescimento) na safrinha, enquanto as espécies de *Urochloa* spp. e *Panicum* spp., possuem significativo acúmulo de nutrientes em sua fitomassa mais tardiamente, principalmente, após o reinício das chuvas nos meses de setembro e outubro.

De acordo com Hanna e Wright (1995) a época de semeadura influencia o rendimento, o teor de proteína nos grãos, altura de plantas, matéria seca e aparecimento de doenças. Para evitar danos maiores, é necessário fazer uma programação da instalação da cultura, evitando perda do rendimento da cultura, principalmente quando para a produção de forragem.

Chignolli Júnior et al. (2001), em trabalho objetivando avaliar o acúmulo de macronutrientes na planta de milheto no sistema de semeadura direta, em diferentes épocas de semeadura e de manejo da fitomassa, verificaram maiores produções com manejo a cada florescimento, com cerca de 16,1 t ha⁻¹, com teores de nitrogênio, fósforo e potássio de 315, 14 e 358 kg ha⁻¹, respectivamente, contribuindo não só em termos de nutrição, mas também nas condições físicas e biológicas do solo.

2.1.2 Capim-sudão – *Sorghum sudanense*

O capim-sudão é originário do norte da África, Sul do Egito e Sudão, adaptando-se muito bem em clima tropical. Planta anual que pode alcançar cerca de 2,4 m de altura sendo tolerante a seca, mas não tolerante a acidez do solo. Indicada para pastejo e cobertura do solo, o capim-sudão apresenta alta produção de forragem e perfilhamento, manejo flexível, semeadura precoce, ciclo longo, rusticidade em relação a seca e condições nutricionais do solo (EMBRAPA, 2003).

Essa cultura tem sido utilizada no Sul do País como forragem cultivada de verão, com o objetivo de suprir as deficiências dos campos nativos da região (TOMICH et al., 2004). No Brasil Central, utilizasse em corte ou pastejo, adequados para atender à demanda por volumoso, que ocorre no final do outono, início do inverno, quando a disponibilidade de forragem no campo não é suficiente, ou para garantir o suprimento de forragem no início do verão, período em que as pastagens ainda não se apresentam com o desenvolvimento satisfatório (ZAGO, 1997; RODRIGUES, 2000).

De acordo com Tomich et al. (2006) o capim-sudão vêm-se destacando como um recurso disponível para manter a estabilidade da produção de forragem ao longo do ano, por ser uma planta adaptada à baixa disponibilidade de água, apresentando elevado rendimento forrageiro, alta capacidade de germinação, grande velocidade de crescimento e boa habilidade para perfilhamento e rebrota.

Consortia-se bem com varias leguminosas, especialmente feijão-miúdo e lab-lab, o que determina o aumento do volume de massa verde e, em especial, o valor protéico da pastagem, sendo recomendado efetuar seu corte 75-80 dias após a semeadura, a 10-15 cm do solo, cuja produção gira em torno de 100 toneladas de massa verde/ha⁻¹/ano, em quatro cortes (EMBRAPA, 2003). Durante o período vegetativo, que é de 120 a 150 dias, produz abundante quantidade de forragem de elevado valor nutritivo, podendo superar 15 t ha⁻¹ de massa seca (FONTANELI et al, 2001).

Rodrigues (2000) estudou o consorcio de sorgo com o capim-sudão e observou que as culturas têm se adaptado bem a algumas situações de cultivo, como plantio em sucessão ou após uma cultura precoce de verão. Obtendo boas produções quando comparados a milho para silagem, sendo forrageira alternativa para área de solos arenosos e com curtos períodos de estação chuvosa (BEYAERT; ROY, 2005).

Segundo Gontijo et al. (2008) o consórcio de sorgo com capim-sudão pode ser uma boa opção de forragem com alta produtividade por área e adequado valor nutricional para

alimentação de ruminantes, principalmente em sistemas de produção onde a oferta de alimentos volumosos de boa qualidade é sazonal, tornando a produção animal instável, ao longo do ano. Mulcahy et al. (1992), utilizando o consórcio de sorgo com capim-sudão para a produção de forragem, verificou elevada produção de massa seca. Tomich et al. (2006) destacaram o alto teor proteico e a alta digestibilidade dessa forrageira, sendo uma opção de volumoso de elevado valor nutritivo para o período de escassez das pastagens.

2.1.3 Sorgo forrageiro – *Sorghum bicolor* L. Moench

O sorgo é originário da África e parte da Ásia, é o quinto cereal mais importante no mundo, sendo precedido pelo trigo, arroz, milho e cevada. Principal fonte de alimento em grande parte dos países da África, Sul da Ásia e América Central e importante componente da alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul. Os grãos, também, podem ser utilizados na produção de farinha para panificação, amido industrial, álcool e sua palhada como forragem ou cobertura de solo (EMBRAPA, 2008).

À capacidade de rebrote, do sorgo é uma característica vantajosa, com um ciclo precoce a médio, a cultura pode chegar de 0,6 a 4,5 m de altura. O valor nutritivo como silagem do sorgo é de 85 a 90% em comparação com o obtido com milho (BALL et al., 2007). Sob condições favoráveis, pode ser cortado a cada 3 a 4 semanas, sendo muito produtivo com rendimento de 30 a 60 t ha⁻¹ de forragem verde, mas por curto período, cerca de 80 a 120 dias de utilização (EMBRAPA, 2008).

Constitui-se em uma cultura de grande expressão para a produção animal, devido elevado potencial produtivo, boa adequação a uma gama de ambientes, principalmente, sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria dos cereais à mecanização, reconhecida qualificação como fonte de energia para arração animal, grande versatilidade, podendo ser utilizado como silagem ou como corte e ainda como pastejo direto pelos animais (MONTAGNER et al., 2005).

Para Dias et al. (2001) o sorgo tem sido muito explorado por sua maior resistência a veranicos e menor exigência de fertilidade do solo. Além disso, destaca-se por ser um alimento de alto valor nutritivo, elevada concentração de carboidratos solúveis, essenciais para adequada fermentação láctica, pelos seus altos rendimentos de matéria seca por unidade de área, que podem superar os do milho, e pelo menor custo de produção (EVANGELISTA; LIMA, 2000; NEUMANN et al., 2002).

O potencial de rendimento de grãos de sorgo, normalmente, pode ultrapassar as 7 t/ha⁻¹ e 10 t/ha⁻¹, respectivamente, em condições favoráveis no verão e em plantios de sucessão. Alguns fatores que contribuem para a obtenção de rendimentos elevados de produção, expansão da cultura, aumento da oferta de grãos e estabilidade de produção são uso de cultivares adaptadas aos sistemas de produção, às condições de ambiente encontradas nas regiões de plantio, planejamento e manejo adequado (EMBRAPA, 2008).

Segundo Neto et al. (2002) o sorgo têm sido apresentados como a espécie mais adaptada ao processo de ensilagem pela facilidade de cultivo, pelos altos rendimentos por hectare e pela qualidade da silagem produzida, sem a necessidade de aditivos para estimular a fermentação. Uma boa confirmação desta afirmativa pode ser observada no trabalho de Corrêa et al. (1996), em um estudo comparativo entre 13 híbridos de sorgo, encontraram produção de matéria natural variando de 12,0 a 44,67 t ha⁻¹ e produção de matéria seca de 4,14 a 14,77 t ha⁻¹, sendo os maiores valores relativos aos híbridos de maior altura. Valente et al. (1992), avaliando quatro variedades de sorgo para silagem, obtiveram produção de massa seca de 12,4 a 26,2 t ha⁻¹.

2.1.4 Crotalária – *Crotalaria juncea* L.

A crotalária é uma leguminosa originária da Índia com ampla adaptação às regiões tropicais do mundo. Tem hábito de crescimento arbustivo ereto atingindo 2 a 3 metros de altura. Produtividade entre 40 a 60 toneladas de massa verde e 6 a 8 toneladas de massa seca por ciclo e fixa entre 180 e 300 kg de N por ha⁻¹. Apesar de ser uma planta melindrosa, quando nova, ela tem uma velocidade de crescimento inicial muito rápida, sendo recomendada para adubação verde, visando suprir o nitrogênio para culturas de importância econômica, pelo fato de sua associação simbiótica com bactérias do solo, conhecidas como rizóbios, e o aproveitamento do nitrogênio (N), fixado a partir do ar por esses microrganismos, proporcionando redução na necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados (SALGADO et al., 1982; SOUSA, 2011).

O gênero *Crotalaria* L. consiste de cerca de 500 espécies, localizadas em áreas tropicais ou subtropicais. Inicialmente era considerada uma planta daninha, mas hoje tem importância econômica tanto pelo seu uso no controle de nematoides, quanto pela produção de forragem, produção de fibras, adubação verde, controle de erosão do solo, cobertura morta, fixação de nitrogênio, entre outras (CAZETTA et al., 2005; SILVEIRA; RAVA, 2004). Seu

cultivo pode contribuir para o aumento de produtividade de culturas em rotação como o arroz, feijão, soja, milho, algodão, trigo, fumo e cana-de-açúcar, além do controle alelopático da tiririca (*Cyperus rotundus* L.) (SOUSA, 2011).

Cazetta et al. (2005) corroboram que a crotalária é muito utilizada na adubação verde e cobertura do solo por ser uma planta pouco exigente quanto à fertilidade do solo e com grande potencial de fixação biológica de N, apresentando crescimento relativamente rápido se comparada a outras culturas. Em estudo de sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo, Silva et al. (2008) concluíram que a *C. juncea*, milho + mucuna preta e milho + braquiária, independente do manejo do solo utilizado, constituem opções adequadas de sucessão de culturas, proporcionando satisfatória produção de massa seca e recobrimento do solo.

