

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – *CAMPUS* DE CASCAVEL
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DE UM SISTEMA AGRÍCOLA
SOB ROTAÇÃO DE CULTURAS

DANIELLE MEDINA ROSA

CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO - 2013

DANIELLE MEDINA ROSA

**PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SISTEMA AGRÍCOLA SOB
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientadora: Dra. Lúcia Helena Pereira Nóbrega

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO - 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

1

R694p Rosa, Danielle Medina
Propriedades químicas, físicas e biológicas de um sistema agrícola
sob rotação de culturas. / Danielle Medina Rosa — Cascavel, PR:
UNIOESTE, 2013.
151 f. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia Helena Pereira Nóbrega
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Plantas de cobertura. 2. Adubação verde. 3. Solo - Propriedades.
4. Plantas invasoras. 5. Sistema plantio direto. 6. *Zea mays*, *Glycine max*.
I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

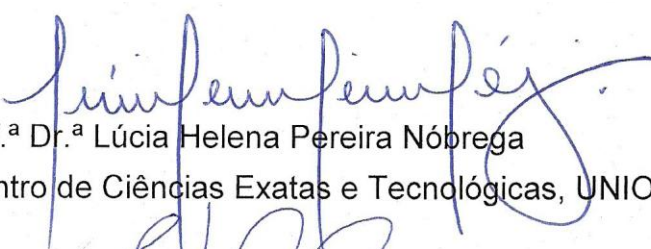
CDD 21. ed. 631.3

¹ Revisor de Normas, Língua Portuguesa e Língua Inglesa: Professor Ms. José Carlos da Costa, em 7 de junho de 2013.

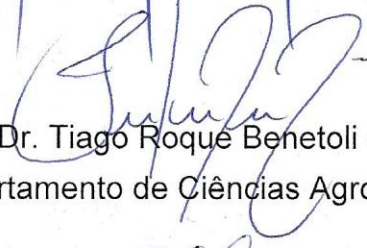
DANIELLE MEDINA ROSA

**PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SISTEMA AGRÍCOLA SOB
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

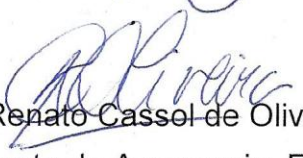
Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora.



Orientadora: Prof.ª Dr.ª Lúcia Helena Pereira Nóbrega
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE



Prof. Dr. Tiago Roque Benetoli da Silva
Departamento de Ciências Agrônômicas, UEM



Prof. Dr. Renato Cassol de Oliveira
Departamento de Agronomia, FAG



Prof.ª Dr.ª Luciene Kazue Tokura
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE



Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel 14 de fevereiro 2013.

BIOGRAFIA

Danielle Medina Rosa, nascida em 20 de janeiro de 1983 na cidade de Cascavel, Paraná, filha de Vandeli Medina Rosa e Apolônia Pereira Rosa, agricultores. Graduiu-se em Ciências Biológicas, bacharelado, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná/ UNIOESTE, em 2006. Obteve o grau de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais em 2009, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR, com a dissertação intitulada *Supressão de plantas invasoras e características agronômicas da cultura do milho sob resíduos culturais de leguminosas em sistema plantio direto*. Iniciou estudos de doutorado em fevereiro de 2009 no mesmo curso. Bolsista do Conselho Nacional Pesquisa/CNPq, desde a graduação.

"Quando o homem aprender a respeitar até o menor ser da criação, seja animal ou vegetal, ninguém precisará ensiná-lo a amar seu semelhante".

Albert Schweritzer

Dedico e ofereço,

À sempre tão preocupada e atenciosa, fortaleza em meio à doçura, pelo estímulo e conhecimento que não se encontram nos livros, minha mãe querida, Apolônia.

Àquele que me deu força e coragem para sempre estudar e nunca desistir, acreditou em mim sempre e cuja presença existe dentro de mim, seus conselhos e seu exemplo ficarão para sempre, meu pai e meu orgulho Vandeli (*in memoriam*);

Ao Ilso, meu esposo, pelo incentivo em minhas escolhas,
amor, compreensão e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por enviar a luz de seu Espírito Santo pra me iluminar, durante toda minha trajetória. Por trabalhar acima de meus sonhos e guiar minha vida de acordo com o Vosso desejo, de Pai celestial. Eterna gratidão!

O doutorado segue por uma estrada longa, que demora anos, e durante este percurso várias pessoas me pegaram pela mão, me deram carona ou caminharam comigo. A elas, que passaram e contribuíram de alguma forma e que, assim, fazem parte da minha história, sinceros agradecimentos.

Aos meus pais, Vandeli e Apolônia, pelo exemplo de vida, amor incondicional e por renunciarem a muitos de seus sonhos para realizarem os meus; com seu exemplo de vida ensinaram-me valores como honestidade, humildade, fraternidade, perseverança e superação. Seus ensinamentos guiam sempre minha vida!

Ao meu esposo, Ilso, pelo amor e dedicação e por não medir esforços para me ajudar, tanto incentivando, quanto na parte prática da fase experimental. De todos, foi de quem mais precisei de compreensão, principalmente pelas ausências constantes. A quem devo a força e coragem de sempre persistir em meio às dificuldades.

À professora Lúcia, por caminhar junto comigo neste caminho, de rosas e espinhos, erros e acertos, mas com muita cumplicidade e amizade.

À minha família: às minhas irmãs e confidentes, Ana Paula e Karine, de quem tenho muito orgulho, tornaram-se mulheres fortes e com muito caráter; ao tio Vanderlei, por regar minhas plantinhas na estiação e ser meu segundo pai; às minhas avozinhas queridas do meu coração, duas Marias;

Às amigas e parceiras, de longa data, Márcia e Gisa, que trilharam junto comigo este caminho, pelo apoio, amizade incondicional e carinho. À Adri e à Ari, por serem tão sinceras e dispostas, sempre prontas para ajudar. Ao Fábio e à Micha, por eu poder sempre contar com eles. À Jose, que dividiu comigo este momento tenso de escrever, por sua paciência e mansidão, que acalma nos momentos difíceis. Ao Dércio, intitulado "amigo", com quem discuti muito, tanto assuntos de ordem científica quanto humana. À Márcia S. e à Márcia K., pela companhia e amizade. À Claudia e à Vanessa, pela alegria e disposição. Juntos rimos, choramos, reclamamos, comemoramos, mas sempre... juntos! Amizades que com certeza levaremos para o resto da vida!

Às minhas velhas amigas, Angela, Carol, Noelle e Vanessa, por estarem sempre dispostas a "ouvirem" minhas reclamações e alegrias por e-mail, longe, mas sempre perto.

Meu reconhecimento aos professores da instituição pela contribuição ao conhecimento. Em especial às professoras Mônica, Sílvia e Simone por terem aberto as portas de seus laboratórios para que essa pesquisa pudesse acontecer.

A todos os colegas do PGEAGRI e da graduação: Ana Maria, Carla, Davi, Diego, Dinéia, Fran Torres, Higor, Jaque, Lari, Rodrigo, Taiana, Tati, Thaisa, Vanda. E aos da graduação: Camila, Christian e Luan.

Aos membros da banca Luciene Kazue Tokura, Márcio Furlan Maggi, Renato Cassol de Oliveira e Tiago Roque Benetoli da Silva, pelas sugestões e contribuições ao trabalho.

Ao Edison, pela ajuda no laboratório e à Vera, pela assistência.

Agradeço à UNIOESTE e às pessoas que a compõem, pelo suporte oferecido, desde a graduação até o doutorado. E da mesma forma ao CNPq pelo apoio financeiro pelo mesmo período.

Vocês foram alicerces deste trabalho.

Sem vocês... eu não teria conseguido!

Obrigada!

PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DE UM SISTEMA AGRÍCOLA SOB ROTAÇÃO DE CULTURAS

RESUMO

A rotação de culturas é ação básica para garantir a viabilidade do sistema plantio direto, porém, é pouco aceita e praticada pelos agricultores. Assim, este trabalho teve por objetivo verificar os efeitos em se estabelecer um esquema de rotação de cultura, nas propriedades químicas e físicas do solo, nas características agronômicas e biológicas das culturas e efeito supressor sobre a comunidade invasora. Para isso, sob sistema plantio direto, foram implantadas, em 2010, as plantas de cobertura mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) e a cultura do milho e, em 2011, as plantas de cobertura canola (*Brassica napus*), crambe (*Crambe abyssinica*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), e a cultura da soja. As propriedades físicas e químicas foram determinadas anteriormente à implantação, após o manejo da cobertura vegetal e após a colheita das culturas. As mudanças do solo foram acompanhadas por meio de determinação de matéria orgânica total e suas frações húmicas, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, e teor de água. A qualidade da cobertura vegetal foi determinada pelas características dos resíduos vegetais, como massa seca e relação C/N. A população de plantas invasoras foi determinada aos 30 dias após a semeadura das plantas de cobertura e aos 30 e 60 e por ocasião da colheita das culturas. A avaliação foi realizada com o lançamento aleatório de quadro de metal, o qual foi arremessado quatro vezes por parcela. A emergência de plântulas foi determinada durante o desenvolvimento das culturas. Além do índice de clorofila e análise foliar química. Em laboratório, após a colheita, foram determinadas a produtividade e a qualidade de sementes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos em cada ano de experimento (três plantas de cobertura mais a testemunha) com cinco repetições por tratamento, totalizando 20 parcelas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade, com auxílio do software SISVAR. Algumas variáveis foram correlacionadas. No ano agrícola 2010/2011, com o cultivo com plantas de cobertura fabáceas, observou-se melhorias física e química do solo, após o manejo com estas plantas. Houve incremento no teor de nitrogênio foliar de milho nos tratamentos com plantas de cobertura e, a produtividade e qualidade de sementes não foram afetadas. No ano agrícola 2011/2012 houve incremento no teor de carbono do solo, porém, canola e crambe apresentaram problemas no cultivo, sendo que a canola foi afetada pelas condições climáticas e o crambe influenciou negativamente a cultura da soja. Nos dois anos agrícolas, as espécies invasoras foram eficientemente controladas pelas plantas de cobertura e, estas, apresentaram adequada cobertura do solo. Em geral, houve acréscimo no teor de matéria orgânica do solo, tanto total, como de suas frações húmicas e as propriedades químicas e físicas não apresentaram variações consistentes. Ressalta-se, assim, a necessidade de sistemas de rotação de culturas validados de forma regionalizada, de acordo com as condições edafoclimáticas do Estado do Paraná.

Palavras-chave: plantas de cobertura, adubação verde, *Zea mays*, *Glycine max*, propriedades do solo, plantas invasoras, sistema plantio direto.

CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF AGRICULTURAL SYSTEM UNDER CROP ROTATION

ABSTRACT

Crop rotation is a basic action to ensure the viability of no-tillage system; however, it is less accepted and practiced by farmers. Thus, this study aims to verify effects of establishing a crop rotation scheme on chemical and physical properties of soil, on biological and agronomics characteristics of crops and as suppressive effect on the weed community. So, under the no-tillage system, in 2010, the cover crops of dwarf mucuna (*Mucuna deeringiana*), dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan*) and sun hemp (*Crotalaria juncea*), and corn crops were implemented; in 2011, the cover crops of canola (*Brassica napus*), crambe (*Crambe abyssinica*) and turnip forage (*Raphanus sativus*), and soybean crops were implemented. The physical and chemical properties were determined prior to deployment, after management of cover crops and its harvesting. Changes in the soil were monitored by the determination of organic matter, bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity and water content. The quality of cover crops was determined by the characteristics of straw, as dry mass and C/N ratio. The population of weeds was determined after 30 days the cover crops sowing and 30 to 60 days due to the crops development. The assessment was performed with the introduction of random frame, hurled four times by portions. The seedling emergence was determined during the crop harvest. In addition, chlorophyll content and leaf analyses were determined. In the laboratory, after harvesting, it was determined the yield and seeds quality. The experimental design was completely randomized, with four treatments in each experimental year (three cover crops plus one control), with five replicates per treatment, totalizing 20 portions. Results obtained were submitted to ANOVA and means comparison was conducted by the Scott-Knott test at 5% of probability, using the SISVAR software. Some variables were correlated. In the agricultural year 2010/2011, improvements were observed in the physical and chemical soil properties after the management of these plants. There was increase in leaf nitrogen content of maize in treatments with cover crops; and the yield and seed quality were not affected. In agricultural year 2011/2012, there was increase in the carbon soil content, however, canola was affected by climatic conditions and crambe influenced negatively soybean. In the two agricultural years, the weeds were controlled by cover crops, which presented adequate soil cover. In general, there was increase in the organic matter content of soil, and the chemical and physical properties presented no consistent changes. Thus, we highlight the necessity of crop rotation systems validated in a regionalized way, according to the different soil and climatic conditions of the State of Paraná.