Por ser muito eficiente como produtora de massa vegetal e como fixadora de nitrogênio, pesquisas realizadas por Wutke (1993) consideram que a crotalária pode fixar 150 a 165 kg ha⁻¹ de nitrogênio no solo, podendo chegar a 450 kg ha⁻¹/ano em certas ocasiões, produzindo 10 a 15 t ha⁻¹ de matéria seca. Aos 130 dias, pode apresentar raízes na profundidade de até 4,5 m, ajudando na descompactação do solo (CAZETTA et al., 2005).

Bifon et al. (2001), avaliando o potencial de produção de seis adubos verdes no estado de São Paulo, observaram que a *Crotalária juncea* destacou-se em termos de produção de massa seca, chegando a 10,1 t ha⁻¹ e fixou 344 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apenas sendo superada pela mucuna preta neste último aspecto. Lima et al. (2010) em trabalho para avaliar o efeito de densidades de semeadura através de dois espaçamentos (0,5 e 0,4 metros nas entrelinhas), no acúmulo de matéria seca e nutrientes de *Crotalária juncea*, *Mucuna deeringiana* e *Cajanus cajan*, observaram que a *Crotalária juncea*, independentemente da densidade de semeadura, foi a espécie mais eficiente na acumulação de matéria seca.

O benefício da incorporação de *Crotalária juncea* L. para o fornecimento de N gradativamente ao sistema foi evidenciando por Lange et al. (2009), em trabalho com trigo, usando o adubo verde e a uréia, os quais concluíram que após dois anos de cultivo, em torno de 26% do nitrogênio da uréia e 75% do nitrogênio da crotalária aplicados no primeiro cultivo ainda se encontravam no solo. Porém os mesmos autores enfatizaram à necessidade de desenvolver novos experimentos para esclarecimento dos efeitos da adubação associada à técnica de poda sobre a produção de matéria seca incorporável ao solo e de sementes para comercialização.

2.2 NITROGÊNIO

Nitrogênio, nome dado por Jean-Antoine Claude Chaptal em 1790, quando se percebeu que o nitrogênio era um constituinte do ácido nítrico e dos nitratos. Lavoisier preferia chamá-lo de azoto, uma vez que era considerado impróprio para manter a vida. Por ser um elemento químico altamente dinâmico, está presente em todos os extratos do Planeta Terra, principalmente na litosfera, está contido nas rochas, no fundo dos oceanos e sedimentos. Na forma gasosa, a atmosfera terrestre é composta por 78% de N₂, fonte primária de N ao solo. Do total de N orgânico terrestre, 96% estão na matéria orgânica morta e apenas 4% nos organismos vivos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Em geral, é o elemento exigido em maior quantidade pelas plantas, porém somente certas bactérias, chamadas diazotróficas ou fixadora de N₂ são capazes de transformar o N₂ da atmosfera em NH₃, ou aminoácidos, no qual as plantas utilizam (DOBEREINER, 2003; LIMA et al., 2010). Para a maximização da produtividade biológica e econômica, a disponibilidade ou o fornecimento do nitrogênio para a planta é fundamental (LIMA et al., 2010).

Neste contexto, segundo Hauck (1984), a estimativa da partição de N adicionado entre planta, solo, água e atmosfera pode ser a seguinte: 50 % do N fertilizante aplicado podem ser absorvidos pelas plantas, podendo este valor ser tão baixo quanto 25 %, em solos com deficiente drenagem, ou tão alto quanto 80 %, em pastagens com gramíneas crescendo em solos com baixa disponibilidade de N. Aproximadamente 25 % podem ser perdidos do sistema solo-planta, podendo este valor normalmente variar entre <10 % a >50 % da quantidade aplicada ou podendo ser imobilizado pela biomassa microbiana, variando este valor na faixa de 15 % a 45 %.

De acordo com Ceretta (1998), as quantidades de N mineralizadas no solo dependem da natureza química da matéria orgânica, mas fundamentalmente de sua proteção física em função de sua interação com partículas minerais coloidais e da intensidade de revolvimento do solo. O aumento dos estoques totais de N no solo poderá ocorrer através da fixação biológica atmosférica, pelas chuvas ou pela adubação orgânica e mineral. Enquanto que as perdas podem ocorrer devido à exportação pelas culturas, lixiviação, erosão e volatilização (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998).

Os solos, em sua maioria, não fornecem adequadamente quantidade de N durante certas fases de desenvolvimento das plantas, em parte devido a elevada demanda e também às transformações bioquímicas que o N está sujeito no solo e que podem alterar significativamente a sua disponibilidade (WIETHÖLTER, 1993). Uma característica

importante da disponibilidade de N é a sua ampla flutuação no solo. Em um único ano agrícola, a concentração de N junto às raízes pode variar até 100 mil vezes (PURCINO et al., 2000).

Entre os nutrientes, geralmente o N é o que tem maior efeito no crescimento das plantas, sendo que sua disponibilidade estimula o desenvolvimento e a atividade radicular, incrementando a absorção, não somente de N, mas também de outros nutrientes (ACOSTA, 2009). Ele atua na planta como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de possuir importante função como integrante da molécula de clorofila (BÜLL, 1993).

Quando as plantas são deficientes nesse elemento, as folhas apresentam coloração entre verde-pálido e amarelada. O nitrogênio é necessário para síntese da clorofila e, como parte dessa molécula, está envolvido na fotossíntese (LIMA et al., 2001). Na falta do nitrogênio fornecido via solo, a planta degrada a molécula de clorofila, retranslocando o N para regiões de crescimento ativo, onde esse realiza suas funções (FURLANI JÚNIOR et al., 1996). Assim, persistindo a deficiência de N e havendo a redução no teor de clorofila, as plantas não utilizam a luz do sol como fonte de energia e suas funções essenciais, como a absorção de outros nutrientes e a produção de carboidratos, para o seu crescimento e desenvolvimento (LIMA et al., 2010).

Para Acosta (2009) a adição de resíduos de culturas de cobertura na superfície do solo provoca significativas alterações na dinâmica do N no solo, podendo alterar o desenvolvimento da planta positivamente ou não. Heinzmann (1985), em um Latossolo no Norte do Paraná com elevada capacidade de fornecimento de N, acompanhou a dinâmica deste nutriente, em nove datas, após o manejo de adubos verdes de inverno (aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca peluda, tremoço e trigo) e avaliou a influência destas sobre as culturas de verão (feijão, soja e milho). Observou que, 20 dias após o corte, os teores de NO_3^- elevou-se sensivelmente, atingindo valores de 60, 90, e 110 kg ha^{-1} de N, nas parcelas com aveia preta, tremoço e nabo forrageiro, respectivamente. Aos 54 dias foram encontrados os maiores teores de NO_3^- no nabo forrageiro. Com base nestes resultados observou-se que a liberação de N, a partir de leguminosas e do nabo forrageiro, ocorre preferencialmente nas primeiras semanas após o corte, porém a liberação de N pode sofrer picos conforme a sua decomposição.

Um dos fatores que contribui com os picos na decomposição dos resíduos culturais aportados ao solo são os microrganismos heterotróficos, que retiram elementos essenciais para a sua nutrição e carbono necessário à produção de energia e formação de tecidos microbianos (ACOSTA, 2009). Porém, fatores bióticos e abióticos determinam à velocidade

do processo de decomposição e definem a persistência desses resíduos na superfície do solo (ESPÍNOLA et al., 2006).

2.2.1 Ciclo do nitrogênio

O ciclo do nitrogênio representa um ciclo biogeoquímico complexo, pois envolve um processo dinâmico de troca de energia entre a atmosfera, a matéria orgânica e o solo (MARTINS et al., 2003). Sua principal característica, operando no agro ecossistema solo-planta-atmosfera, é a interação entre as atividades de organismos autotróficos e heterotróficos (ACOSTA, 2009). Embora estejam presentes em grande quantidade no ar na forma de N_2 , poucos seres vivos o assimilam desta forma. Apenas alguns tipos de bactérias, principalmente cianobactérias, conseguem captar o N_2 , utilizando-o na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003).

Fenômenos físicos como relâmpagos e faíscas elétricas são processos fixadores de nitrogênio ao solo, porém a produção de amônia por esses fenômenos atmosféricos é pequeníssima, sendo praticamente negligenciável em face às necessidades dos seres vivos (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003). Outra forma de fixação de nitrogênio é a fixação industrial, realizada por indústrias de fertilizantes.

Quando incorporados ao solo, os microrganismos heterotróficos utilizam como fonte de energia, ocorrendo transformação de N orgânico para formas inorgânicas que são absorvidas pelas plantas ($N^-NO_3^-$ e $N^-NO_4^+$) (ACOSTA, 2009). Qualquer processo que resulte na transformação do N_2 da atmosfera em outro composto de nitrogênio é denominado fixação de nitrogênio (CAMARGO et al., 1999). A fixação do nitrogênio é realizada pelas bactérias, principalmente pelo gênero *Rhizobium*, algas azuis, do gênero *Anabaena* e *Nostoc* e certos fungos, que vivem livres no solo ou associados às raízes de plantas, principalmente leguminosas (ACOSTA, 2009). Alguns desses microrganismos se fixam em nódulos nas raízes das plantas, estabelecendo uma relação de mutualismo, ou seja, eles recebem proteção e alimento da planta e em troca lhe fornecem um farto suprimento de nitrogênio aproveitável (NH_4^+) (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003).

Conforme os mesmos autores, quando os decompositores atuam sobre a matéria orgânica nitrogenada, começa um processo denominado amonização, no qual, é a liberação desses resíduos decomposta na forma de amônia (NH_3) para o ambiente. A amônia, apesar do

seu tempo de vida relativamente curto, de aproximadamente 10 dias, é um composto bastante abundante na atmosfera, ficando atrás apenas do N_2 e N_2O (MARTINS et al., 2003).