Key words: cover crops, green manure, *Zea mays*, *Glycine max*, soil properties, weed plants, no-tillage system.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Perspectivas do sistema plantio direto no Brasil e no Paraná.....	4
3.2 Rotação de culturas e plantas de cobertura	7
3.3 Plantas de cobertura de primavera/verão	11
3.4 Plantas de cobertura de inverno	16
3.5 Plantas de cobertura e solo	20
3.6 Cultivos: milho e soja.....	25
3.6.1 Milho	25
3.6.2 Soja.....	28
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Localização e caracterização da área do experimento	30
4.2 Histórico de utilização.....	31
4.3 Rotação de culturas proposta.....	31
4.4 Determinação das propriedades do solo	32
4.5 Características químicas e físicas	32
4.6 Matéria orgânica do solo	33
4.7 Determinações durante o cultivo do milho (2010/2011)	35
4.7.1 Instalação e manejo das culturas de cobertura vegetal	35
4.7.2 Determinações agronômicas nas plantas de cobertura	36
4.7.3 Instalação e análises do milho.....	37
4.8 Determinações durante o cultivo da soja (2011/2012)	39
4.8.1 Instalação e manejo das plantas de cobertura.....	39
4.8.2 Determinações agronômicas nas plantas de cobertura	40
4.8.3 Instalação e análises da cultura da soja	41

4.9	Coleta e análise dos índices agronômicos das culturas.....	42
4.10	Determinação da qualidade física e fisiológica das sementes colhidas	43
4.11	Determinação da incidência de plantas invasoras	44
4.12	Delineamento experimental e análise estatística	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Fatores climáticos	46
5.2	Determinações durante o cultivo do milho	48
5.2.1	Propriedades físicas e químicas do solo durante o cultivo do milho	48
5.2.2	Incidência de plantas invasoras e produção de fitomassa das plantas de cobertura	59
5.2.3	Características da cultura do milho.....	65
5.3	Determinações no cultivo da soja.....	71
5.3.1	Propriedades físicas e químicas do solo durante o ciclo de cultivo da soja	71
5.3.2	Incidência de plantas invasoras, produção de fitomassa e produtividade das plantas de cobertura	81
5.3.3	Características da soja	88
5.4	Características do solo durante o desenvolvimento do experimento: interações entre os anos.....	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
7	CONCLUSÕES	111
	REFERÊNCIAS	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização da composição da massa fresca e seca das coberturas vegetais utilizadas (mucuna anã, feijão guandu anão e crotalaria juncea)	35
Tabela 2	Caracterização do teor de óleo de grãos e massa seca da parte aérea das plantas de canola, crambe e nabo forrageiro	39
Tabela 3	Macroporosidade, microporosidade e porosidade total, densidade do solo e teor de água antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalaria juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011	48
Tabela 4	Análise química do solo antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalaria juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011.....	51
Tabela 5	Matéria orgânica (MO) e teor de carbono total (C) do solo antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalaria juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) e plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011..	54
Tabela 6	Coeficientes de correlação de Pearson entre os propriedades físicas e químicas do solo e produtividade do milho. Braganey - PR, 2010/2011.....	55
Tabela 7	Frações da matéria orgânica antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalaria juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey – PR, 2010/2011.....	57
Tabela 8	Incidência de espécies invasoras (plantas m ⁻²) durante o desenvolvimento das espécies fabáceas em avaliações aos 30 e 60 dias após a semeadura e durante o desenvolvimento da cultura do milho aos 30 dias após a semeadura. Braganey - PR, 2010/2011	59
Tabela 9	Valores médios de massa fresca e seca, valor relativo em comparação à testemunha, teor de nitrogênio e carbono, relação C/N e adição esperada de húmus (H) da parte aérea das plantas de mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalaria juncea (<i>Crotalaria juncea</i>) e das plantas espontâneas na testemunha (pousio). Braganey - PR, 2011.....	62

Tabela 10	Índice de velocidade de emergência, velocidade de emergência, porcentagem de emergência, estande inicial de plântulas de milho e índice de clorofila de folhas de milho submetidas aos tratamentos de cobertura vegetal com fabáceas. Braganey - PR, 2010/2011	66
Tabela 11	Teores de macronutrientes e micronutrientes presentes nas folhas de milho submetido aos tratamentos de cobertura vegetal com mucuna anã (<i>Mucuna deeringiana</i>), feijão guandu anão (<i>Cajanus cajan</i>) e crotalária juncea (<i>Crotalaria juncea</i>). Braganey - PR, 2010/2011.....	66
Tabela 12	Produtividade, produção relativa em comparação à testemunha e massa de 100 sementes de milho após o cultivo com plantas de cobertura fabáceas. Braganey - PR, 2011	67
Tabela 13	Porcentagem de germinação, teste frio e teor de água de sementes de milho colhidas, sob os tratamentos de cobertura vegetal com fabáceas. Braganey - PR, 2010/2011	69
Tabela 14	Coeficientes de correlação entre atributos relacionados às plantas de cobertura e componentes de produção de milho. Braganey - PR, 2010/2011	70
Tabela 15	Macroporosidade, microporosidade e porosidade total, densidade do solo e teor de água antes e após o manejo com plantas de canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja	72
Tabela 16	Resultados da análise química do solo antes e após o manejo com plantas de canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012	74
Tabela 17	Matéria orgânica e teor de carbono total do solo, em coleta aos 0,10 m, antes e após o manejo com plantas de canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012.....	77
Tabela 18	Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos físicos e químicos do solo e produtividade da soja. Braganey - PR, 2010/2011.....	78
Tabela 19	Frações da matéria orgânica do solo antes e após o manejo com plantas de canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012	80

Tabela 20	Incidência de espécies invasoras (plantas m ⁻²) durante o desenvolvimento das espécies brassicáceas em avaliações 30 e 60 dias após a semeadura destas plantas e da cultura da soja aos 30 dias após a semeadura e por ocasião da colheita após o cultivo com brassicáceas. Braganey - PR, 2011/2012.....	82
Tabela 21	Valores médios de massa fresca e seca, valor relativo em relação à testemunha, nitrogênio e carbono acumulado, relação C/N e adição de húmus esperada (H) da parte aérea das plantas de canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>) e das plantas espontâneas na testemunha (pousio). Braganey - PR, 2011	85
Tabela 22	Produtividade, teor de lipídeos e porcentagem de germinação das sementes das plantas de cobertura canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>). Braganey - PR, 2011	87
Tabela 23	Índice de velocidade de emergência, velocidade de emergência, porcentagem de emergência, estande inicial de plântulas de soja e índice de clorofila de folhas de soja submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>). Braganey - PR, 2011/2012	89
Tabela 24	Teores de macro e micronutrientes presentes nas folhas da soja submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>). Braganey - PR, 2011/2012.....	91
Tabela 25	Produtividade, produção relativa em comparação à testemunha e massa de 100 sementes de soja após o cultivo com plantas de cobertura canola (<i>Brassica napus</i>), nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) e crambe (<i>Crambe abyssinica</i>). Braganey - PR, 2011	92
Tabela 26	Porcentagem de germinação, envelhecimento acelerado e teor de água de sementes de soja colhidas, submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com brassicáceas. Braganey - PR, 2011/2012.....	95
Tabela 27	Coeficientes de correlação entre atributos relacionados as plantas de cobertura e componentes de produção de soja. Braganey - PR, 2011/2012	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação da localização geográfica do município de Braganey, Paraná, Brasil. (Fonte: Adaptação de Google imagens).....	30
Figura 2	Área do experimento via satélite (Fonte: Google Earth 2013) e local do experimento antes da implantação.	31
Figura 3	Esquema de rotação de culturas realizado neste trabalho.....	32
Figura 4	Mesa de tensão com os anéis volumétricos.	33
Figura 5	Mufla (Marca Marconi, modelo MA 385/80) com os cadinhos na determinação do carbono.	34
Figura 6	Frações da matéria orgânica do solo após processo de fracionamento, divididas em fração ácido fúlvico (AF), fração ácido húmico (AH) e fração humina (HU)..	34
Figura 7	Roçagem das plantas de cobertura fabáceas em dezembro de 2010.....	36
Figura 8	Representação da parcela experimental com suas dimensões e delimitação da área útil.....	38
Figura 9	Aspecto das plantas de cobertura brassicáceas (nabo forrageiro, canola e crambe), no momento anterior à roçagem, fase de florescimento. Braganey - PR, 2011.	40
Figura 10	Extrator de lipídeos Soxhlet (Technal) com o balão de extração.....	40
Figura 11	Representação da parcela experimental com suas dimensões e delimitação da área útil.....	41
Figura 12	ClorofiLOG (CFL1030) - medidor eletrônico de teor de clorofila.	42
Figura 13	Representação da avaliação da incidência de plantas invasoras pelo método de lançamento de quadros.	44
Figura 14	Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) mensais nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012 obtidas na Estação Meteorológica do SIMEPAR.	46
Figura 15	Correlação entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MO) após o manejo das plantas de cobertura.....	53
Figura 16	Incidência de espécies invasoras, considerando a soma de todas as avaliações (plantas de cobertura e milho) para o número total de invasoras e picão-preto e valor reduzido em percentual em relação à testemunha. Braganey-PR, 2011...	61
Figura 17	Incidência de espécies invasoras, considerando a soma de todas as avaliações (plantas de cobertura e soja) para o número total de invasoras e picão-preto e valor reduzido em percentual em relação à testemunha.	83

Figura 18	Comportamento da matéria orgânica do solo, em coleta aos 0-0,10 m, antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	98
Figura 19	Soma de bases (SB) do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	99
Figura 20	Valores calculados para saturação por bases (V%) solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	100
Figura 21	Valores de pH antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	101
Figura 22	Carbono total do solo, na coleta de 0-20cm, antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	102
Figura 23	Macroporosidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	103

Figura 24	Microporosidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	103
Figura 25	Porosidade total do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	104
Figura 26	Densidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	105
Figura 27	Substâncias húmicas (soma das frações) da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	106
Figura 28	Fração ácidos fúlvicos da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	107
Figura 29	Fração ácidos húmicos da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.	108

Figura 30 Fração humina da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.108

1 INTRODUÇÃO

Sistemas agrícolas inadequados, intensivos, com monocultura ou sucessão contínua degradam a matéria orgânica e alteram as propriedades do solo, o que desequilibra o sistema agrícola e resulta em menor produtividade, além de ocasionarem e/ ou intensificarem os danos ambientais. Sob esse aspecto, o sistema agrícola mais próximo da sustentabilidade é o plantio direto.

No Estado do Paraná, o plantio direto está difundido, porém, as práticas adequadas foram abandonadas ao longo dos anos e a falta de disciplina no campo para executar o conjunto de técnicas recomendadas, principalmente a rotação de culturas, prejudica o sistema como um todo. Em curto prazo, muitas vezes, a melhor rotação para o sistema não é a mais econômica para o produtor.

O manejo adequado do sistema plantio direto requer o uso de plantas de cobertura em rotação com outras culturas, as quais são viáveis quando se pretende contribuir para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, diminuição da população de plantas invasoras, redução de aplicação de insumos e consequente aumento da produtividade e estabilidade das culturas. A viabilidade do uso de diferentes espécies de plantas de cobertura deve ser compreendida como componente essencial ao desenvolvimento do sistema plantio direto com qualidade, rumo à agricultura sustentável (CALEGARI, 2006).

O maior obstáculo colocado pelos produtores é o fato de as plantas de cobertura concorrerem por área com as de cultivos comerciais e, dessa forma, comprometerem parte da renda. Assim, a rotação de culturas deve incluir diferentes espécies de plantas de cobertura, adaptadas às condições regionais e distribuídas no tempo e no espaço, adequando-se às condições socioeconômicas e interesses do produtor, sendo economicamente viáveis. Franchini *et al.* (2011) afirmaram que é preciso que a assistência técnica e os produtores tratem a rotação de culturas como um investimento na propriedade cujo retorno irá ocorrer a médio e longo prazo.

O comportamento natural da maioria das pessoas é resistir a mudanças, mesmo que apresentem vantagens, o que faz que a maioria dos agricultores se mantenham restritos à produção das culturas amplamente difundidas como o trigo e a aveia para cobertura do solo. Porém, a conjuntura econômica da atual produção de grãos das culturas principais está servindo de estímulo à busca de alternativas por novos cultivos com potencial de geração de renda (TOMM, 2006).

É necessário conhecer e aproveitar as características das plantas de cobertura, a fim de otimizar seu uso e trazer retornos econômico, ambiental e social. Algumas espécies de plantas de cobertura estudadas neste trabalho representam alternativa à adubação verde de inverno, comprometendo a cultura do trigo, realizada na região Oeste do Paraná, com rotação de culturas de plantas ainda não exploradas e outras que ofereçam alternativa de renda ao produtor com a produção de biocombustíveis.

No entanto, as interações entre plantas de cobertura e culturas, principalmente quando se trata do controle de plantas invasoras, tanto por efeitos alelopáticos como efeitos físicos da cobertura, são pouco estudadas. E esse conhecimento pode auxiliar no planejamento adequado da rotação de culturas.

Ainda, a recomendação da espécie usada para inserção em esquema de rotação de culturas deve ser sempre considerada observando-se o histórico da área e as condições edafoclimáticas e fitossanitárias. A otimização da produtividade e lucratividade agrícolas devem ser buscadas, sempre visando à manutenção da biodiversidade e à preservação do ambiente, com contínuo fornecimento de material orgânico ao solo a médio e longo prazos, tornando possível a manutenção ou recuperação de sua fertilidade.

Estudos a respeito do uso da rotação de culturas na região Oeste do Paraná precisam ser ampliados, para que o produtor possa se planejar a médio e longo prazos, melhorar as condições e manter a cobertura do solo e, assim, encarar o sistema plantio direto como um sistema sustentável, com reflexos econômicos positivos para a exploração das culturas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar as vantagens em se estabelecer o esquema de rotação de culturas de forma adequada, visando melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo, nas características agronômicas das culturas e efeito supressor sobre a comunidade invasora, demonstrando as vantagens de se utilizar plantas de cobertura e, assim, incentivar o uso do sistema plantio direto de forma adequada à região Oeste do Paraná, com rotação de culturas com plantas ainda não exploradas.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar alterações químicas: fertilidade e matéria orgânica; e físicas: porosidade e densidade do solo no decorrer do experimento;
- Avaliar a qualidade do resíduo das plantas de cobertura, quantificando fitomassa, C e N;
- Avaliar as características agronômicas de emergência, de nutrição foliar, de produtividade e qualidade de sementes das culturas principais;
- Verificar o comportamento da comunidade invasora em resposta à implantação do sistema de rotação de culturas;
- Gerar e validar informações que contribuam para sustentabilidade do agroecossistema e permitam a incorporação da rotação de culturas nas unidades de produção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Perspectivas do sistema plantio direto no Brasil e no Paraná

Embora a semeadura direta de cultivos seja prática comum em civilizações antigas, como a egípcia e a inca, suas primeiras evidências empíricas, de acordo com dados da Embrapa (2010a), foram feitas em 1943, nos Estados Unidos, por Edward Folkner que evidenciou a inexistência de razão científica para o preparo mecânico do solo e propôs o cultivo mínimo como alternativa. Em 1955, foi lançado um produto que controlava quimicamente as plantas invasoras e, em 1961, foram realizados os primeiros estudos comparativos entre plantio direto e plantio convencional nos EUA. No Brasil, sua utilização data do início da década de 1970, com a importação dos EUA, de uma semeadora de plantio direto, numa ação coordenada pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A partir daí, agricultores dos Estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, em conjunto com associações de produtores e profissionais da área agrícola, deram continuidade às pesquisas, importando e testando os equipamentos.

O interesse dos agricultores residia na possibilidade de revitalizar a atividade agrícola em suas regiões, uma vez que se encontravam em condições impróprias para a continuidade da produção agrícola em decorrência do uso abusivo do solo. Após essas experiências, agricultores, empresas e entidades ligadas ao setor iniciaram um processo de mobilização para viabilizar e difundir o uso desse novo sistema de plantio no Brasil (EMBRAPA, 2010b).

Entre os motivos que suscitaram o uso dessa tecnologia estão as questões concernentes ao desenvolvimento sustentável, pois o sistema plantio direto (SPD) é visto como alternativa para a agricultura sustentável, no que diz respeito à proteção do solo e à melhoria da fertilidade, desde que possa ser adotado sem a utilização de herbicidas, bem como para a redução nos custos de produção. Nesse sentido, puderam ser utilizados diversos instrumentos de políticas públicas e outros diplomas legais disponíveis para apoiar e estimular a expansão do SPD, visando à sustentabilidade do setor (EMBRAPA, 2010b; PLATAFORMA PLANTIO DIRETO, 2010).

Desde então, a agricultura vem sofrendo mudanças bruscas e o produtor procura acompanhar as tendências e evoluções nos campos tecnológico e econômico com renovação de conceitos, cada vez mais sustentáveis, que consideram além de rentabilidade e produtividade, também o ambiente, gerando sustentabilidade agrícola. Ecologicamente sustentável e economicamente viável (MESCHÉDE, 2006; KARAM; OLIVEIRA, 2008; GAMA-RODRIGUES, GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007). A principal técnica relacionada à

sustentabilidade, que mantém a fertilidade e vida do solo, é o plantio direto (MESCHÉDE, 2006).

Franchini *et al.* (2012) avaliaram os efeitos dos sistemas de manejo do solo na região sul do Brasil, na produtividade de grãos de soja, milho e trigo, em 23 anos de experimento. Fundados nos resultados obtidos afirmaram a necessidade de minimizar os distúrbios do solo e diversificar o sistema de cultivo para a sustentabilidade da produção de grãos na região sul do Brasil.

Conforme Muzilli (2006), o manejo do solo sob sistema plantio direto implica a interação de práticas biológico-culturais com práticas mecânico-químicas, pressupondo alguns requisitos, como condicionamento e adequação prévia do terreno para superar problemas de natureza física (compactação) ou química (correção da acidez e fertilidade), antes da implantação do sistema; revolvimento mínimo do solo, apenas nos sulcos ou covas de semeadura; uso diversificado da terra pela rotação de culturas comerciais com plantas de cobertura ou pela integração lavoura-pecuária para formar e manter a cobertura vegetal sobre a superfície; adoção de métodos integrados para controle de plantas invasoras, pragas e doenças, em que o efeito supressivo provocado pelos restos vegetais mantidos em superfície e pela diversificação de culturas irá complementar ou até mesmo substituir processos de controle químico.

A monocultura ou sucessões de cultivos de trigo e soja ou soja e milho safrinha promovem, ao longo do tempo, alterações negativas no processo produtivo, que contribuirão para a diminuição da produtividade, por causarem desequilíbrios no sistema agrícola (GONÇALVES *et al.*, 2007).

Segundo Franchini *et al.* (2009), o modelo de sistema produtivo utilizado principalmente nas regiões Norte e Oeste do Estado do Paraná, baseado na sucessão soja/milho safrinha, tem contribuído para o aumento da vulnerabilidade da agricultura às condições de estresse hídrico. Afirmaram também que o aumento da estabilidade da produção da soja face à ocorrência de períodos de deficiência hídrica requer o uso de sistemas de rotação de culturas que contemplem grande capacidade de produção de fitomassa e sistema radicular abundante e agressivo.

A agricultura como vem sendo efetuada, com tecnologias convencionais de dependência de produtos químicos para alta produtividade e monocultura intensiva, mesmo em plantio direto, está longe do ideal. Rains, Olson e Lewis (2011) afirmaram que estas práticas tornam os agricultores dependentes e com baixa margem de lucro, além do prejuízo ambiental. Destacaram a necessidade das pesquisas se direcionarem a uma gestão agrícola com abordagem holística sobre o agroecossistema, áreas de pesquisas como manejo de pragas, engenharia genética e agricultura de precisão, entre outras, devem buscar tecnologias mais ecológicas e sustentáveis.

Com as evidências do efeito estufa, as mudanças climáticas tendem, em algumas regiões, a diminuir o número de precipitações e aumentar a intensidade, o que trará maiores riscos de erosão e, conseqüentemente, de perdas de solo, água e nutrientes (CALEGARI, 2008). A cobertura do solo evita a ação nociva do impacto das gotas da chuva, propicia o controle de plantas invasoras, a aquisição uniforme de matéria orgânica pelo solo, conserva a umidade e ameniza variações bruscas de temperatura, culminando com maior produtividade, porquanto proporcione melhores condições para o desenvolvimento vegetal (MENEZES; LEANDRO, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2007; FIDELIS *et al.*, 2003). Esta aquisição uniforme ocorre porque a manutenção dos resíduos de plantas na superfície dificulta a ação microbiana, em virtude do menor contato com o solo, resultando numa decomposição mais lenta (PAVINATO; ROSELEM, 2008).

Segundo CALEGARI *et al.* (1992), o efeito alelopático de substâncias fitotóxicas existentes nos resíduos e/ ou produzidos durante a decomposição da cobertura vegetal é um fator a ser considerado no uso dessa prática. A utilização de diferentes espécies é de fundamental importância para o sucesso da exploração agrícola (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No Brasil, 70% da produção de grãos estão baseados no sistema plantio direto. Em ordem decrescente de área agrícola, os países que adotam a técnica são Argentina (55%) e Estados Unidos (21%). Estima-se que o plantio direto esteja presente em mais de 90 milhões de hectares em todo o mundo (AGROSOFT, 2010).

Nos últimos anos, a expansão do SPD no Brasil foi expressiva e a preocupação com a produção de resíduos vegetais por meio de sistemas de rotação de culturas economicamente viáveis para as diversas regiões climáticas do país assume papel fundamental na estabilidade do sistema (PEDROTTI; MÉLLO JUNIOR, 2009).

O plantio direto está difundido no estado do Paraná, porém, as práticas adequadas foram abandonadas ao longo dos anos. Segundo a COOPAVEL (2009), o Governo do Paraná pretende retomar políticas públicas para trabalhar a técnica do plantio direto com mais qualidade. A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado do Paraná afirma que o sistema se expandiu, mas falta disciplina no campo para executar o conjunto de técnicas recomendadas. O que se percebe é uma visão imediatista, principalmente em relação à rotação de culturas, com visão em curto prazo pela situação atual do mercado, prejudicando o sistema como um todo (COOPAVEL, 2009).

A diversidade de espécies de cobertura associada ao sistema plantio direto, sucessão, rotação e consórcio de cultivos condicionam o manejo eficiente do solo para a máxima exploração de seu potencial em propiciar condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos e o estoque de carbono e nitrogênio, inicialmente nas

camadas superiores e, com o tempo de adoção, nas camadas mais profundas do solo (RIBEIRO *et al.*, 2011).

3.2 Rotação de culturas e plantas de cobertura

As plantas de cobertura permitem elaborar um esquema de rotação de culturas, o qual consiste em alternar culturas em sequência regular e lógica. Compreende a distribuição sistemática das culturas a serem implantadas a cada ano, conforme os objetivos a que se destinam (SOUZA; PIRES, 2002). Estes autores afirmaram que o programa de rotação de culturas deve ser elaborado técnica e economicamente, possibilitando a intercalação de culturas comerciais e não-comerciais e a produção de resíduos vegetais para cobertura morta do solo.

A prática de rotação de culturas pode ser importante no controle de pragas, doenças e invasoras, assim como a forma de manejo da fertilidade do solo, pela capacidade de reciclar nutrientes minerais da camada arável e os que tenham lixiviado para horizontes abaixo dela (BORKERT *et al.*, 2003). A rotação de culturas pode ser uma prática agrícola eficiente no controle de plantas invasoras, devido à mudança da pressão de seleção, com alteração dos padrões de distúrbios. A sequência de cultivos reduz o tamanho do banco de sementes, propiciando diferentes modelos de competição, alelopatia e distúrbios no solo (SEVERINO; CHRISTOFFOLETI, 2001a).

A rotação de culturas pode ser feita entre espécies cultivadas ou com o uso de plantas de cobertura ou adubos verdes. A utilização de adubos verdes é alternativa para reduzir o uso de fertilizantes minerais e é considerada boa prática na agricultura (TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008). Ainda, a heterogeneidade promovida pelo uso de diferentes espécies de plantas de cobertura numa determinada área contribui para maior biodiversidade e conseqüentemente cria condições favoráveis ao desenvolvimento de inimigos naturais e maior equilíbrio no meio, quanto aos organismos e quanto aos nutrientes do solo, que culminam com crescimento e produção final das culturas (CALEGARI, 2006).

A adubação verde consiste em semear uma espécie vegetal, cultivada para esta finalidade que, após alcançar seu pleno desenvolvimento vegetativo, será cortada ou acamada, sendo a massa deixada sobre a superfície ou incorporada ao solo, com finalidade de manter ou aumentar seu conteúdo de matéria orgânica, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo o crescimento e o conseqüente rendimento das culturas em sucessão (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000; SOUZA; PIRES, 2002). Malavolta, Pimentel-Gomes e Alcarde (2002) afirmaram que a finalidade dos

adubos verdes é enriquecer o solo com húmus e elementos fertilizantes, principalmente o nitrogênio.

Quando se utilizam plantas que expandem o sistema radicular para horizontes profundos do solo, elas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais e, após o corte dessas plantas, ocorre então a liberação gradual dos nutrientes para a camada superficial através da decomposição dos resíduos, tornando-os disponíveis para cultivos subsequentes (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997; FIDELIS *et al.*, 2003; TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008).