A oxidação dos íons amônio produz nitritos como resíduos nitrogenados, que por sua vez são liberados para o ambiente ou oxidados a nitrato. Essa conversão de íons de amônio em nitrito e nitrato é conhecida como nitrificação, que ocorre pela ação de bactérias nitrificantes (*Nitrosomas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*) (MARTINS et al., 2003). Para a sua viabilização em níveis adequados, essas transformações exigem condições ambientais bem definidas, como por exemplo, a temperatura do solo (PEIXOTO, 2008). De acordo com Loures (1988), há uma correlação estreita entre a temperatura do solo e a atividade respiratória dos microrganismos, enquanto a microfauna amonificante manifesta-se mesmo sob baixas temperaturas, a atividade dos nitrificantes é beneficiada quando a temperatura situa-se na faixa entre 25 a 30°C.

Outra condição é a relação solução-solo, os amonificadores apresentam uma reação de indiferença em relação à solução de pH do solo, entretanto, a atividade dos nitrificadores é extremamente dependente. A intensidade da nitrificação é maior quando o pH é próximo da neutralidade (PEIXOTO, 2008). Condições como umidade do solo também influenciam as atividades microbiológicas e conseqüentemente a dinâmica do nitrogênio. Bactérias nitrificantes são mais exigentes, paralisando suas atividades quando a tensão da água no solo aproxima-se do nível de 15 atm (Loures, 1988).

Por serem quimioautótrofas, as bactérias nitrificantes utilizam-se da energia liberada na nitrificação para sintetizar as suas substâncias orgânicas. Isso ocorre por meio de excreção de ácido úrico ou ureia, transformados em amônia pela ação de bactérias e fungos decompositores, ou da morte dessas bactérias, devolvendo os produtos nitrogenados dos organismos ao ambiente (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003). Outros compostos nitrogenados, quando não aproveitados pela cultura podem ser lixiviados ou se permanecerem na forma de NO_3^- serem degradados por ação de bactérias e fungos, transformando-os em amônia (PEIXOTO, 2008).

Esta amônia produzida pelos fixadores ou pela amonificação pode ser aproveitada pelas bactérias nitrificantes novamente ou serem transformada em N_2 livre, desprendendo-se para a atmosfera (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003). Essa devolução de nitrogênio para a atmosfera é conhecida por desnitrificação, à mesma ocorre em condições anaeróbicas, sendo um processo microbiológico realizado por microrganismos como *Pseudomonas* (heterotrófico), *Micrococcus denitrificans* (quimioautotrófico), *Spirillum* (heterotrófico), *Thibacillus denitrificans* (quimioautotrófico) (PEIXOTO, 2008).

Essas transformações do N_2 , para amônia (NH_3), amônio (NH_4^+) nitrito, nitrato, entre outras, pode ser feitas de várias maneiras que são denominadas mecanismos de fixação ou de disponibilização de nitrogênio. Já a transformação no sentido inverso é chamada de indisponibilização. Todo o nitrogênio disponível para a biosfera é originário da fixação de nitrogênio e são principalmente as taxas de disponibilização/indisponibilização que irão regular o fluxo desse elemento entre seus diferentes reservatórios, tornando o meio equilibrado (ADUAN; VILELA; REIS JÚNIOR, 2004).

2.2.2 Relação C/N

A relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo. Esta relação serve de parâmetro para conhecer o tempo de decomposição e a quantidade de nutrientes presentes no material orgânico (SANTOS, 2007). Desta forma a relação C/N é muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE et al., 2002).

Matéria orgânica com baixa relação C/N decompõem-se mais rápido e liberam maior quantidade de nutrientes para o solo. Plantas jovens à medida que crescem e se desenvolvem aumentam a relação C/N, ou seja, a relação C/N aumenta com a idade da planta (SANTOS, 2007). De acordo com Mello et al. (1983), em geral, relação C/N da matéria orgânica do solo pode estar entre 10:1 e 12:1, podendo ser, ainda, menor ou maior, de acordo com o estado de decomposição desses componentes. Normalmente, são mais baixos em solos de zonas áridas, com pouca chuva, que aqueles de zonas úmidas, quando as condições de temperatura são semelhantes (LUCHESE et al., 2002).

Segundo Raij (1983) a relação C/N afeta a disponibilidade de nitrogênio disponível no solo, assumindo importante papel na decomposição e na relação entre mineralização/imobilização de N. Janssen (1996), analisando vários estudos relacionados à mineralização do N, mostrou que a fração de N orgânico mineralizada está inversamente relacionada à relação C/N, de maneira idêntica à decomposição dos resíduos. Podendo variar com o tipo de planta e o estágio de maturação que estas são adicionadas ao solo (MONTEIRO et al., 2002).

Em condições de campo, resíduos com ampla relação C/N formam uma cobertura morta estável, que contribui para a estruturação do solo e fornece proteção ao impacto de gotas de chuva e a radiação solar (ACOSTA, 2009). Os manejos conservacionistas

preconizam a manutenção de resíduos protegendo a superfície do solo pelo maior período de tempo possível (MAI et al., 2003).

Para a cultura de cobertura atender a demanda em N da cultura subsequente há a necessidade de que a decomposição dos resíduos ocorra em sincronismo com a demanda da cultura em sucessão (AMADO et al., 2000). Embora as plantas de cobertura possam acumular grande quantidade de N na parte aérea, após o manejo, a real quantidade de N que poderá estar disponível à cultura subsequente dependerá do sincronismo de relação C/N entre a taxa de decomposição da fitomassa e o crescimento da cultura em sucessão (ACOSTA, 2009).

Desta forma espécies não gramíneas como ervilhaca e nabo forrageiro possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas como aveia preta (CERETTA et al., 2002). O reflexo disso é a intensidade do fenômeno de imobilização de N, que é a principal causa da menor disponibilidade de N às plantas no sistema plantio direto, em relação ao sistema com revolvimento de solo (SALET et al., 1997).

Para Silva et al. (2009) o ideal seria o consórcio de gramíneas e leguminosas, isso porque geralmente as gramíneas contribuem com quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C/N, o que pode aumentar a persistência da cobertura do solo, porém com forte decorrência da imobilização de N (CERATTA et al., 2002) Por outro lado, as leguminosas apresentam altos teores de N na matéria vegetal e produzem, em geral, palhadas de baixa relação C/N, cuja decomposição é relativamente rápida, com expressiva disponibilização de N para as lavouras subsequentes e baixa imobilização do mesmo, proporcionaria a solução-solo um equilíbrio (ALVARENGA et al., 2001).

2.3 CRAMBE – *CRAMBE ABYSSINICA*

O crambe pertence à família Brassicaceae, também conhecida como crucíferas, da qual fazem parte plantas como a mostarda (*Brassica campestris* L.), a canola (*Brassica napus* L.) e a nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.). Possui ciclo curto, cerca de 90 a 100 dias, florescendo aos 35 dias após a semeadura, com altura entre 70 a 90 cm. É uma planta de ciclo anual, com tolerância a seca e a geadas em grande parte de seu desenvolvimento, exceto na fase de plântula e florescimento. É cultivada entre a safra de verão e a de inverno, caracterizando uma terceira época de plantio (PITOL et al., 2010). Há boa produção de matéria seca, grãos, teor de óleo, baixo custo de produção, rusticidade, fácil adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e resistência a pragas. A não exigência de novas máquinas e

equipamentos para o cultivo e a facilidade para extração do óleo, através de prensas torna a cultura atrativa (MACHADO et al., 2007; NEVES et al., 2007; ROSCOE; DELMONTES, 2008).

Nativo da região mediterrânea tem sido cultivado no continente Africano, na Ásia Central e Oeste, Europa, Estados Unidos e América do Sul para produção de óleo industrial (OPLINGER et al., 1991; WEISS, 2000). O cultivo de crambe iniciou-se no Brasil apenas na segunda metade da década de 90, na Fundação MS, município de Maracaju–MS. Na época, a planta era estudada somente para fins de rotação de cultura (ECHEVENGUÁ, 2007). Atualmente possui pesquisas na região do Mato Grosso do Sul e Goiás pela Fundação MS, onde foi desenvolvida variedade adaptada às questões edafoclimáticas destes Estados, além de outros locais que realizam estudos, para produção de óleo vegetal isolante, como o estado do Paraná por meio de instituições de ensino e pesquisa (VIANA, 2013).

As folhas do crambe são ovais e assimétricas, a lâmina foliar mede aproximadamente 10 cm de comprimento e 7,6 cm de largura, com superfície lisa (OPLINGER et al., 1991). As flores são amarelas ou brancas, e localizadas em racemos que produzem numerosas e pequenas sementes (FARIA JÚNIOR, 2013). O fruto é uma síliqua, inicialmente verde, mas que se torna amarelo com a maturidade, contendo apenas uma semente arredondada, de cor verde ou marrom esverdeado, de tamanho variável em diâmetro (0,8 a 2,6 mm). O número de sementes por planta é influenciado pela fertilidade do solo e disponibilidade hídrica (DESAI, et al., 1997).

A semente possui cerca de 38 a 40% de óleo, o qual é constituído por até 57 % de ácido erúico, características peculiares para a produção de Biodiesel e óleos industriais por proporcionar alta estabilidade a oxidação, permitindo utilizar na produção de diferentes produtos industrializados (PITOL et al., 2010). Lubrificante industrial, inibidor de corrosão, filmes plásticos, náilon, adesivos, isolantes elétricos e biocombustíveis são alguns dos produtos que podem utilizar o óleo de crambe como matéria prima. Além do farelo, podendo ser utilizado como suplemento proteico na nutrição animal em porcentagem relativamente baixa (JASPER, 2009).

Tradicionalmente a colza (*Brassica napus*) era a fonte de ácido erúico para a indústria mundial, mas o crambe começou a participar deste mercado, sendo, assim, estas duas culturas, as únicas fontes comerciais deste ácido (FARIA JÚNIOR, 2013). Para Oliveira (2011) o fato do óleo de crambe não ser comestível é uma vantagem, já que a cultura fica destinada apenas a fins industriais. Nesse sentido, Carlsson et al. (2007) afirmam que oleaginosas com finalidades industriais, que possam ser produzidas com tecnologias

modernas, têm grande potencial, principalmente se esses óleos não forem destinados ao consumo humano.

Apesar de ser rústica, requer semeadura em solos férteis, profundos e corrigidos, com pH acima de 5,8 e baixa saturação por alumínio. Considerada recicladora de nutrientes do solo, aproveita adubações residuais de espécies antecessores e responde a adubações no plantio. Entretanto não há especificação da dosagem de adubo aplicado (LUNELLI, 2013).

Varias pesquisas demonstram a importância da cultura para o sistema de produção agrícola, no qual Santos et al. (2012, 2013) com doses de potássio, e Lunelli et al. (2013) com diferentes arranjos nutricionais de NPK, constataram efeito da adubação no desenvolvimento e produtividade da cultura. Rogério et al. (2012) afirma que a adubação fosfatada em quantidades adequadas estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, aumenta a resistência ao frio e também aumenta a produtividade.

Broch et al. (2010) em trabalho realizado pela Fundação–MS, em Maracaju–MS, com a cultura do crambe em sucessão ao soja e milho, verificaram que a semeadura do crambe após a cultura da soja produziu significativamente mais do que após milho, demonstrando melhor aproveitamento N no sistema. As respostas da adubação nitrogenada no crambe são ainda pouco conhecidas nos sistemas de produção, porém conforme Souza et al. (2009), a planta absorve grandes quantidades de N, o que pode ser inferido por seu elevado teor de proteínas no grão.

Uma fase crítica para o sucesso da produção do crambe é o estabelecimento do estande inicial de plântulas. A densidade de plantio recomendada é de 17,0 a 22,5 kg ha⁻¹ de sementes viáveis, resultando numa taxa de germinação de 2.500.000 plantas por hectare (JASPER, 2009). Taxas de plantio abaixo irão resultar numa baixa densidade de plantas, mas com bons rendimentos devido ao aumento da ramificação e um período de florescimento prolongado. De qualquer forma, utilizando a taxa de semeadura recomendada, o crambe será mais competitivo com as plantas invasoras e chegará ao ponto de maturação mais uniformemente (KNIGHTS, 2002).

Os principais componentes que devem ser avaliados para uma boa produtividade de crambe são: densidade de semeadura, número de sementes por planta, peso de mil sementes (FONTANA et al., 1998) e incidência de pragas principalmente quando plântula, dentre estas, pulgão das crucíferas (*Brevicoryne brassicae*), besouros e vaquinha (*Diabrotica speciosa*) (VIANA, 2013).

Glaser (1996) destaca a ocorrência de doenças quando do excesso de chuvas, tais como, manchas de alternária (*Alternaria* sp.), fusário (*Fusarium* sp.), canela preta (*Leptosphaeria maculans*) e o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*). Este último com grande importância devido a sua incidência em soja e feijão, plantas comerciais de grande valor. Já Oplinger et al. (1991) cita o vírus do mosaico do nabo (*Turnip mosaic virus*) como doença impactante no cultivo do crambe. Segundo Zambolim (2005) uma das formas mais eficientes para se minimizar o risco com o ataque de doenças fúngicas é o tratamento de sementes.

Sua colheita é realizada com umidade de sementes entre 13 a 15 % no campo, utilizando máquinas utilizadas para soja e milho, com pequenas adaptações. Devido sua desuniformidade na maturação, perdas por meio da debulha de grãos e queda de frutos secos podem ocorrer, principalmente quando incidência de ventos fortes e chuvas excessivas. Para minimizar estas perdas, recomenda-se utilizar dessecantes na área antes da colheita (PITOL et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente estudo foi conduzido a campo nos meses de fevereiro a agosto do ano agrícola de 2013. A área de estudo localiza-se no município de Santa Helena, na região Oeste do estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas S 24° 57'55'' de latitude e W 54° 18'10'' de longitude, com altitude média de 282 metros. O clima da região, conforme a classificação de Köppen (Cfa) se caracteriza como subtropical (IAPAR, 2000). A pluviosidade média anual do município é de 1.800 mm (IAPAR, 2008). As precipitações pluviiais e temperaturas máximas e mínimas registradas, durante a condução do experimento, estão apresentadas na Figura 1.

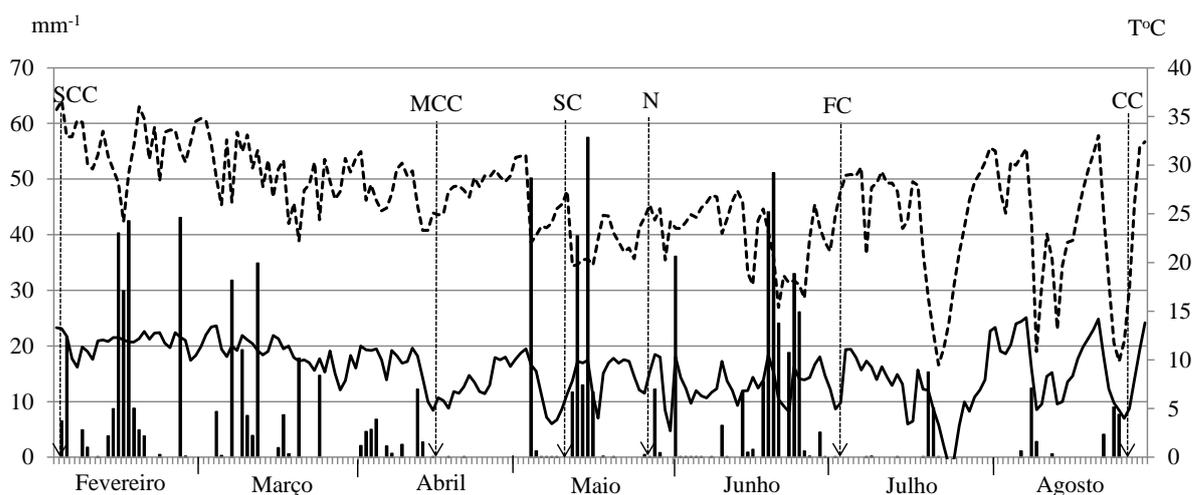


Figura 1. Temperaturas máximas (---) e mínimas (—), e precipitação pluvial (■) durante a condução do experimento. A semeadura das culturas de cobertura (SCC) foi iniciada em 01/02/13 e o manejo das culturas de cobertura (MCC) em 29/04/13; a semeadura do crambe (SC) foi realizada em 10/05/13 e a adubação nitrogenada (N) em 22/05/13; Florescimento do crambe (FC) em 03/06/13 e colheita do crambe (CC) em 28/08/13. Santa Helena-PR. Fonte: IAPAR.

A área de estudo é de propriedade familiar, sendo rotineiramente cultivada com milho para ensilagem no inverno e no verão, em plantio convencional, cujo solo é classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico típico (LVe) (EMBRAPA, 2006). Previamente à instalação do experimento, foi realizada uma amostragem de solo para a determinação das características químicas na profundidade 0–20 cm (EMBRAPA, 2009), cujos valores estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V	P ⁽¹⁾	C
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³					%	mg dm ⁻³	g dm ⁻³
5,10	0,13	6,07	2,50	4,28	12,98	67,03	21,05	14,07

⁽¹⁾Extrator Mehlich-1;

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por quatro culturas de cobertura, sendo elas: milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), capim-sudão (*Sorghum sudanense*), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.). As subparcelas, com 3,15 m de largura e 5 m de comprimento cada, foram constituídas pela ausência e presença de adubação nitrogenada de cobertura, 0 e 70 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E MANEJO DAS CULTURAS DE COBERTURA

Para o cultivo do crambe em sistema plantio direto foram implantadas as culturas de cobertura no dia 1 de fevereiro de 2013. As culturas foram instaladas a partir de uma sulcagem com espaçamento de 0,45 m entre as linhas de plantio com uma semeadora para plantio direto sem as rodas para cobertura de sementes, posteriormente semeadas e cobertas manualmente (TORRES et al., 2009). Utilizou-se 100 kg ha⁻¹ da fórmula 10-15-15 na abertura do sulco, visando ao adequado desenvolvimento das mesmas, com consumo de 20, 40, 15 e 20 kg ha⁻¹ de sememnte para as culturas milheto, sorgo, capim-sudão e crotalária, respectivamente (MURAISHI et al., 2005; SIMIDU et al., 2010; SILVA et al., 2010).

No dia 22 do mês de abril de 2013, visando a dessecação das culturas de cobertura nas parcelas, foi aplicado o herbicida glifosato na dosagem de 1.440 g ha⁻¹ de i.a.. A aplicação foi realizada utilizando um pulverizador costal com volume de calda de 200 litros ha⁻¹. Após sete dias do manejo químico (29 de abril de 2013), as culturas de cobertura foram trituradas mediante uso de triturador de palha horizontal (Triton[®]). A adubação de cobertura foi então realizada sete dias após a emergência, conforme Broch et al. (2010), utilizando-se de ureia (45% N) como fonte de nitrogênio.

A semeadura do crambe, cultivar (FMS–Brilhante) originária da Fundação–MS, foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas e profundidade de 2 a 4 cm, com auxílio de uma semeadora-adubadora de tração mecânica (PST 2) equipada com sistema de discos, na data de 10 de maio de 2013, 20 dias após o manejo químico das culturas de cobertura (CRUSCIOL et al., 2007). Utilizou-se adubação básica de 9 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 15 kg ha⁻¹ de semente, de acordo com as recomendações de Pitol (2008).