No sistema plantio direto, rotações com plantas de cobertura (ou adubos verdes) são planejadas não somente para proteger a superfície do solo, mas para melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos, mesmo em grandes profundidades, através do efeito das raízes. Esta melhoria no perfil do solo pode aumentar a eficiência de uso da água e fertilizantes. Diferentes rotações, pela exploração de diferentes regiões ou camadas do solo, podem contribuir para evitar a lixiviação, equilibrar os nutrientes do solo, aumentar a fertilidade e melhorar o uso de fertilizante mineral (ROSOLEM; CALONEGO, 2013).

Para que o adubo verde seja utilizado eficientemente, via rotação de culturas, e avaliado quanto à sua economicidade é necessário conhecer seu efeito residual sobre o cultivo comercial (SOUZA; PIRES, 2002). A espécie cultivada para cobertura do solo deve ser compatível com as exigências do sistema agrícola. Existe diversidade de espécies disponíveis para adubos verdes, necessitando-se, portanto, de mais pesquisas visando à seleção destas espécies para cada caso ou região de cultivo (URQUIAGA; ALVES; BOODEY, 2005).

Na escolha das plantas de cobertura é importante considerar as vantagens que podem promover (MEDEIROS; CALEGARI, 2006). Devem ser considerados os fatores climáticos, o solo, o sistema agrícola adotado e a finalidade desta adubação. São adubos verdes em potencial as espécies que apresentarem bom crescimento vegetativo, com material rico em nutrientes, sistema radicular profundo e capacidade de associar-se a fungos micorrízicos e/ ou bactérias diazotróficas (SILVA, 2006). Ainda, no sistema plantio direto, além da quantidade de resíduos, avalia-se a qualidade destes, ou seja, sua capacidade em permanecer protegendo o solo e suprimindo nutrientes à cultura em sucessão (FERREIRA; SCHWARZ; STRECK, 2000).

A técnica de adubação verde tende a ser contemplada em um sistema de produção, em que a sequência das culturas deve ser cuidadosamente determinada, de forma planejada a curto, médio e longo prazos, levando-se em consideração a economicidade, a época de semeadura, os problemas fitossanitários e de plantas invasoras (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). De acordo com Carvalho *et al.* (2004a), a adubação verde é prática em que se procura preservar a qualidade do ambiente sem prescindir de

produtividades elevadas das culturas e do retorno econômico, quando inseridas em sistema de rotação de cultivos adequados (MEDEIROS; CALEGARI, 2006).

De acordo com Almeida (1988), em campos com baixa infestação por invasoras, a escolha adequada das culturas que vão formar a cobertura morta permite conduzir a lavoura sem o uso de herbicidas, contribuindo, dessa forma, para a manutenção de um agroecossistema sustentável. Trezzi e Vidal (2004) afirmaram que a capacidade de supressão de plantas invasoras por culturas de cobertura é bastante conhecida e explorada, embora seja pouco pesquisada a importância relativa dos efeitos físicos e alelopáticos sobre esse fenômeno.

Segundo Penteado (2007), o melhor efeito de supressão de plantas espontâneas é obtido após cortar e deixar as plantas em cobertura, com rolo-faca ou roçadora costal, fazendo-se em seguida a semeadura do cultivo anual.

Plantas fabáceas e não fabáceas são usadas como adubos verdes (TEJADA *et al.*, 2008). As espécies mais utilizadas são as pertencentes à família das gramíneas (*Poaceae*) e das leguminosas (*Fabaceae*). As gramíneas são as que produzem resíduos com maior permanência, quando o objetivo é a manutenção da cobertura do solo; contudo, são das leguminosas os resíduos de maior qualidade e com os melhores resultados, usadas quando o objetivo é a incorporação de resíduos no solo (AMBROSANO *et al.*, 2005; MENEZES; LEANDRO, 2004), mesmo apresentando efeitos físicos menos prolongados (CALEGARI *et al.*, 1992).

Os resíduos de cultivos podem ter efeito seletivo no controle de plantas invasoras por meio da presença física na superfície do solo ou liberação de aleloquímicos (BROWMIK; INDERJIT, 2003). Os autores afirmaram que estes efeitos associados com o uso de plantas de cobertura, alcançaram acima de 95% de controle de algumas espécies invasoras por um período de 30-60 dias.

Demonstrar a alelopatia como estratégia de interferência em cultivos pode ser difícil, porque diferentes mecanismos acontecem simultaneamente, como competição por recursos, imobilização de nutrientes e influência de micro-organismos que operam paralelamente (BROWMIK; INDERJIT, 2003). Weih *et al.* (2008) destacaram a possibilidade de utilizar a atividade alelopática como alternativa à utilização do controle químico para supressão de plantas invasoras no agroecossistema. Assim, o conhecimento desses prováveis efeitos permite seu aproveitamento em sistemas de rotação ou consórcio com culturas, no contexto do manejo integrado de plantas invasoras (ERASMO *et al.*, 2004).

Tokura e Nóbrega (2006) avaliaram o potencial alelopático de cultivos de cobertura vegetal de *Triticum* spp, *Avena strigosa*, *Pennisetum glaucum*, *Raphanus sativus* e *Brassica napus* sobre o desenvolvimento de plantas infestantes. Concluíram que das espécies estudadas, a *Brachiaria plantaginea* foi a que apresentou maior potencial alelopático e a

Chenopodium ambrosioides o menor. As coberturas vegetais que apresentaram melhor controle do total de plantas infestantes presentes na área experimental, incluindo aquelas com reconhecido potencial alelopático, foram: *Avena strigosa*, *Brassica napus*, *Raphanus sativus* e *Pennisetum glaucum*.

Browmik e Inderjit (2003) salientaram que o aumento da produção de compostos alelopáticos será por meio da transgenia, para que a produção de aleloquímicos seja no nível que controle efetivamente as plantas invasoras sem herbicidas ou com o seu uso reduzido. Com a recente sofisticação molecular e ferramentas biotecnológicas, a importância da alelopatia pode ser melhor explorada e entendida no manejo de plantas invasoras.

A quantidade e qualidade dos resíduos vegetais sobre o solo influenciam diretamente a comunidade infestante. Conforme Skora Neto, Passini e Rodrigues (2006), quanto maior a quantidade de resíduos vegetais que formam a cobertura morta, maior a quantidade de aleloquímicos liberada e maior o efeito sobre plantas invasoras. Por esse motivo, os mesmos autores afirmaram que, em sistema plantio direto, a infestação é normalmente menor do que quando se revolve o solo. Ainda, o impacto de práticas agrícolas sobre os atributos biológicos do solo apresenta forte relação com a produção e decomposição dos restos culturais (SILVA *et al.*, 2007). Logo, esse fenômeno pode proporcionar ao pequeno produtor a mudança na sua maneira de se relacionar com a terra e diminuir ou, até mesmo, abolir o uso de defensivos químicos em suas propriedades (SILVA, 2012).

Busca-se manejar os agroecossistemas para que sejam produtivos, competitivos e sustentáveis a longo prazo, assim, faz-se necessário identificar sistemas que consigam integrar e contribuir para maior biodiversidade e diversificação da produção, equilibrando o uso/reciclagem/aproveitamento de nutrientes e/ ou manutenção e recuperação das características do solo (CALEGARI, 2008).

Nesse sentido, a rotação de culturas é prática fundamental para aumentar a estabilidade da produção das culturas face às variações climáticas comumente observadas no Paraná, não só pela melhoria na qualidade do solo e pela produção de cobertura, mas também por proporcionar a diversificação de cultivares e o escalonamento da época de semeadura (FRANCHINI *et al.* 2011). Além disso, segundo os mesmos autores a rotação de culturas reduz os custos de produção, pela racionalização no uso dos insumos e a utilização de diferentes espécies vegetais para produção de grãos e/ ou forragem possibilita, ainda, a diversificação da renda da propriedade, reduzindo o risco mercadológico e climático inerente à produção agropecuária. O desempenho econômico, ambiental e social da agricultura paranaense é bom, mas pode ficar ainda melhor com o adequado planejamento do sistema de produção por meio da rotação de culturas.

Apesar da importância que a adubação verde pode ter nas unidades de produção familiar, frequentemente, não se adota esta prática pela limitação da área física e em função da exploração intensiva das áreas, o que restringe o uso desta prática (MOREIRA *et al.*, 2003). Destaca-se, então, a necessidade do desenvolvimento de técnicas agrícolas mais conservacionistas e sustentáveis para a otimização da produção em pequenas propriedades, viabilizando a permanência do homem no campo (SILVA *et al.*, 2007).

3.3 Plantas de cobertura de primavera/verão

De acordo com Calegari *et al.* (1992), a adubação verde de primavera/verão é a modalidade mais antiga e tradicional de adubação verde. As principais vantagens desse tipo de adubação são a elevada produção de massa verde, o grande aporte de nitrogênio e a proteção do solo durante o período das chuvas de alta intensidade no sul do Brasil.

As plantas de cobertura de verão estudadas neste trabalho são leguminosas, ou seja, plantas pertencentes à família *Fabaceae*. A melhor eficiência na utilização de leguminosas como cobertura vegetal deve-se ao fato destas, em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, fixarem nitrogênio do ar em quantidade suficiente para satisfazer suas necessidades e gerar excedentes para a cultura sucessora. Além disso, possuem relações simbióticas mutualísticas com fungos, originando as micorrizas que proporcionam aumento na área explorada pelas raízes, colaborando para o desenvolvimento de plantas mais resistentes à seca, maior capacidade de nutrição, principalmente de fósforo, nitrogênio e outros elementos essenciais (AMBROSANO *et al.*, 2005). As leguminosas possuem relação carbono/nitrogênio baixa, favorável à decomposição (BAYER; MIELNICZUK; PAVINATO, 1998). Resíduos com baixa relação C/N resultam em incremento na produção de húmus e na adição contínua de resíduos, além da disponibilidade de nitrogênio para culturas posteriores (CALEGARI *et al.*, 1992).

O uso de adubos verdes capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio de forma eficiente pode contribuir para a viabilidade econômica e sustentabilidade dos sistemas de produção (PERIN *et al.*, 2004), porque fixam o nitrogênio que compõe o adubo mais caro e este é aproveitado pela cultura subsequente (SOUZA; PIRES, 2002). Isso acontece na medida em que a fertilidade do solo é preservada e incrementada e há diminuição no uso de fertilizantes.

Borkert *et al.* (2003), em estudos sobre nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo, verificaram que as leguminosas ervilhaca (46,2 kg ha⁻¹), mucuna-preta (66 a 280 kg ha⁻¹), tremoço (30 a 34 kg ha⁻¹) e guandu (43 a 280 kg ha⁻¹) reciclaram grande quantidade de N, além de outros elementos químicos. Os

autores ainda afirmaram que diante das diferenças na quantidade de elementos químicos adicionados ao solo por intermédio das diversas espécies de cobertura do solo, é possível inferir que essas espécies podem ser utilizadas para evitar o esgotamento deste, repondo os nutrientes essenciais extraídos pelas culturas comerciais no processo produtivo.

Também é importante considerar o sistema radicular das leguminosas, o qual alcança grandes profundidades, com capacidade de explorar maior volume do solo e, assim, proporcionar maior reciclagem e distribuição de nutrientes (AMBROSANO *et al.*, 2005). Os mesmos autores ressaltaram que, possuindo raízes profundas, depois de sua decomposição as leguminosas criam galerias e macroporos onde os micro-organismos podem se desenvolver. A época de corte das leguminosas também influencia a decomposição dos resíduos adicionados ao solo. Recomenda-se fazer o corte por ocasião da floração, isso porque essas plantas apresentam a máxima acumulação de nitrogênio nos tecidos, quando o objetivo é fornecer nutrientes para outras culturas (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997).

Favero *et al.* (2001) estudaram o comportamento de adubos verdes e espécies espontâneas, assim como as interações entre suas populações e constataram que quando as leguminosas foram deixadas junto com as espontâneas, houve maior acúmulo de biomassa e maiores conteúdos de nitrogênio e cálcio do que apenas espontâneas.

Também Cereta *et al.* (1994) avaliaram, em experimento de campo realizado em Santa Maria (RS), o fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera, para o milho em sucessão no sistema de cultivo mínimo e convencional e verificaram que as leguminosas disponibilizaram nitrogênio na fase de demanda desse nutriente pelo milho.

É importante, ainda, considerar o custo da utilização de fertilizantes químicos pelo produtor. De acordo com a ANDA (2009), para produção do milho, em 2007, o agricultor investiu 37,9 sacas de milho para adquirir uma tonelada de fertilizante. Em 2008, foram entregues ao produtor em torno de 22.430.000 t de fertilizantes no total (ANDA, 2009). Esses dados ressaltam o alto custo de produção do milho por parte do produtor, destacando a importância da adubação verde no sistema de manejo. De acordo com Malavolta, Pimentel-Gomes e Alcarde (2002), existem casos em que o adubo verde fixou de 150 a 160 kg de nitrogênio por hectare e, levando em consideração apenas a parte aérea, foram fixados cerca de 330 kg ha⁻¹. Assim, em solos sob SPD e com emprego de adubos verdes com leguminosas, a demanda por fertilizantes nitrogenados tende a diminuir ao longo do tempo de sua adoção (SILVA; MENDONÇA, 2007).

As fabáceas permitem, ainda, aproveitamento do fertilizante aplicado. De acordo com Muraoka *et al.* (2002), que estudaram as leguminosas mucuna e crotalaria, os adubos verdes proporcionaram maior uso do nitrogênio aplicado, permitindo eficiência de 79%.

Perin *et al.* (2004), estudando produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio dos adubos verdes crotalária e milheto, em cultivo isolado e consorciado, concluíram que a presença da leguminosa (isolada ou consorciada) aumentou a quantidade de nitrogênio incorporada ao sistema.

Resende *et al.* (2000) afirmaram que para aplicar a adubação verde com plantas leguminosas em escala crescente, nos próximos anos, necessita-se de mais experimentação e, assim, o aparecimento e a demanda crescente por produtos de origem orgânica contribuem para o desenvolvimento de pesquisas num futuro próximo, e, possivelmente, fazer uso da adubação verde em larga escala.

Além disso, as leguminosas comportam-se como más hospedeiras de nematóides. Espíndola, Guerra e Almeida (1997) afirmaram que crotalárias, mucunas e o guandu são algumas das espécies de adubos verdes que apresentam melhores efeitos no controle de nematóides, possivelmente por liberarem substâncias aleloquímicas ou por contribuírem com o equilíbrio da fauna no solo.

Algumas fabáceas, por serem usadas como adubo verde, têm sido objeto de estudo em relação ao controle alelopático de plantas invasoras, podendo se tornar importantes fatores de manejo. Carvalho, Fontanetti e Cançado (2002) estudaram o potencial alelopático de duas leguminosas, feijão-de-porco e mucuna-preta, no controle da tiririca. O experimento foi realizado com extrato aquoso das plantas, em condições de vaso. Os autores concluíram que o extrato aquoso da mucuna-preta reduziu a quantidade de massa verde e matéria seca da parte aérea, da raiz e o índice de velocidade de emergência, além de estabilizar o número de tubérculos da tiririca, caracterizando possível efeito alelopático. Já o extrato aquoso do feijão-de-porco estimulou o crescimento da parte aérea da tiririca e aumentou o índice de velocidade de emergência, caracterizando possível efeito alelopático, porém, benéfico para a tiririca. Estas informações comprovam que o efeito alelopático é espécie-específico (RICE, 1979).

Borkert *et al.* (2003) afirmaram que o guandu é uma das opções para cobertura de solo no verão/outono e pode produzir, em consórcio com o milho, quantidades de massa seca superiores a 2 t ha⁻¹ e, em alguns casos, produz mais de 10 t ha⁻¹, quando cultivado isoladamente em solos férteis e com boas condições climáticas.

O uso de plantas de cobertura pode suprimir plantas invasoras mais rapidamente que em solos com pousio natural (CHIKOYE *et al.*, 2008). Estes autores citaram que experimentos com *Mucuna cochinchinensis* reduziram em cerca de 80% a massa seca de *Imperata cylindrica* nas savanas da África Ocidental. Observaram que *Crotalaria ochroleuca* e *Cajanus cajan* são plantas de cobertura que apresentam efeitos positivos sobre a densidade de invasoras. Espécies estas do mesmo gênero das plantas estudadas neste

trabalho. Penteado (2007) também indicou mucuna e guandu como plantas de cobertura do solo com o objetivo de suprimir plantas invasoras.

Browmik e Inderjit (2003) citaram trabalhos de Khan *et al* (1997), os quais estudaram consórcios, com *Desmodium uncinatum* e milho e *D. intortum* e milho e constataram redução da infestação por *Striga hermonthica* no milho. Este resultado aumentou a produtividade do milho em 7-8 t ha⁻¹ comparado a 4-5 t ha⁻¹ sem o consórcio. Ainda, os autores identificaram o mecanismo de alelopatia, contudo, a fixação de nitrogênio das leguminosas pode ter ajudado as plantas de milho.

Erasmio *et al.* (2004) estudaram oito espécies utilizadas como adubos verdes e verificaram que as espécies *Crotalaria spectabilis*, *Sorghum bicolor*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna aterrima* e *Mucuna pruriens* reduziram significativamente o número e a massa seca da população das plantas invasoras avaliadas, principalmente as duas últimas que são espécies de mucunas. Estes autores afirmaram que o potencial da mucuna é reconhecido devido à sua agressividade como barreira física e ao seu efeito alelopático.

Conforme Ortiz-Ceballos, Frago e Brown (2007), agricultores mexicanos e centro-americanos utilizam a cobertura vegetal da leguminosa *Mucuna pruriens* (mucuna-preta) para reduzir o crescimento de plantas invasoras, melhorar a fertilidade do solo, e reduzir o uso de irrigação e herbicidas em plantio direto. Segundo estes autores, este sistema de cultivo pode manter populações de minhocas nativas.

Alvarenga *et al.* (1995) avaliaram o potencial de leguminosas, usualmente utilizadas como adubos verdes, na recuperação e conservação do solo com características físicas degradadas. Entre as espécies estudadas, o feijão guandu apresentou maior potencial para penetração de raízes no solo, produção de biomassa aérea e imobilização de nutrientes. Os autores ainda concluíram que a habilidade de enraizamento a maiores profundidades mostra, além de maior potencial na absorção de água, também a possibilidade de reciclar nutrientes nas camadas mais profundas.

De acordo com Espíndola, Guerra e Almeida (1997) o cultivo de adubos verdes que apresentam sistema radicular bem desenvolvido, como o guandu, tornam possível o rompimento de camadas compactadas promovidas pelo uso de implementos agrícolas pesados, o que reduz a infiltração de água no solo e, ainda, incrementam nitrogênio. Moreira *et al.* (2003) quantificaram a fixação biológica do feijão guandu e detectaram que 59% do nitrogênio presente na parte aérea derivaram deste processo. Ainda, de acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o feijão guandu anão tem potencialidade de fixar de 41 a 280 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Sileshi *et al.* (2008) estudaram o consórcio entre espécies leguminosas comparadas com a monocultura de milho sobre a riqueza e abundância da macrofauna e minerais do solo e sobre a dinâmica do nitrogênio. As plantas estudadas foram feijão guandu anão,

sesbania e tefrósia. Os autores observaram que a mistura de sesbania e guandu aumentou consistentemente a riqueza da macrofauna do solo e a abundância de minhocas e milípedes (classe Diplopoda), comparada com a monocultura do milho (controle). As leguminosas consorciadas também aumentaram o rendimento de grãos de milho.

Bertin, Andrioli e Centurion (2005) pesquisaram plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. A cultura do milho, em sucessão à crotalária, apresentou maior produção de grãos, quando comparada com o milheto e o feijão de porco.

Em estudos sobre o fornecimento de nitrogênio por leguminosas, na primavera, para o milho, em sucessão, nos sistemas de cultivo mínimo e convencional, Cereta *et al.* (1994) observaram que todas as leguminosas estudadas mostraram-se eficazes como fonte de nitrogênio, proporcionando produtividade superior à vegetação espontânea em até 70%. Entre as espécies pesquisadas, está o feijão guandu anão que contribuiu, em média, com 10,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A mucuna anã (*Mucuna deeringiana* Bort Merr) é considerada adubo verde de verão, porém, apresenta melhor desenvolvimento quando cultivada na primavera/verão. Aproximadamente, aos 80 dias após a semeadura, as plantas atingem o início da frutificação, período em que a fitomassa pode ser incorporada ao solo e produz de 4 a 6 t ha⁻¹ de massa seca (IAC, 2006). De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), a mucuna anã tem potencialidade de fixar de 76 a 282 kg ha⁻¹ de nitrogênio ao solo. É uma leguminosa anual, herbácea, com hábito de crescimento determinado. Desenvolve-se em solos arenosos e argilosos e suporta solos relativamente pobres em fertilidade. A mucuna anã possui quantidade de biomassa inferior às mucunas cinza e preta, porém, pode ser usada intercalada com outras culturas, pois não permite que seus ramos subam na cultura principal (CALEGARI, 1995).

A mucuna é boa candidata a controlar plantas invasoras, a substância química responsável pela fitotoxicidade é L-3,4-dihydroxyphenylalanine (BROWMIK; INDERJIT, 2003). Os autores consideraram que a planta apresenta potencial para ser usada como herbicida natural.

Calegari (2008), estudando a porcentagem de nutrientes na matéria seca, observou que a mucuna anã possui de 2,85 a 3,35% de nitrogênio na matéria seca e o feijão guandu anão possui de 1,02 a 2,04%.

O feijão guandu anão (*Cajanus cajan* L.) tem sistema radicular muito vigoroso e desenvolvido, o que lhe garante boa resistência à seca e boa adaptação a todo tipo de solo, com exceção aos de umidade excessiva. Possui mais de 20% de proteína bruta, produz até 15 t de massa seca por ano e é fixador de nitrogênio do ar. O feijão guandu anão é cultivar de porte reduzido, sendo uma leguminosa semi-perene, rústica, com grande volume de

ramificações e alto poder de rebrota (SEPROTEC, 2007); é adaptado às condições de déficit hídrico e baixa fertilidade do solo (ESPÍNDOLA *et al.*, 2005).

A *Crotalaria juncea* (*Crotalaria juncea* L.) é uma leguminosa anual, caule ereto, usada como melhoradora e recuperadora de solos; contribui para a diminuição de alguns nematóides e pode ser usada em cultivos de entressafra; tem crescimento rápido, competindo e cobrindo as invasoras rapidamente; tem boa capacidade de fixar nitrogênio e promover elevada reciclagem de nutrientes no perfil do solo; apresenta desenvolvimento vegetativo rápido, podendo ser manejada de 45 a 60 dias, de modo a ocupar pequenos intervalos entre as culturas (CALEGARI, 2006).

Sharma e Behera (2010) citaram o uso de *Crotalaria juncea* na adubação verde para economia de nitrogênio, aumento da produtividade e fertilidade do solo. Estudos de Araújo *et al.* (2005), utilizando técnicas isotópicas para avaliar a ciclagem de nitrogênio, observaram que a utilização da *Crotalaria juncea*, como fonte de nitrogênio para trigo, pode ser alternativa para ampliar a conservação do nutriente no sistema solo-planta.

Em estudos de rotação e sucessão com a leguminosa *Crotalaria juncea*, o resultado de produtividade do milho foi de 8.362 kg ha⁻¹, enquanto na sucessão milho/milho a produtividade foi de 6.806 kg ha⁻¹ (PENTEADO, 2007), comprovando as vantagens de utilização de plantas de cobertura.

Segundo Severino e Christoffoleti (2001b), a fitomassa dos adubos verdes, incorporados ao solo ou na sua superfície, reduz as populações de plantas invasoras. Os mesmos autores, em outro trabalho, estudando o banco de sementes de plantas invasoras em solo cultivado com adubos verdes, concluíram que a utilização das leguminosas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Arachis pinto* reduziu significativamente a infestação de plantas invasoras, principalmente de *Brachiaria decubens*, *Panicum maximum* e *Bidens pilosa*, com destaque para *Bidens pilosa* (picão-preto), *Cajanus cajan* (feijão guandu anão) e *Crotalaria juncea* (SEVERINO; CHRISTOFFOLETI, 2001a).

3.4 Plantas de cobertura de inverno

As plantas de cobertura que foram estudadas neste trabalho, da família *Brassicaceae* oferecem alternativa à cultura do trigo, sendo economicamente viáveis, isso porque são plantas oleaginosas promissoras para fabricação de biocombustíveis, a fim de incrementar a matriz de óleos vegetais no Brasil. A produção de biodiesel nacional encontra-se alicerçada em culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno a fim de dar continuidade à produção de biodiesel, além de fazer o papel da rotação de cultura. As espécies escolhidas devem ter propósitos

comerciais e de manutenção ou recuperação do meio ambiente (JASPER, BIAGGIONI; SILVA, 2010).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é uma planta anual da família das *Brassicaceas*, de hábito de crescimento ereto, herbáceo, com intensa ramificação e altura variando entre 1,00 e 1,80 m. Tradicionalmente, é utilizada como adubação verde para fornecimento de resíduos vegetais ao sistema plantio direto, como cobertura do solo e reciclagem de nutrientes. É muito vigorosa, com sistema radicular pivotante e agressivo, o qual promove importantes efeitos físicos no solo, descompactando o solo e permitindo preparo biológico, é capaz de romper camadas de solo extremamente adensadas e/ ou compactadas a profundidades superiores a 2,50 m. Apresenta ainda, características alelopáticas muito acentuadas que lhe possibilitam inibir a emergência e o desenvolvimento de uma série de invasoras indesejáveis (SEPROTEC, 2010; BRASI; DENUCCI; PORTAS, 2010).