3.4 PARÂMETROS AVALIADOS

3.4.1 Produtividade de matéria seca (MS) (kg ha⁻¹) das culturas de cobertura

Determinada aos 75 dias após a emergência (DAE), no florescimento da espécie, conforme recomendam Crusciol e Soratto (2007, 2013). As plantas foram cortadas rente ao solo com duas coletas por subparcela, usando um quadro de 0,25 m² (0,50 × 0,50 m) e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante, obtendo-se assim a produção de matéria seca das plantas, com valores expressos em kg ha⁻¹.

3.4.2 Índice Relativo de Clorofila (IRC)

O índice relativo de clorofila foi determinado amostrando-se dez plantas por unidade experimental mediante uso de medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Soil-Plant Analysis Development-502) Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan (1989), aos 50 DAE no terço médio das plantas, conforme Silva et al. (2012). A precisão do aparelho é de uma unidade SPAD para valores entre 0 e 50 unidades SPAD. Tomou-se o cuidado de não amostrar plantas não sadias (com ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

3.4.3 Análise do teor de nitrogênio na folha

O teor de nitrogênio das folhas foi determinado nas mesmas folhas depois de colocadas em estufa a 65 °C, com ar forçado durante 48 h (MALAVOLTA et al., 1997).

3.4.4 Produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹)

Por ocasião do florescimento do crambe aos 50 DAE, avaliou-se a produção de matéria seca, mediante a coleta de duas amostras em cada subparcela com um quadro de 0,25 m² (0,50 × 0,50 m) e secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C, até atingirem peso constante.

3.4.5 População final de plantas

A população final de plantas foi determinada no momento da colheita, através de contagem nas duas linhas centrais, sendo o resultado expresso em unidades de plantas m⁻¹.

3.4.6 Massa de 1000 grãos (g)

Foi obtida através da contagem de quatro amostras de 1000 grãos e posterior pesagem e correção para 13% de umidade (base úmida).

3.4.7 Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)

A produtividade de grãos foi determinada após colheita manual e correção para 13% de umidade (base úmida), em uma área de 4,5 m², e aos 110 DAE em cada subparcela, constituindo-se das duas linhas centrais.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para as culturas de cobertura, durante a primeira etapa do experimento, a análise estatística dos dados seguiu o modelo de blocos ao acaso, sendo realizadas análises de variância (ANOVA) e comparação das médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Na segunda fase do experimento, foi realizada análise de variância, seguindo o modelo de blocos ao acaso em parcela subdividida, comparando as médias pelo Tukey ($p \leq 0,05$). Para as análises estatísticas, foi utilizado o software Assistat[®], versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 ACÚMULO DE MATÉRIA SECA (MS) DAS CULTURAS DE COBERTURA

Através dos resultados obtidos percebe-se que a produção de massa seca (MS) não variou significativamente entre as culturas de cobertura utilizadas no experimento (Tabela 2). A média geral de acúmulo de matéria seca foi de 10.956 kg ha⁻¹, sendo a maior produtividade absoluta obtida para a cultura de sorgo (11.551 kg ha⁻¹), enquanto a menor taxa de acúmulo, embora ainda considerada elevada, foi obtida para a cultura do milho (10.268 kg ha⁻¹), apesar de não diferirem entre si estatisticamente ($p \leq 0,05$).

O acúmulo de MS no solo pode proporcionar decomposição lenta e gradual ou rápida dos resíduos de cobertura, que contêm macro e micronutrientes, em formas orgânicas lábeis, podendo estar disponível para a cultura subsequente, mediante a sua mineralização (CALEGARI, 2004). Os elevados resultados de produção de MS neste trabalho podem ser atribuídos a adaptabilidade das espécies às condições climáticas regulares de precipitação da Região Oeste do Paraná na época de cultivo, além de se tratar de espécies que possuem ciclo semelhante e que encontravam-se em florescimento pleno na época de manejo.

Tabela 2. Matéria seca (MS) das culturas de cobertura

Culturas de cobertura	MS (kg ha ⁻¹)
Sorgo	11.551
Capim sudão	11.313
Crotalaria	10.692
Milho	10.268
Média geral	10.956
F	3,93 n.s
CV%	7,84

n.s. = não significativo a 5% de probabilidade.

A elevada produtividade de MS de sorgo foi muito próxima aos 11.769 kg ha⁻¹ determinados por Bassegio (2014) e superior comparada às encontradas nos trabalhos de Barbosa et al. (2011) e Carvalho et al. (2011) (6.435 e 6.630 kg ha⁻¹, respectivamente). Isso se deve ao fato de que a planta de sorgo adapta-se a uma ampla variação de ambientes em razão de sua resistência à seca, permitindo sua produção sob condições desfavoráveis à maioria dos outros cereais (MAGALHÃES et al., 2000).

Segundo Ferreira et al. (2011), a quantidade de MS produzida pelo sorgo é geralmente 20% maior (9.560 kg ha⁻¹), comparando com espécies como a crotalaria (em torno

de 6.000 kg ha⁻¹). Para Lavres et al. (2005), esse fato pode ocorrer pois a produção total MS das espécies é afetada pelas deficiências dos macronutrientes, tendo como elemento mais limitante o nitrogênio, porém a necessidade de cada elemento varia em função de cada espécie vegetal (MALAVOLTA et al., 1997).

Borges et al. (2014) ao avaliarem a absorção de nutrientes e as alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura, concluíram que as espécies de sorgo e capim-sudão, em associação com a calagem, podem contribuir para a fertilidade do solo, ao reduzir o teor de Al e a acidez potencial e elevar a saturação por bases.

O sorgo e o capim-sudão tiveram acúmulo semelhante de MS (11.551 e 11.313 kg ha⁻¹, respectivamente), mas não diferiram da crotalária e do milho (10.692 e 10.268 kg ha⁻¹ respectivamente) (Tabela 2). No trabalho realizado por Silva et al. (2006) e Ambrosano et al. (2011), os valores encontrados para a crotalária (9.770 e 9.318 kg ha⁻¹ de MS), não se diferiram das outras culturas estudadas. Entretanto, experimento realizado por Silva et al. (2010), Barbosa et al. (2011), Costa et al. (2012) e Soratto et al. (2012), com épocas de manejo próximos ao deste trabalho, observaram produções de MS inferiores, respectivamente, (8.111; 2.069; 8.040 e 8.110 kg ha⁻¹). O mesmo acontece com a produção de MS do sorgo observado por Ferreira et al. (2011), Barbosa et al. (2011) e Carvalho et al. (2011), sendo 9.560; 6.435 e 6.630 kg ha⁻¹, respectivamente.

Torres e Pereira (2008) ao compararem seis espécies de cobertura verificaram que o milho, o sorgo e a crotalária foram as que apresentaram maiores produções de MS. O maior acúmulo de K ocorreu em gramíneas e a maior liberação deste elemento ocorreu no milho, aveia, braquiária e crotalária, nos primeiros 42 dias após o manejo. Menezes e Leandro (2004), por sua vez, ao compararem oito culturas de cobertura, observaram que as maiores produções de massa de matéria seca foram obtidas com braquiária e crotalária, sendo notada maior extração de N, K, Ca e micronutrientes, pelo trigo sarraceno, e de P, por milho e braquiária.

Nunes et al. (2011) encontraram bons resultados na produção de massa seca da parte aérea da crotalária (12.002 Kg ha⁻¹), aos 75 dias após a semeadura, sendo significativamente superior a ervilhaca (6.210 Kg ha⁻¹), refletindo em maior quantidade de nitrogênio acumulado em kg ha⁻¹. A baixa produção de massa seca da ervilhaca peluda possivelmente pode ser atribuída ao seu crescimento inicial lento e à época de manejo das coberturas, 75 dias após sua semeadura, além da crotalária ser uma cultura de verão e a ervilhaca de inverno.

Apesar de não realizado no presente estudo, diante do resultado encontrado no trabalho e com o intuito de aproveitar as características desejáveis de cada cultura, por ser

uma boa alternativa para a cobertura e proteção do solo, uma opção é utilizar as culturas de cobertura consorciadas. Conforme Heinrichs et al. (2001), quando o cultivo consorciado envolver leguminosas e não leguminosas, há uma combinação da habilidade das gramíneas em ciclar nutrientes com a capacidade das leguminosas em fixar N_2 atmosférico (RANELLS; WAGGER, 1996). Deste modo, o consórcio entre espécies pode adicionar ao solo uma fitomassa com relação C/N intermediária àquelas das culturas isoladas, contribuindo para o fornecimento de N à cultura em sucessão e proteção do solo simultaneamente (AITA et al. 2000; AMADO, 2000).

A exemplo disto, Oliveira et al. (2002) observaram que o consórcio entre milho e mucana-preta, condicionaram maior produtividade de massa seca ($10.120 \text{ kg ha}^{-1}$), superando os valores obtidos do sorgo em cultivo exclusivo. Este consórcio destacou-se como o tratamento em que houve maior acúmulo de macronutrientes a serem fornecidos ao solo e para o cultivo seguinte, sendo uma alternativa eficiente como culturas de sucessão.

4.2 MATÉRIA SECA, ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA E N TOTAL

Os componentes da produção do crambe foram afetados pelas sucessivas ocorrências de geadas na fase de florescimento da cultura (Figura 1), fase na qual, a cultura é sensível a baixas temperaturas (PITOL, 2010). O mesmo ocorreu no trabalho de Bassegio (2014), pelo fato de ser conduzido no mesmo local e época de plantio e com Santos et al. (2012), em seu experimento conduzido em Umuarama-PR.

Conforme a Tabela 3, observa-se que as coberturas vegetais influenciaram a produção de matéria seca e o teor de nitrogênio do crambe. A adubação nitrogenada de cobertura influenciou significativamente todos os componentes da produção do crambe, e a interação coberturas vegetais x adubação nitrogenada não influenciou a produção de matéria seca do crambe, dessa forma, este efeito foi discutido isolado.