A cultura de milho, implantada após a cultura de nabo forrageiro, chega a produzir uma tonelada a mais por hectare, se comparada com áreas deixadas em pousio. É pouco exigente em fertilidade, resistente a solos ácidos e produz de 5 a 10 toneladas de massa seca por hectare. É bastante tolerante à seca e ao frio. Serve como matéria prima para biocombustíveis. Seus grãos, quando esmagados, produzem cerca de 40% de óleo e são uma opção agrícola para fins energéticos. O óleo, comprovadamente, presta-se à produção de biodiesel e, para tanto, já foi testado *in natura* e, pela sua eficiência, tem sido utilizado como combustível alternativo no lugar do óleo diesel (BRASI; DENUCCI; PORTAS, 2010).

Crusciol *et al.* (2005), com o objetivo de avaliar a decomposição e a liberação de macronutrientes de resíduos de nabo forrageiro, avaliaram a persistência do resíduo e a liberação de nutrientes dos resíduos aos 0, 13, 35 e 53 dias após o manejo. O nabo forrageiro produziu, até o estágio de pré-florescimento, elevada quantidade de massa seca da parte aérea em cultivo de inverno (2.938 kg ha^{-1}), acumulando 57,2; 15,3; 85,7; 37,4; 12,5 e $14,0 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente de N, P, K, Ca, Mg e S. No estágio de pré-florescimento apresenta rápida degradação dos resíduos, acarretando liberação de quantidades significativas de macronutrientes.

A canola (*Brassica napus* L.) é planta da família das *Brassicaceas*. Os grãos de canola produzidos no Brasil possuem em torno de 24 a 27% de proteína e de 34 a 40% de óleo. O óleo é um dos mais saudáveis, com elevada quantidade de Ômega-3, vitamina E, gorduras monoinsaturadas e o menor teor de gordura saturada de todos os óleos vegetais. No Brasil, cultiva-se apenas a canola de primavera, da espécie *Brassica napus* L. var. *oleifera*, a qual foi desenvolvida por melhoramento genético convencional de colza. No sul do Brasil, a canola consta entre as melhores alternativas para diversificação de culturas de inverno e geração de renda pela produção de grãos. As pesquisas e o cultivo de canola

iniciaram no Rio Grande do Sul, em 1974, e nos anos 1980, também no Paraná. O biodiesel começa a abrir mercado para essa cultura, isso porque os grãos de canola produzidos no Brasil possuem em torno de 38% de óleo, aproximadamente, o dobro dos 18% da soja (EMBRAPA, 2010a).

A estimativa da área cultivada com canola em 2010, safra 2010/11, foi de 45,9 mil hectares, superior em 45,9% à safra de 2009 com 31 mil hectares plantados. O aumento de área mais significativo ocorreu no Paraná: 89,3%. Este aumento está relacionado ao desestímulo do produtor com a cultura do trigo e a sua busca por outras alternativas (CONAB, 2010).

A maior profundidade do sistema radicular da canola, em relação ao trigo, confere a esta espécie maior capacidade de produção de grãos sob condições de deficiência hídrica. Ao lucro com a produção de grãos de canola são somados os benefícios nos cultivos subsequentes, constatados tanto nas culturas de verão como de inverno (TOMM, 2006).

O crambe (*Crambe abyssinica*) é originário da região do Mar Mediterrâneo e é cultivado em maior escala no México e Estados Unidos. Seu cultivo no Brasil foi iniciado em 1995. Pode ser cultivado como adubação verde, como o nabo forrageiro e a aveia preta, e para a produção de grãos (RURAL, 2010). Contrastando com a rusticidade climática (resistência à seca e ao frio), produz melhor em solos eutróficos ou bem corrigidos e de boa fertilidade (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010).

A cultura foi testada no Mato Grosso do Sul com sucesso para a adubação verde e produção de grãos; surge como planta com grande potencial para a produção de matéria-prima para biodiesel. A produção é apontada entre 1.000 e 1.500 kg ha⁻¹. A grande tolerância à seca, às geadas e a precocidade são as grandes vantagens dessa planta, a qual floresce aos 35 dias e pode ser colhida aos 85/90 dias, com maturação uniforme. Para a semeadura são necessários entre 12 e 15 quilos de sementes por hectare e não exige tratamentos culturais específicos (VEDANA, 2010a). Além disso, pode compor sistemas de rotação de culturas, bem como ser utilizado como cobertura vegetal do solo no período de inverno (JASPER, BIAGGIONI; SILVA, 2010).

A planta tem despertado o interesse dos produtores de soja, porque todo seu cultivo é mecanizado e, principalmente, por ser cultura de inverno (alternativa para a safrinha), cultivada após a colheita da soja, em março/abril, e ter baixo custo de produção com percentual de óleo total entre 26% e 38%. Um dos maiores problemas que a produção de biodiesel vem enfrentando é a falta de matéria-prima (ou matéria prima cara), e o crambe, por ser cultura mecanizada, poderá ser produzido em grande escala e rapidamente, sem grandes investimentos por parte dos produtores rurais, bastando que tenham garantia de venda de sua produção. Despertou pouco interesse para o cultivo como adubo verde, devido à produção de massa seca ser inferior ao nabo forrageiro (VEDANA, 2010a).

O estímulo à produção de biodiesel ajudou a resgatar o interesse pelo crambe, em virtude da sua superioridade em relação à soja e às demais culturas na produção de óleos vegetais e por se adaptar com facilidade ao sistema plantio direto (BAEZ, 2010). Além disso, as características de alta estabilidade e o baixo ponto de fusão do óleo do crambe representam importante vantagem para a cadeia produtiva do biodiesel, pois permite maior flexibilidade para o transporte e armazenamento do produto (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010). Em estudos sobre a estabilidade oxidativa de óleo de crambe e soja, Wazilewski *et al.* (2013) concluíram que o biodiesel de crambe é mais estável do que o biodiesel de soja no final da sua exposição ao estresse térmico.

Segundo Carlsson (2009), o desenvolvimento de pesquisas adicionais é necessário para melhorar a produção de óleo não comestível de crambe, como aumento da produtividade de sementes, rusticidade, protocolo de transformação e engenharia metabólica para transformação em óleo. O mesmo autor destacou o uso da canola na alimentação e como matéria prima fonte para biodiesel. Ainda, ressaltou que o petróleo é fonte finita, assim como causa vários problemas ambientais, necessitando de fontes alternativas e sustentáveis, como plantas produtoras de óleos.

Carvalho *et al.* (2007) estudaram a produtividade do milho, após o cultivo de espécies de cobertura de inverno e observaram que a cobertura de aveia preta + nabo forrageiro proporcionou maior produtividade de grãos de milho que a cobertura com a ervilhaca solteira. Estes resultados demonstram que o uso de plantas de cobertura gera efeitos positivos sobre a cultura comercial.

Gonçalves e Ceretta (1999), em experimento realizado por seis anos, em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, avaliaram o efeito das sucessões das culturas ervilhaca comum (*Vicia sativa*)/milho, tremoço azul (*Lupinus angustifolius*)/milho, ervilha forrageira (*Pisum arvense*)/milho, aveia preta (*Avena strigosa*)/milho e pousio invernal/milho, sobre a dinâmica do carbono. O solo foi manejado sob plantio direto e foram feitas avaliações dos teores de C das plantas de cobertura e dos resíduos vegetais superficiais e do solo, em três profundidades. Os resultados evidenciaram que os sistemas de culturas, sob plantio direto, promoveram acúmulos significativos de carbono orgânico na camada mais superficial do solo (0-2,5 cm). A sucessão tremoço azul/milho destacou-se pela capacidade de promover acúmulo de carbono orgânico no solo.

Estudando consórcios, Giacomini *et al.* (2004) realizaram experimentos no período de 1998 a 2000, num Argissolo Vermelho distrófico arênico, consorciando-se aveia preta (*Avena strigosa*) + ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e aveia preta + nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) em diferentes quantidades de sementes. Avaliaram a produção de matéria seca, bem como o acúmulo de nutrientes do tecido vegetal. Os resultados indicaram que o consórcio de aveia + ervilhaca e de aveia + nabo no outono/inverno proporcionaram maior

produção de biomassa do que o cultivo isolado de cada espécie, pois combinou a elevada capacidade de produção de fitomassa de aveia e nabo com a fixação de N_2 atmosférico da ervilhaca.

Uchino *et al.* (2012) estudaram o efeito das plantas de cobertura centeio e ervilhaca sobre as plantas invasoras nas culturas da soja, do milho e da batata e concluíram que as plantas invasoras podem ser suprimidas de forma eficaz pelas coberturas, sem reduções de produtividade de culturas principais por plantas de cobertura em sistemas de cultivo orgânico.

3.5 Plantas de cobertura e solo

Doran e Parkin (1994) definiram qualidade do solo como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais. A matéria orgânica (MO) tem sido sugerida como indicador-chave da qualidade do solo, considerando sua influência nos demais atributos essenciais para que o solo desempenhe suas funções (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005), isso porque a MO é um dos atributos de solo mais sensíveis às transformações desencadeadas pelos sistemas de manejo (BAYER; BERTOL, 1999). Por esse motivo, deve ser levada em consideração na avaliação do potencial produtivo do solo e na escolha das práticas de manejo a serem empregadas (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2010). Lembrando que, o conteúdo e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) são o reflexo da história social do seu uso e das condições ecológicas de sua formação (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005).

Os fatores uso e manejo do solo são fundamentais na definição do estoque de MOS, visto que representam a ação antrópica sobre o solo. Ao contrário da textura e mineralogia do solo, o uso e o manejo são controlados pelo homem, razão por que, dependendo de suas decisões, o estoque de C pode ser aumentado ou diminuído, promovendo condição de melhoria ou deterioração da qualidade do solo (DICK *et al.*, 2009).

Com o cultivo, ou seja, a perturbação do equilíbrio dinâmico, as condições para oxidação da MO são favorecidas e um novo estado de equilíbrio é alcançado, porém, com menor conteúdo de MO no sistema. O direcionamento do fluxo de energia e de matéria proveniente da fotossíntese para obtenção de produtos agrícolas com valor de mercado provoca uma simplificação do ecossistema, reduzindo, com a monocultura, a diversidade de organismos e suas interrelações. Essa simplificação diminui a qualidade do ambiente (CUNHA *et al.*, 2005). Os sistemas agrícolas em que predominam uso intensivo e inadequado dos recursos naturais, com monocultura ou sucessão contínua, contribuem para

alterações químicas, físicas e biológicas do solo, com degradação da MO e empobrecimento do solo, o que diminui o potencial produtivo das culturas (CALEGARI, 2006).

A manutenção ou recuperação de teores de MO e da capacidade produtiva podem ser alcançados pelo uso de métodos de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo e adição de resíduos vegetais (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005). A rotação de culturas com espécies de raízes agressivas pode permitir a continuidade desse sistema sem interrupções, mesmo quando a compactação superficial de solo ocorre (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004).

Segundo Pavinato e Rosolem (2008), a mudança do sistema convencional para o sistema plantio direto tem desencadeado mudanças nas propriedades do solo, principalmente quanto à disponibilidade de nutrientes e estruturação para o cultivo. Em sistema plantio direto tem-se observado o acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo, pelo não revolvimento do solo e pela deposição de resíduos das culturas na superfície. Os mesmos autores relataram que os ácidos orgânicos provenientes de plantas podem interagir com a fase sólida e ocupar os sítios de absorção de nutrientes, competindo diretamente com eles e aumentando a disponibilidade de nutrientes no solo.

A redução na taxa de decomposição dos materiais orgânicos frescos e húmus em cultivos anuais são obtidos através da redução do revolvimento do solo e adição de material que agregue carbono orgânico ao solo, condições estas favorecidas pelo sistema plantio direto (CALEGARI, 2008).

A adubação verde permite o aporte de quantidades expressivas de fitomassa, possibilitando elevação no teor de MOS ao longo dos anos (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). A adição de resíduos orgânicos, provenientes da parte aérea e raízes dessas plantas, resulta no aumento do teor de MOS e da atividade biológica que, em conjunto com a união mecânica das partículas e agregados do solo proporcionada pelo sistema radicular, resulta no aumento da estabilidade estrutural, conseqüentemente, maior resistência à compactação. Ao mesmo tempo, a MO aumenta a elasticidade da matriz do solo, o que permite a recuperação da porosidade (EMBRAPA, 2008). As plantas de cobertura também podem permitir a recuperação física de solos compactados, originando bioporos através do sistema radicular das plantas (DEBIASI; FRANCHINI; GONÇALVES, 2008).

De acordo com Ramos *et al.* (2008), a deposição de resíduos vegetais sobre o solo ocasiona mudança nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente edáfico e, dependendo da espécie, pode afetar a emergência e o crescimento das plantas. Os efeitos físicos estão relacionados ao aumento da estabilidade dos agregados do solo, elevação dos níveis de infiltração de água etc.; os efeitos químicos, ao aumento dos teores de N, P, K, Ca, Mg e matéria orgânica na superfície do solo, quer pela reciclagem de nutrientes e/ ou

fixação biológica de nitrogênio, diminuição de alumínio tóxico etc.; os efeitos na biologia do solo, incremento na micro e macrofauna e flora, redução da população de fitonematóides (CALEGARI, 2008).

Calegari *et al.* (1992) citaram que a incorporação de resíduos de adubos verdes contribui para a agregação das partículas do solo e para o aumento do diâmetro médio dos agregados, favorecendo a infiltração da água e a aeração do solo. Também pode aumentar a disponibilidade de P no solo com a adição de resíduos vegetais que, no solo, se encontra em concentrações muito baixas na solução, sendo limitante para o crescimento e desenvolvimento de culturas comerciais (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Isto acontece quando, em solos pobres em P, as plantas podem exsudar ácidos orgânicos na rizosfera e estes irão auxiliar na solubilização de fosfato de Fe e Al de baixa solubilidade. A forma de P que se liga a MO é similar a forma com que o P é adsorvido pelos oxihidróxidos de Fe e Al. Assim, sistemas de manejo que privilegiem aporte orgânico contínuo podem aumentar a ciclagem do P e sua disponibilidade para as plantas pelos mecanismos, bloqueando os sítios de adsorção de P dos oxihidróxidos de Fe e Al, competindo com sítios de adsorção da fração mineral pelo P solúvel e, ainda, deslocando parte do P adsorvido pela fração mineral (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Um dos benefícios da adubação verde para o solo diz respeito à fixação biológica de nitrogênio, principalmente quando se usa espécies leguminosas e esta capacidade permite à planta suprir sua demanda por nitrogênio em solos com deficiência desse nutriente, favorecendo seu crescimento e a formação de MOS (CALEGARI *et al.*, 1992; SILVA *et al.*, 2007).

A utilização de adubação verde como prática em rotação de culturas tem sido evidenciada nos últimos anos, visto que o acúmulo de MO em solos agrícolas constitui-se numa importante estratégia para a melhoria da qualidade do solo e do ambiente (BAYER *et al.*, 2003). A MO também é fonte de nutrientes para as culturas, especialmente nitrogênio, fósforo, enxofre e micronutrientes e tem a capacidade de imobilizar micronutrientes e alguns elementos que causam toxicidade nas plantas, como o alumínio (PAULUS; MULLER; BARCELLOS, 2000).

Campos *et al.* (2011) investigaram sistemas de preparo de solo e de rotação de culturas sobre o estoque de carbono, em diversos aspectos. Observaram que o estoque de carbono no solo apresentou relação linear com o aporte anual de carbono, independentemente do sistema de preparo empregado. Esses resultados mostram que a diversificação da rotação de culturas, com a inclusão de plantas de cobertura, é importante estratégia para o sequestro de C-CO₂ atmosférico e melhoria da qualidade da MOS em Latossolos subtropicais intemperizados.

Ao introduzir a biodiversidade com a rotação de culturas, viabiliza-se o sistema plantio direto com equilíbrio das relações de manutenção da produtividade do solo. Em rotação de culturas, quanto maior a diversificação de espécies maior será a quantidade de nutrientes reciclados e disponibilizados para a atividade produtiva econômica (BORKERT *et al.*, 2003).

Em contraste com o processo de degradação da MO ocorre o processo de preservação, com alterações nos resíduos orgânicos, originando compostos coloidais relativamente estáveis, com alto tempo de residência médio, as substâncias húmicas; este processo é chamado de humificação (SILVA; MENDONÇA; 2007).

Estima-se que 80 a 90% da MO de solos minerais seja constituída pelas substâncias húmicas, que são representadas pelas frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU), o remanescente é constituído principalmente por carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, gorduras, ceras e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (MENDONÇA; MATOS, 2005). Praticamente, todos os compostos de carbono gerados na decomposição dos resíduos sofrem processos de ressíntese ou preservação, chamado de humificação, em que ocorre a estabilização do carbono anteriormente encontrado em formas lábeis, contribuindo para fixar esse C no solo e formando um material genericamente conhecido como húmus. Essas substâncias constituem quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, são a fração envolvida na maioria das reações químicas do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2010).

Considerando que as substâncias húmicas constituem o compartimento da MOS de maior reatividade, encontram-se envolvidas na maioria das reações químicas do solo. Por apresentarem alta complexidade química e forte interação com a fração coloidal inorgânica do solo, essas substâncias não são facilmente atacadas por micro-organismos, decompondo-se lentamente e acumulando-se na natureza como MOS (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Em relação ao solo e seu manejo, indica-se a ubiquidade das substâncias húmicas como indicador de qualidade (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005; MIRANDA; CANELLAS; NASCIMENTO, 2007). Isso porque sua formação é decorrente da ação direta de todos os processos ecológicos que ocorrem no solo, implicando a rápida decomposição dos resíduos orgânicos pelos micro e macro-organismos, pela síntese e resíntese bioquímica de novos compostos, e pela sua estabilização química e física, com a fração mineral do solo. A velocidade e a direção desses processos são dirigidas por fatores abióticos (temperatura, pluviosidade, radiação solar, quantidade de íons), bióticos (ecologia de macro e micro-organismos) e pela ação humana e suas práticas sociais. Segundo o mesmo autor, a atividade agrícola afeta principalmente o conteúdo relativo de ácidos

húmicos, e, em menor proporção, os ácidos fúlvicos e huminas (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005).

Melhor entendimento de sua natureza e dos fatores que governam sua estabilização auxiliará na busca de práticas de manejo que contribuam para sua preservação (SILVA; MENDONÇA, 2007). Segundo Cordeiro, Fernandes e Souza (2010), as substâncias húmicas promovem efeitos diretos sobre o crescimento das plantas e apontam a possibilidade de os ácidos húmicos apresentarem atividade hormonal, promotora do crescimento de plantas.

O cultivo de adubos verdes e a manutenção de resíduos na superfície, em sistema de rotação, contribuem para melhorar as condições químicas do solo, por apresentarem concentrações significativas de ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBMM) que são capazes de formar complexos solúveis, estimulando a movimentação de cátions, como Ca e Mg em profundidade e complexos estáveis com Al, o que melhora o ambiente químico para o crescimento radicular (SILVA; MENDONÇA, 2007; AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004).

As plantas de cobertura têm se destacado em função da liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, Ca e Mg e que, dessa forma, além de neutralizarem o Al tóxico, podem aumentar a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado na superfície (AMARAL; ANGHINONI; DESCHAMPS, 2004).

A qualidade do solo é uma combinação de fatores químicos, físicos e biológicos. Sob o ponto de vista do uso agrícola, a estrutura do solo é considerada uma das mais importantes propriedades, sendo fundamental nas relações solo-planta. Quanto mais bem agregado o solo, melhor é a distribuição de poros no perfil e, conseqüentemente, melhor é a percolação da água e troca gasosa com a atmosfera. Esta estruturação do solo pode ser alterada em função do manejo, tanto sob o aspecto físico quanto do ponto de vista químico, além de ser influenciada por mudanças de clima e atividade biológica (PEDROTTI; MÉLLO JUNIOR, 2009).

A densidade do solo, definida como o quociente de sua massa de sólidos por seu volume total, é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros (KLEIN, 2006). A densidade está intimamente relacionada com a estrutura e com a textura, e as alterações na densidade afetam acentuadamente a estruturação do solo, com as implicações dela decorrentes. Em geral, quanto maior a densidade, para solos com texturas semelhantes, mais compacto é o solo, menos definida é a sua estrutura e muito menor o volume do espaço poroso (MEURER, 2007).

A melhoria da estrutura do solo é um dos efeitos mais importantes da decomposição dos restos vegetais. Os micro-organismos, ao transformarem o material orgânico, produzem

substâncias húmicas e mucilaginosas que têm papel relevante na formação e estabilidade de agregados do solo. Os agregados, por sua vez, proporcionam as condições necessárias para a melhoria das relações água/ar do solo. Além disso, permitem aumentos da infiltração, da retenção de água e de nutrientes no solo, desenvolvimento mais adequado de raízes, exploração de maior volume de solo pelo sistema radicular e maior controle da erosão hídrica (HERNANI *et al.*, 1995).

Tejada, Hernandez e Garcia (2008) estudaram os efeitos de trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) e colza (*Brassica napus* L.) e de combinações dessas plantas sobre as propriedades do solo, buscando sua restauração pelo uso de compostos de resíduos de plantas. Concluíram que todos os resíduos de plantas exercem efeitos positivos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Oliveira *et al.* (2005) estudaram as flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal, verificaram no tratamento sem cobertura maior amplitude de variação da temperatura ambiente acima da superfície do solo, registrando menores valores de umidade e maiores temperatura do solo.

Bayer e Bertol (1999) avaliaram os conteúdos de C e N na matéria orgânica total e na sua fração grosseira e as características químicas de um Cambissolo Húmico submetido ao preparo convencional, preparo reduzido e sistema plantio direto, durante nove anos, em Lages - SC. O sistema plantio direto e o preparo reduzido promoveram incrementos de 8,5 e 6,3 t ha⁻¹ de C e 808 e 593 kg ha⁻¹ de N na camada de 0-20 cm do solo, respectivamente, em relação ao preparo convencional. A fração grosseira da matéria orgânica (> 53 mm) foi mais sensível ao sistema de preparo de solo do que a matéria orgânica total com incrementos de C e N: 85 e 45%, respectivamente, no preparo reduzido; 275 e 230%, respectivamente, no sistema plantio direto. Não foi observada limitação química ao desenvolvimento vegetal e à produção das culturas nos três preparos de solo.

3.6 Cultivos: milho e soja

3.6.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae* (antiga *Gramineae*), seu caráter monóico e sua morfologia resultam da supressão, condensação e multiplicação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. O resultado geral da seleção natural e da domesticação foi a produção de uma planta anual, robusta, ereta, com um a quatro metros de altura, arquitetada para produção de grãos (MAGALHÃES, 2002). É uma planta de ciclo diversificado, mas nas condições brasileiras varia de 110 e 180 dias, da semeadura até a

colheita. Seu ciclo de vida compreende as seguintes fases de desenvolvimento: germinação e emergência, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturidade (VIEIRA JUNIOR, 1999).

O milho é cultivado em praticamente todo o território nacional, sendo que 90% da produção concentram-se nas regiões Sul (43%), Sudeste (25%) e Centro - Oeste (22%) (EMBRAPA, 2009). Ressalta-se que apenas 15% da produção nacional de milho se destinam ao consumo humano, isto porque o milho é o principal componente na alimentação de aves, suínos e bovinos (CIB, 2007).

No Brasil, a produção do milho tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de semeadura. Os plantios de verão ou “primeira safra” são realizados na época tradicional. Mais recentemente, tem aumentado a produção obtida na safrinha ou “segunda safra”. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, semeado extemporaneamente. Verifica-se um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, em decorrência da concorrência com a soja, o que tem sido parcialmente compensado pelo aumento da semeadura na safrinha. Embora realizados em condição desfavorável de clima, os plantios da safrinha são conduzidos dentro de sistemas de produção que gradativamente são adaptados a essas condições, o que tem contribuído para elevar os rendimentos das lavouras dessa época (EMBRAPA, 2012b).

A segunda safra de milho pode chegar a 30% do volume total da colheita do grão e começa a abandonar o diminutivo: safrinha já não é apropriado para tamanha representatividade (TERRAVIVA, 2008).

De acordo com a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, o estado é o primeiro no *ranking* brasileiro em produção de milho, com 27,8% do total (PARANÁ, 2008) e o Brasil é o terceiro país em produção no mundo (EMBRAPA, 2012b).

Da forma como a maioria dos produtores está praticando o sistema plantio direto, com alta porcentagem de soja na área cultivada, não gera biomassa suficiente para a sustentabilidade a longo prazo (SÉGUY; BOUZINAC, 2008). Com a rápida expansão do sistema plantio direto no Sul do Brasil, tem aumentado o interesse pela consorciação de plantas de cobertura de solo como fonte de N ao milho em sucessão (GIACOMINI, *et al.*, 2004).

A sucessão milho safrinha/soja também tem contribuído para o aumento da infestação de algumas espécies de plantas invasoras, dentre as quais se destaca a buva (*Conyza* spp.). Portanto, o emprego de sistemas de rotação de culturas que envolvam espécies vegetais (solteiras ou em consórcio) capazes de prover cobertura viva e/ ou morta ao solo, particularmente durante os meses de pico de germinação e emergência de buva, constitui-se em prática efetiva para reduzir os níveis populacionais dessa planta (FRANCHINI *et al.*, 2011).