Tabela 3. Matéria seca, índice Relativo de Clorofila e N Total no florescimento do crambe cultivado após culturas de cobertura com e sem nitrogênio em cobertura

Culturas de cobertura	Matéria seca (kg ha ⁻¹)	Índice de clorofila	N Total (g kg ⁻¹)
Sorgo	832 b	39,38	39,37 c
Capim sudão	1.086 ab	41,28	40,25 bc
Crotalária	1.799 a	41,92	45,93 a
Milheto	1.716 a	41,36	44,62 ab
CV (%)	28,78	4,33	6,09
Sem N	1.137 b	39,33 b	40,65 b
Com N	1.579 a	42,64 a	44,44 a
CV (%)	29,01	4,71	3,57
Teste F			
Culturas de cobertura (C)	8,80 *	2,31 n.s.	7,93 *
Nitrogênio (N)	7,56 *	17,68 **	8,79 **
Interação C x N	0,97 n.s.	4,51 *	4,41 **

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Estudos realizado por Soratto et al. (2013) em Botucatu-SP, em dois anos de cultivo do crambe em sucessão a cultura da soja, com adubação básica 300 kg ha⁻¹ (8:28:16), constataram produções de 2.639 e 2.283 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente. Broch; Ranno e Roscoe (2010) em um experimento realizado com o crambe em sucessão ao plantio do milho e da soja observaram que o crambe após soja produziu significativamente mais do que após milho. Essa diferença foi, em média, de 518 kg ha⁻¹ ou 45% a mais após soja.

Neste trabalho o crambe cultivado em sucessão ao sorgo apresentou menor acúmulo de matéria seca (832 kg ha⁻¹) em relação à crotalária e o milheto (1.799 e 1.716 kg ha⁻¹), respectivamente.

O capim sudão tem como característica contribuir para o controle de plantas daninhas, ou seja, sua palha na superfície do solo limita a passagem de luz criando dificuldades para que haja germinação das sementes e, pela barreira que forma, dificultando o crescimento inicial das plântulas (ALVARENGA et al., 2001). Pesquisa realizada por Borges; Freitas e Mateus, (2013) com capim sudão como planta de cobertura em rotação com soja e milho, observaram que o capim sudão manteve a cobertura do solo superior a 68% até o florescimento das culturas, proporcionando menor massa e menor número de plantas daninhas por m² na época do corte/colheita das plantas de cobertura.

A crotalária é altamente eficiente em fixar o N atmosférico, responsável pelo crescimento inicial das plantas e acúmulo de matéria seca. De acordo com Wutke (1993) a *Crotalaria juncea* pode fixar 150 a 165 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio no solo, podendo chegar a

450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em certas ocasiões, visando a conservação e/ou melhoria da fertilidade do solo. O crambe cultivado sobre crotalaria no presente trabalho apresentou 1.799 Kg ha⁻¹ de matéria seca.

A cultura do milho caracteriza-se por rápido crescimento e estabelecimento no campo, mesmo em condições de estresse hídrico; elevada produção e persistência da palhada sobre o solo e alta capacidade de extração e de acúmulo de macro e micronutrientes, com alta eficiência na ciclagem de K (CRUSCIOL & SORATTO, 2009). Soratto et al. (2012) em sua última coleta (91 DAM) encontrou grande concentração de Si, cerca de 8,4%, na fitomassa remanescente do milho, o que o torna de difícil degradação, aumentando a persistência deste na superfície do solo.

Com relação ao fator nitrogênio em cobertura, este proporcionou maior produção de matéria seca (1.579 kg ha⁻¹), em relação à ausência da adubação nitrogenada (1.137 kg ha⁻¹) no crambe. Broch et al. (2010) em trabalho realizado pela Fundação MS, observaram efeito significativo do nitrogênio (com dosagem de 32 kg ha⁻¹) aplicado em cobertura no crambe, com aumento de 28% e 11% na produtividade de crambe após milho e soja, respectivamente. Silva et al. (2009) trabalharam com a cultura do feijoeiro, e verificaram que a adubação nitrogenada de cobertura (70 kg ha⁻¹) proporcionou maior acúmulo de matéria seca.

4.2.1 Interação do índice relativo de clorofila e o teor de N total

O índice Relativo de Clorofila determina a concentração de clorofila ou o enverdecimento das folhas e pode se correlacionar com a concentração foliar de N. Isso ocorre pelo fato de que 70% do N contido nas folhas estão nos cloroplastos, participando da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (MARENCO & LOPES, 2005). Por essa razão, o teor de clorofila no final da fase vegetativa tem sido relacionado com o estado nutricional de N de diversas culturas (ARGENTA et al., 2001). Devido à interação significativa para o Índice Relativo de Clorofila e o teor de N Total (g kg⁻¹), será analisado o desdobramento na Tabela 4.

Tabela 4. Desdobramento da interação culturas de cobertura × adubação nitrogenada para o Índice Relativo de Clorofila e N Total (g kg^{-1}).

Culturas de cobertura	Adubação nitrogenada	
	Sem N	Com N
Índice de Clorofila		
Sorgo	37,53 bB	41,24 aA
Capim sudão	38,95 abB	43,61 aA
Crotalaria	42,64 aA	41,20 aA
Milheto	38,20 bB	44,52 aA
Culturas de cobertura	Adubação nitrogenada	
	Sem N	Com N
N Total (g kg^{-1})		
Sorgo	35,0 bB	43,75 aA
Capim sudão	38,50 abB	41,42 aA
Crotalaria	44,91 aA	46,96 aA
Milheto	44,19 aA	45,06 aA

Médias seguidas pela mesma letra (minúsculas nas colunas para comparação entre culturas de cobertura e maiúsculas nas linhas para adubação nitrogenada não diferem entre si (Tukey, 5%).

Observa-se (Tabela 4) que a adubação nitrogenada não interferiu o Índice Relativo de Clorofila e o teor de N na folha do crambe cultivado em sucessão a crotalaria. Provavelmente pelo fato da crotalaria apresentar elevado potencial de fornecimento de N, além de possuir baixa relação C/N, o que favorece a rápida decomposição e a liberação desse nutriente para a cultura subsequente, conseqüentemente acumulando mais N nas folhas (CERETTA et al., 1994).

Quando o crambe foi cultivado em sucessão ao sorgo e o capim sudão, observa-se relação entre o Índice Relativo de Clorofila e o teor de N em função da adubação nitrogenada de cobertura. Diferentemente do estudo de Silva et al. (2012), cujos autores não observaram correlação significativa da adubação nitrogenada de cobertura no índice de clorofila e teor de nitrogênio nas folhas de crambe, isto se deve, segundo os autores, pela falta de chuva durante a aplicação do nitrogênio.

4.3 POPULAÇÃO FINAL DE PLANTAS, MASSA DE 1000 GRÃOS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

As populações finais de plantas foram maiores nas palhadas de milho e crotalaria em relação à área com sorgo (Tabela 5). Mesmo tendo ocorrido o esfacelamento da palhada a partir de triturador de palha, a emergência das plântulas de crambe foi prejudicada na

palhada de sorgo, devido ao grande volume de massa seca aliada ao grande volume de folhas em relação a colmo, dificultando o mecanismo de semeadura. Fato semelhante também foi observado por Gomes Junior et al. (2008) para a cultura do feijoeiro, cuja populações finais de plantas sobre a palhada de braquiária e milho foram inferiores ao milheto, mesmo com o milheto ($21.200 \text{ kg ha}^{-1}$) produzindo quantidade superior ao milho (5.600 kg ha^{-1}) e a braquiária ($12.300 \text{ kg ha}^{-1}$).

A adubação nitrogenada prejudicou significativamente a população final de plantas de crambe (Tabela 5). Este fato pode estar relacionado às poucas informações referente à melhor época de adubação de cobertura da cultura e a precoce adubação nitrogenada. Contudo, Gomes Junior et al. (2008) encontraram resultados divergentes, cuja população de plantas de feijoeiro foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada de cobertura, fato segundo os autores relacionado ao fornecimento do fertilizante nitrogenado ter favorecido o estabelecimento das plantas na área como fator de aumento de resistência aos agentes nocivos ao desenvolvimento do feijoeiro.

Tabela 5. População final de plantas, massa de 1000 grãos e produtividade do crambe cultivado após culturas de cobertura com e sem nitrogênio

Culturas de cobertura	Plantas/m ⁻¹	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Kg ha ⁻¹)
Sorgo	28,8 b	4,4	721 b
Capim sudão	32,4 ab	4,5	961 b
Crotalaria	35,7 a	4,5	1.262 a
Milheto	36,8 a	4,4	847 b
CV (%)	10,69	3,92	19,22
Sem N	36,5 a	0,44	6695 b
Com N	30,3 b	0,45	1.347 a
CV (%)	7,74	6,43	24,01
Teste F			
Culturas de cobertura (C)	5,99 *	0,92 n.s.	9,66**
Nitrogênio (N)	34,77 **	0,33 n.s.	34,39**
Interação C x N	1,49 n.s.	0,71 n.s.	1,23 n.s.

n.s. = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Não houve diferenças significativas para o componente massa de 1000 grãos (Tabela 5) em razão das culturas de cobertura e adubação nitrogenada. Contudo, a massa de 1000 grãos observada neste experimento (4,4 a 4,5 g) é inferior às relatados por Silva et al. (2011), Falasca et al. (2010), Viana (2012) e Soratto et al. (2013) (6,3 a 7; 6 a 10; 6,33 a 7,88 e 6,8 a 9,3 g), devido as baixas temperaturas (ocorrência de geadas) que danificaram parcialmente as

folhagens e prejudicaram a cultura na fase de florescimento e enchimento de grãos, fato relacionado segundo Guarienti et al. (2004) a fotossíntese, que proporciona maior enchimento de grãos, em sequência, proporcionando a melhoria no peso de mil grãos.

Nunes et al. (2011) trabalhando com leguminosas (crotalária e ervilhaca peluda) e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto também não observaram efeito na massa de mil grãos. Os resultados do presente estudo também corroboram com os relatados por Silva et al. (2009) para o feijoeiro cultivado após diferentes coberturas vegetais (milho adensado, algodão e trigo) e doses de nitrogênio (0 e 70 kg ha⁻¹).

Entretanto, o aumento da massa de grãos, normalmente associado à maior disponibilidade de nitrogênio durante as fases de floração e início do enchimento de grãos, cuja fase a cultura foi prejudicada pelas baixas temperaturas, não relacionando-se com a produtividade de grãos de crambe.

A produtividade de grãos (Tabela 5) foi influenciada significativamente pelos fatores estudados. A produtividade do crambe cultivado em sucessão a crotalária (1.262 kg ha⁻¹) foi significativamente superior em relação às demais culturas de cobertura. A produtividade de grãos do presente estudo foi afetada pelas baixas temperaturas, porém, a produtividade do crambe em sucessão a crotalária ficou dentro do seu potencial produtivo (1000–1500 kg ha⁻¹), evidenciando a importância do N residual para nutrição do crambe mesmo em condições adversas. Broch et al. (2010) em trabalho realizado pela fundação–MS, observaram produtividade superior do crambe cultivado em sucessão a soja (1.575 kg ha⁻¹) comparado ao milho (1.002 kg ha⁻¹), demonstrando o aproveitamento de N do sistema pela cultura. Rosa (2013) analisando o potencial estruturante de espécies de cobertura, verificou que a crotalária e a mucuna verde apresentaram redução significativa de densidade do solo em comparação à área de pousio, contudo, não influenciaram a produtividade do crambe em sucessão.

Marriel et al. (2000) ao analisarem a produtividade de grãos em populações de milho cultivadas sob déficit de nitrogênio, concluíram que o acúmulo de massa seca da parte aérea poderia ser usado como indicador para a identificação preliminar de populações de milho eficientes no uso de nitrogênio. Também encontraram correlação significativa para massa seca da parte aérea no florescimento e a produção de grãos.

Houve efeito significativo do nitrogênio em cobertura, cujos valores médios são 669 e 1.347 kg ha⁻¹ de grãos para doses 0 e 70 kg ha⁻¹ de N. Estes resultados estão em consonância com os obtidos por Silva et al. (2009), Silva et al. (2003) e Soratto et al. (2000) para feijoeiro. Geralmente, espera-se que culturas tenham resposta ao nitrogênio quando são cultivadas após gramíneas. No caso do crambe, observa-se que mesmo quando foi cultivado sobre palhada de

crotalaria a adubação nitrogenada de cobertura afetou a produção. Contudo, ressalta-se a falta de informações referente a adubação e nutrição da cultura para sistema de plantio direto.

5 CONCLUSÃO

As culturas de cobertura apresentaram resultados semelhantes ($p \leq 0.05$) de matéria seca, cujos acúmulos foram de 11.551, 11.313, 10.692 e 10.268 kg ha⁻¹ para o sorgo, capim sudão, crotalaria e o milheto, respectivamente.

O cultivo de crambe foi influenciado pela interação entre os fatores culturas de cobertura e adubação nitrogenada, cuja adubação nitrogenada não influenciou o Índice Relativo de Clorofila e o teor de N total quando o crambe foi cultivado sobre palhada de crotalaria.

As culturas de cobertura de forma isolada contribuíram para o acúmulo de matéria seca, número de plantas e produtividade de grãos de crambe, com destaque para a crotalaria.

Com exceção à massa de mil grãos, os demais componentes da produção do crambe foram beneficiados pela adubação nitrogenada de cobertura.

A adubação nitrogenada de cobertura proporcionou maior produtividade de grãos de crambe (1.347 kg ha⁻¹).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J. A. A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada do milho**. 2009. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS.
- AMBROSANO, E. J. et al. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.810-818, 2011.
- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; REIS JÚNIOR, F. B. Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. **EMBRAPA – Documento 119**, Planaltina-DF, 2004.
- AITA, C.; FRIES, M.R.; GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: FERTIBIO 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2000, CD-ROM.
- ALVARENGA, R. C. et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p.25-36, 2001.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 179-189, 2000.
- ANDREOTTI, M. et al. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, p.109-115, 2008.
- ARGENTA, G. et al. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 6, p.851-860, 2001.
- 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, 2009.
- BALL, D. M.; HOVELAND, C. S.; LACEFIELD, G. D. Southern forages. Georgia: **International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, Lawrenceville, ed. 4, p. 322, 2007.
- BARBOSA, C.M. et al. Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.265-272, 2011.
- BEYAERT, R. P.; ROY, R. C. Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum-sudangrass yield and nitrogen use. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1493-1501, 2005.
- BIFON, M. L. R. et al., Eficiência de seis adubos verdes em condições de Espírito Santo do Pinhal – SP. In: Congresso brasileiro de Ciências do Solo, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/ Iapar/ UEL, p. 173, 2001.

BONINI, A. K. **Compactação de um latossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto e rendimento de grãos de trigo, soja e milho.** 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

BRAZ, A. J. B. P. et al. Emergência de plantas daninhas em lavouras de feijão e de trigo após o cultivo de espécies de cobertura de solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 621-628, 2006.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K.; ROSCOE, R. Efeito de adubações de plantio e cobertura sobre a produtividade de crambe cv. FMS Brilhante após soja e milho. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 4; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1., João Pessoa, 2010. **Anais...**Campina Grande: Embrapa Algodão, p.652-657, 2010.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H.(Eds). Cultura do Milho: fatores que afetam a produtividade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, p. 63-146, 1993.

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 80, n. 2, p. 62-70, 2004.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range in soil under crop rotations and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.3, p. 759-771, 2011.

CAMARGO, F.A.O. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Gênese, Porto Alegre, 117-137, 1999.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soils of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 181-185, 1999.

CARLSSON, A. S. et al. **Oil crop platforms for industrial uses.** Outputs from the EPOBIO project. CpIpress. 2007.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 02, p.455-462, 2008.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. **Sustainable management of soil organic matter.** Wallingford: CABI Publishing, p. 9-22, 2001.

CARVALHO, A.M. de. et al. Plantas de cobertura com potencial de uso para sistemas integrados lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, W. P; CARVALHO, G. J; NETO, D. O. A; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônomico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.2, p.157-166, fev. 2013.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, p.575-580, 2005.

CERETTA, C.A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

CERETTA, C. A. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto: sucessão aveia/milho. In: **II Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto**. Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, p. 12-25, 1998.

CHIGNOLLI JÚNIOR, W. et al. Influência da época de semeadura e manejo da fitomassa do acúmulo do macronutrientes no milho. In: **Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, Londrina. Anais... Londrina: EMBRAPA/IAPAR/UEL. p. 211, 2001.

CORRÊA, C.E.S.; RODRIGUES, J.A.S.; GONÇALVES, L.C. Determinação da produção de matéria seca e das proporções de colmo, folha e panícula de treze híbridos de sorgo. In: **Reunião Anual da Sociedade brasileira de Zootecnia**, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.374-376, 1996.

COSTA, C. H. da. et al. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 384-394, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1553-1560, 2007.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. Seeds Handbook: Biology, **Production Processing and Storage**. 10 ed. 1997.

DIAS, P. P. **Variáveis fenométricas e rendimento de grãos do crambe associado a níveis de compactação de um latossolo argiloso**. 2014. 40 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR.

DIAS, A.M.A.; BATISTA, A.M.V.; FERREIRA, M.A. et al. Efeito de estádio vegetativo do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sobre a composição química da silagem, consumo, produção e teor de gordura do leite para vacas em lactação, em comparação à silagem de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.2086-2092, 2001.

DOBEREINER, J. A. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. **Revista Biotecnologia**, CNPAB/EMBRAPA, Seropédica-RJ, 2003.

DODENA, A. **Plantas de cobertura de solo consorciadas e em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS.

ECHEVENGUÁ, A. **Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel**. 2007. Disponível em: <www.ecoeacao.com.br>. Acesso em: 09 abril 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, p. 306, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Sistemas de produção. Embrapa Milho e Sorgo, ed. 1, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manejo da cultura do milho**. Circular Técnica 29. Sete Lagoas, MG, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do sorgo**. Sistemas de produção. Embrapa Milho e Sorgo, ed. 4, 2008.

ESPÍNOLA, J.I.A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 321-328, 2006.

EVANGELISTA, A.R.; LIMA, J.A. Silagens: do cultivo ao silo. Lavras: **UFLA**, p. 196, 2000.

FADINI, M.A.M.; REGINA, M.A.; FRÁGUAS, J.C.; LOUZADA, J.N.C. efeito da cobertura vegetal do solo sobre a abundância e diversidade de inimigos naturais de pragas em vinhedos. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, vol. 23, no. 3, 2001.

FARIA JÚNIOR, C. A. **Adaptabilidade da cultura do crambe do Estado de Mato Grosso**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola), Universidade do Estado do Mato Grosso. Tangará da Serra-MT.

FERREIRA, E.P. de B. et al. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p.695–701, 2011.

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 57, n. 1, p. 25-29, 2000.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜLL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.

FONTANA ,F.; LAZZERI, L.; MALAGUTI, L.; GALLETTI, S. Agronomic characterization of some Crambe abyssinica genotypes in a locality of the Po Valley. **European Journal of Agronomy**, p. 117–126, 1998.

FONTANELI, R. S.; SOLLENBERGER, L. E.; STAPLES, C. R. Yield, yield distribution, and nutritive value of intensively managed warm-season annual grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 6, p. 1257-1266, 2001.

FUNDAÇÃO MS. **Culturas para biodiesel: Crambe**, 2007. Disponível em: <www.fundacaoms.org.br>. Acesso em 28 de maio 2014.

FURLANI JÚNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L. J.; MOREIRA, J. A. A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 171-175, 1996.

GABRIEL FILHO, A. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GARCIA, R.A. et al. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, p.579-585, 2008.

GLASER, L.K. **Crambe: An Economic Assessment of the Feasibility of Providing Multiple-Peril Crop Insurance**. Economic Research Service for the Risk Management Agency, Federal Crop Insurance Corporation, 1996.

GONTIJO, M. H. R.; BORGES, A. L. C. C.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; GOMES, S. P.; BORGES, I.; RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, M. M. Potencial forrageiro de seis híbridos de sorgo com capim sudão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.1, p. 33-43, 2008.

GONTIJO NETO, M. M.; OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; CÂNDIDO, M. J. D.; MIRANDA, L. F. Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivados sob níveis crescentes de adubação, rendimento, proteína bruta e digestibilidade *in Vitro*. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, n.4, p.1640-1647, 2002.

HANNA, W. W.; WRIGHT, D. Planting date, resust, and cultivar maturity effects on agronomic Characteristics of pearl millet In: **National Grain Pearl Millets**, Tifton. Proceedings...[S.I.]: University of Georgia, p. 28- 31, 1995.

HAUCK, R.D. Epilogue. In: HAUCK, R.D., (Ed.). Nitrogen in crop production. **Soil Science Society of America**, Madison, p. 782-787, 1984.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milheto submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 875-882, 2002.

HEINRICHS, R.; AITA,C.; AMADO, T.J.C.; et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 291-297, 2001.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 20, p. 1021-1030, 1985.

IAL (Instituto Adolpho Lutz). **Chemical and physical methods for food analysis**. Analytical Standards, São Paulo, p. 317, 1985.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Mapas climáticos**. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=983>. > Acesso em: 16 mai. 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 98p. (Circular, 86).

JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil, Netherland**, v. 181, p. 39-45, 1996.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe Abyssinica hochst*): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu – UNESP. Botucatu-SP.

KNIGHTS, S. E. **Crambe: A North Dakota Case Study**, p. 25, 2002.

KICHEL, A. MACEDO, M.C. **Milheto**. Campo Grande: EMBRAPA/CNPQC, (EMBRAPA/CNPQC, v.7, n.2), p. 2, 1994.

LANGE, A.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1715-1720, 2009.

LIMA, D. J.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, M. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 531-540, 2010.

LIMA, E. V.; ARAGÃO, C. A.; MORAIS; O. M.; TANAKA, R.; GRASSI FILHO, H. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **Ciência Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 125-129, 2001.

LIMA, E, do V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Botucatu: 2004. 133 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

LUCHESE, E. B. ; FAVERO, L. O. B. ; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo Teoria e Prática**. 2ª ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 2002.

LUNELLI, I. E. et al. Effects of nutritional arrangements of NPK on the yield of grains and Crambe oil cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v.8 n.18, p. 2048-2052, 2013.

MAI, M.E.M. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 125-131, 2003.

MARASCA, I. **Atributos físicos do solo em área de plantio direto com e sem escarificação**. 2010. 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MARCANTE, N. C.; SILVA, M. A. C.; PAREDE JÚNIOR, F. P. Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 196-204, Mar./Apr. 2011.

MARENCO, R. A; LOPES, N. F. Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. **Viçosa: UFV**, 2. ed. p. 439, 2005.

MARTINS, C. R; PEREIRA, P. A. de; LOPES, W. A. e ANDRADE, J B. de . Ciclo Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: A importância da Química da Atmosfera. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, nº 5, p.28-41, 2003.

MACHADO, M. F. et al. **Estudo do crambe (*Crambe abyssinica*) como fonte de óleo para produção de biodiesel**. Itaúna/MG – UFMG, 2007.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba : Potafós, p. 319, 1997.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIELH, J. C. **Fertilidade do Solo**. NOBEL, São Paulo, 1983.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MONTAGNER, D. B.; ROCHA, M. G.; NÖRNBERG, J. L.; CHIELLE, Z. G.; MONDADORI, R. G.; ESTIVALET, R. C.; CALEGARI, C. Características agronômicas e bromatológicas de cultivares avaliados no ensaio sul-rio-grandense de sorgo forrageiro. **Revista brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 447-452, , 2005.

MONTEIRO, H.C.F.; et al. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1092-1102, 2002.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (EDS). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras, p. 626, 2002.

MULCAHY, C.; HEDGES, D.A.; RAPP, G.G. et al. Correlations among potential selection criteria for improving the feeding value of forage sorghums. **Trop. Grassl.**, v.26, p.7-11, 1992.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influencia da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

MURAIISHI, C.T. et al. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p.199-207, 2005.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C. et al. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.293-301, 2002.

NETTO, D. A. M. **A cultura do milheto**. EMBRAPA – CNPMS, (Com. Técnico, 11). p. 6, 1998.

NEVES, M.B. et al. **Qualidade fisiológica em cultura de crambe produzidas em Mato Grosso do Sul**. EMBRAPA. Disponível em: http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia_2007/Agroener/trabalhos/Outras%20culturas.../Neves_1.pdf. Acesso em: 23 abri. 2014.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MOTA, L. H. S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1375-1384, 2011.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e a adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciências agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, P. de. et al. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1184-1192, 2011.

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

OPLINGER, E.S. et al. **Crambe, alternative field crops manual**. University of Wisconsin and University of Minnesota. St. Paul, MN 55108. July, 1991.

PACHECO, L. P. et al. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, p. 340, 1996.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PEIXOTO, E. M. A. Nitrogênio – Elemento químico. **Revista Química Nova Escola**, São Paulo, v. 36, n. 1, 2006.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.35-40, 2004.

PEREIRA, J. A.R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no cerrado**. 1990. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP. Botucatu-SP.

PITOL, C. **A cultura do crambe: Tecnologia e Produção: Milho safrinha e culturas de inverno**, FUNDAÇÃO MS, Mato Grosso do Sul, 2008.

PITOL C, BROCH DL, ROSCOE, R. **Technology and production: crambe 2010**. FUNDAÇÃO MS, Mato Grosso do Sul, 2010.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C.. Sistema de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, p. 79-82, 2001.

PURCINO, A.A.C. et al. Como as plantas utilizam os fertilizantes nitrogenados. **Revista Cultivar**, abril de 2000.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M.J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p. 89-102, 2002.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, ed. 2, 1983.

RANNELS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures e bicultures. **Agronomy J.**, 88: 777-782, 1996.

REDIN, M. **Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e plantas de cobertura de solo**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria –RS.

RODRIGUES, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: **Simpósio de forragicultura e pastagens: temas em evidência**, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA, p.179-201, 2000.

RÓGERIO, F. et al. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350, 2012.

ROSA, R. S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. **Instituto de química de São Carlos – USP**, São Carlos-SP, 2003.

ROSA, H. A. et al. Effects of the use of cover crops in the structure of an oxisol managed by a no-till farming system in the west of Paraná, Brazil. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 10, n. 2, p. 1278-1280, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

ROSCOE, R.; DELMONTES, A.M.A. **Crambe é nova opção para biodiesel**. Agriannual, 2009. São Paulo: Instituto FNP, p. 40-41, 2008.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.819-831, 2005.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2010.

SALGADO, A. L. B. et al., Efeito da adubação NPK na cultura da crotalária. **Bragantia**, Campinas, v. 41, n. 3, p. 21-23, 1982.

SALET, R.L.; VARGAS, L.K.; ANGHINONI, et al. Porque a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto?. In: Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto, 2, 1997, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo, RS : Aldeira Norte, p.217, 1997.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. **Milheto**: alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação c/n em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR.

SANTOS, J, I dos. et al. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350, 2012.

SANTOS, J. I. dos. et al. Yield response in crambe to potassium fertilizer. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 43, p.297-300, 2013.

SCALEÁ, M. J. Perguntas e respostas sobre o plantio direto. **Informações Agronômicas**, Encarte Técnico. Piracicaba, n. 83, p. 1-8, 1998.

SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biologic Fertility Soils, Berlin**, v. 26, p. 1-15, 1998.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.407-414, 2005.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, E. C da. et al. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.477-486, 2006.

SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 335-347, 2008.

SILVA, A.C da; HIRATA, E.K.; MONQUERO, P.A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V44, p.22-28, 2009.

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

SILVA, F. de A. S. e ; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVEIRA, P. M.; RAVA, C. A. Utilização de crotalária no controle de nematoides da raiz do feijoeiro. **Comunicado Técnico 74**, Santo Antônio de Goiás, GO, 2004.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, V. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SIMIDU, H. M. et al. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010.

SOUSA, G. M. M. **Adubação orgânica e densidade de plantas em crotalária juncea antecedendo o arroz**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN.

SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P., ÍTAVO, L. C.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: EMBRAPA, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.

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

SORATTO, R. P. et al. Effect of fertilization at sowing on nutrition and yield of crambe in second season. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.3, 658-666, 2013.

SPERA, S. T. et al. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.9, n.1, p.23-31, 2004.

TOMICH, T. R.; TOMICH, R. G. P.; GONÇALVEZ, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Belo Horizonte, vol.58, n.6, 2006.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1609-1618, 2008.

VALENTE, J.O. Introdução manejo cultural do sorgo para forragem. In: **EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG. (Circular técnica, 17). Sete Lagoas: EMBRAPA CNPMS, p.5-7, 1992.

VIANA, O. H. **Cultivo de crambe na região oeste do Paraná**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.90-100, 2013.

WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada em triticale com base no teor de matéria orgânica do solo**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, p. 25, 1993.

WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, p. 364, 2000.

WUTKE, E. B. Adubação verde, manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: **WUTKE, E. B. et al., Curso de adubação verde no Instituto Agrônomo**. Campinas, p. 17-29, 1993.

ZAGO, C.P. Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes. In: **Manejo cultural do sorgo para forragem (Circular Técnica/EMBRAPA-CNPMS, 17)**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, p.9-26, 1997.

ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. UFV; DFP. Viçosa, 2005.