O milho é importante para compor os sistemas de rotação de culturas, tanto no cultivo de verão, quanto no de segunda safra (FRANCHINI *et al.*, 2011). A cultura dá sustentabilidade para diferentes sistemas de produção, principalmente por meio da rotação de culturas, minimizando possíveis problemas com nematóides de galha, nematóide de cisto e doenças (CIB, 2007).

A importância do milho não está apenas na produção de uma cultura anual, mas em todo o relacionamento que essa cultura tem na produção agropecuária brasileira, tanto no que diz respeito a fatores econômicos quanto a fatores sociais. Pela sua versatilidade de uso, pelos desdobramentos de produção animal e pelo aspecto social, o milho é um dos mais importantes produtos do setor agrícola no Brasil (EMBRAPA, 2008).

Um modelo ideal de exploração agrícola pressupõe a correta utilização da terra sem a degradação do solo e dos demais recursos naturais, por meio da combinação do planejamento agroecológico com o socioeconômico. A reciclagem de nutrientes e o aproveitamento dos restos de culturas como fonte de adubo orgânico são relevantes para o adequado manejo da fertilidade do solo. Deve-se destacar, neste aspecto, que a versatilidade do milho para inclusão em rotação de culturas é grande e que, sendo uma planta de raízes fasciculadas e de alta exigência em nitrogênio, o milho deve ser incluído em rotação com leguminosas (IAPAR, 1991).

O emprego de adubos verdes na cultura do milho pode contribuir para a redução da necessidade de adubação de cobertura, perfazendo economia de 40 a 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

O potencial produtivo da cultura do milho pode chegar a 10 t ha⁻¹ de grãos, por agricultores que adotam tecnologias adequadas. Porém, em geral, o que se observa é cerca de 3,5 t ha⁻¹ de produtividade (CARVALHO *et al.*, 2004b). Os mesmos autores afirmaram que a sucessão de cultivos contribui para manter o equilíbrio dos nutrientes no solo e aumentar sua fertilidade, garantindo melhor produtividade.

A redução do rendimento da cultura, devido à competição estabelecida com plantas invasoras, pode alcançar até 70%, dependendo da espécie, do grau de infestação, do tipo de solo e das condições climáticas, além do estágio fenológico da cultura (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Em experimento conduzido no norte da Grécia, Dhima *et al.* (2009) estudaram os efeitos da cobertura morta de sete plantas aromáticas, incorporadas e utilizadas como adubo verde, sobre o surgimento e crescimento de invasoras e de milho. As espécies usadas foram funcho, anis, manjerição, coentro, salsa, menta, hortelã e orégano, entre outras. Em campo, o surgimento de invasoras foi reduzido de 11 a 83%, em relação à testemunha.

3.6.2 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada atualmente é muito diferente dos ancestrais que lhe deram origem, espécies de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia. Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais, entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da China. Sua importância na dieta alimentar da antiga civilização chinesa era tal, que a soja, juntamente com o trigo, o arroz, o centeio e o milheto, era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época da semeadura e da colheita (EMBRAPA, 2012a).

Apesar de conhecida e explorada no Oriente há mais de cinco mil anos, o Ocidente ignorou seu cultivo até a segunda década do século vinte, quando os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial (primeiro como forrageira e, posteriormente, como grão). Em 1940, no auge do seu cultivo como forrageira, os Estados Unidos atingiram um plantio de cerca de dois milhões de hectares (EMBRAPA, 2012a).

No Brasil, a safra 2010/11 de soja ocupou área de 24,2 milhões de hectares, que alcançou uma produção de 75 milhões de toneladas. Os Estados Unidos, maior produtor mundial do grão, responderam pela produção de 263,7 milhões de toneladas de soja. A produtividade média da soja no Paraná foi de 3.360 kg por hectares (CONAB, 2012a).

O sucesso produtivo e econômico da cultura da soja fez com que o problema da monocultura agravasse de tal forma, que os produtores relutam até mesmo para semear milho na mesma época da implantação da soja. A inclusão, em sistemas de rotação de culturas com a soja, de plantas de cobertura com elevado potencial para produção de fitomassa, com sistema radicular abundante, profundo e agressivo, constitui uma das principais práticas de controle da compactação do solo (DEBIASI; FRANCHINI; GONÇALVES, 2008).

Carvalho *et al.* (2004a) estudaram a cultura da soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo do Centro-Oeste. Entre os adubos verdes estavam o guandu e a mucuna. Os autores concluíram que o cultivo dos adubos verdes na primavera não influencia a produtividade da soja em sucessão.

Em trabalho realizado em vasos contendo amostras de Latossolo vermelho, com camada compactada, foram cultivados aveia preta, guandu, milheto, mucuna-preta, soja, sorgo granífero, tremoço azul e pousio por 37 a 39 dias. Depois, as plantas foram cortadas e os resíduos permaneceram sobre o solo por 40 dias. Após este período, foi cultivado com soja por 28 dias. Observaram que os cultivos anteriores com aveia preta, guandu e milheto favoreceu o crescimento radicular da soja abaixo de camadas compactadas do solo. E o

cultivo anterior com qualquer uma das espécies estudadas beneficiou a produção de matéria seca da parte aérea da soja (SILVA; ROSOLEM, 2002).

A maioria dos trabalhos referentes à produtividade das culturas relacionadas com a utilização de plantas de cobertura e com o sistema plantio direto não relatam resultados e pesquisas com informações sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas nestas condições (NUNES *et al.*, 2007). Lopes *et al.* (2007) observaram os valores da massa de 100 sementes de soja submetidas aos tratamentos com aveia, nabo, ervilhaca, ervilha, milheto, tremoço e pousio; verificaram que as parcelas sob aveia solteira e aveia + milheto e aveia + tremoço foram as que apresentaram os maiores valores.

Brandt *et al.* (2006) obtiveram maior produtividade de soja quando esta foi obtida dos sistemas de rotação de culturas arroz/ sorgo/ arroz/ feijão/ milheto/ soja e soja/ trigo/ soja/ milho/ milheto/soja, principalmente quando comparados com à monocultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área do experimento

O experimento foi realizado em uma propriedade agrícola, localizada na região Oeste do Paraná, no município de Braganey (Figura 1), nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. A área está localizada, geograficamente, nas coordenadas 24°54'08" S de latitude e 53°07'15" W de longitude, com altitude de 643 m (Figura 2). O solo é classificado como Latossolo vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006). O clima é subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1800 mm, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. O município apresenta temperatura média de 20 °C e umidade relativa do ar, em média, de 75% (IAPAR, 1998).

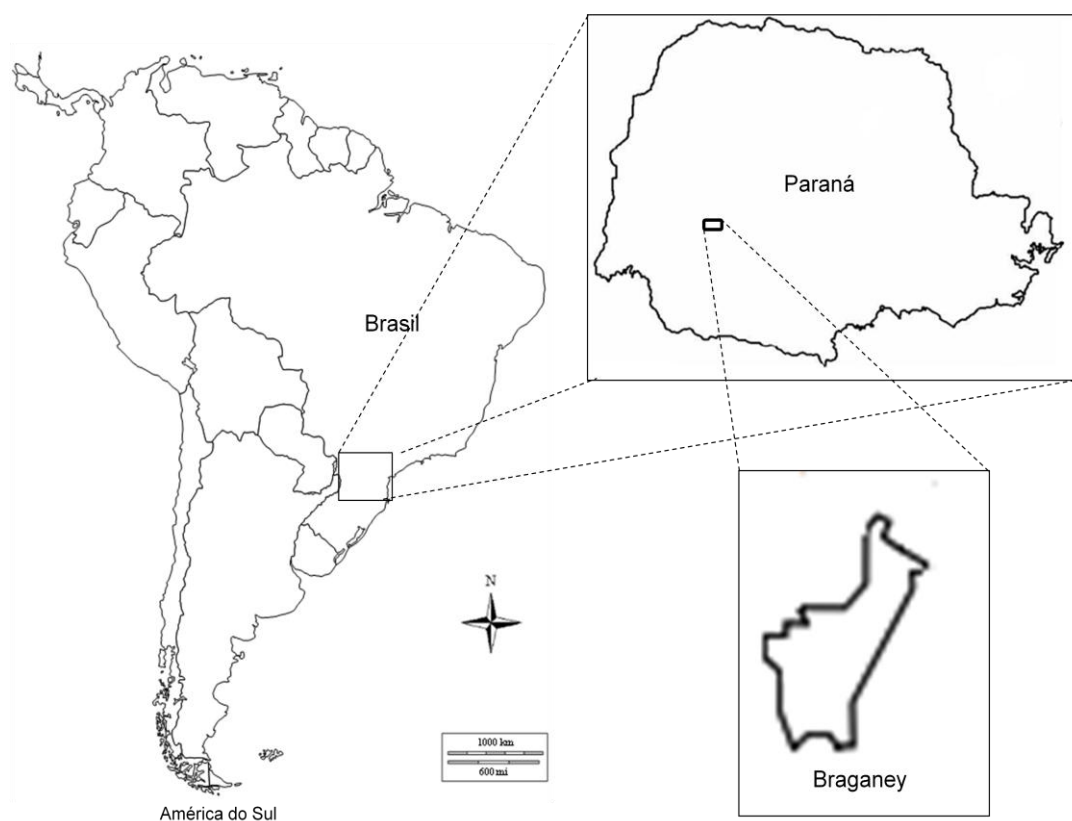


Figura 1 Representação da localização geográfica do município de Braganey, Paraná, Brasil. (Fonte: Adaptação de Google imagens).

4.2 Histórico de utilização

A área do experimento foi cultivada sob sistema plantio direto com sucessão de soja (*Glycine max*) no verão e trigo (*Triticum aestivum*) no inverno por, aproximadamente, dez anos. No experimento realizado no ano agrícola 2007/2008 na mesma área (ROSA, 2008), o solo foi preparado sob cultivo mínimo (uma escarificação + uma gradagem leve), em virtude da compactação que se encontrava e foi realizada a calagem. No intervalo 2008/2010, a área foi cultivada novamente com sucessão trigo/soja. Este experimento foi implantado sobre resíduos culturais de trigo (Figura 2) em sistema plantio direto.

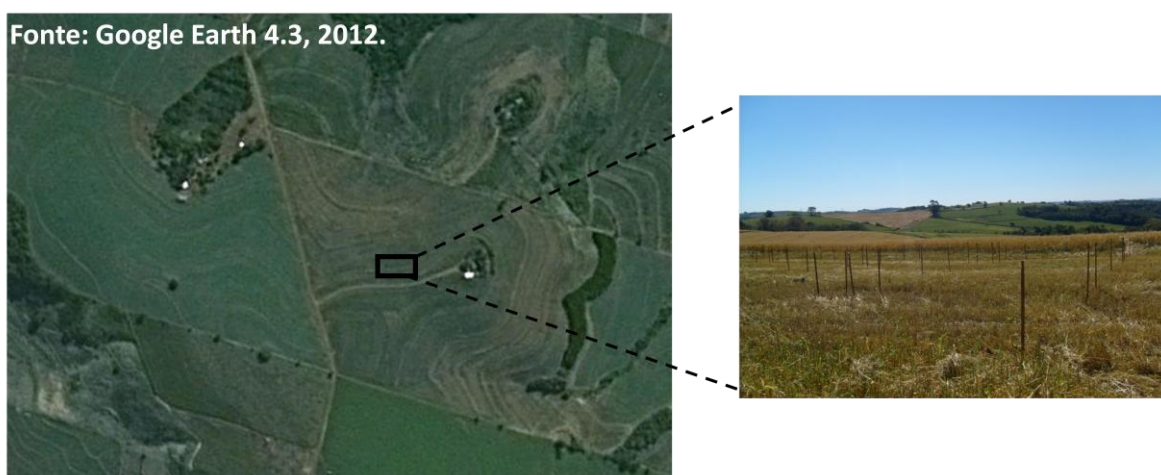


Figura 2 Área do experimento via satélite (Fonte: Google Earth 2013) e local do experimento antes da implantação.

4.3 Rotação de culturas proposta

O esquema de rotação de culturas realizado neste trabalho teve início na primavera, com o cultivo de plantas da família *Fabaceae*, conhecidas popularmente por leguminosas e chamadas neste trabalho pelo sinônimo fabáceas. Sobre os resíduos destas plantas e sob plantio direto foi semeada a cultura do milho, no verão. Após a colheita, foram implantadas espécies de cobertura da família *Brassicaceae*, conhecidas popularmente por crucíferas e chamadas neste trabalho por brassicáceas. E, por último, foi semeada a cultura da soja. Este esquema está representado na Figura 3.

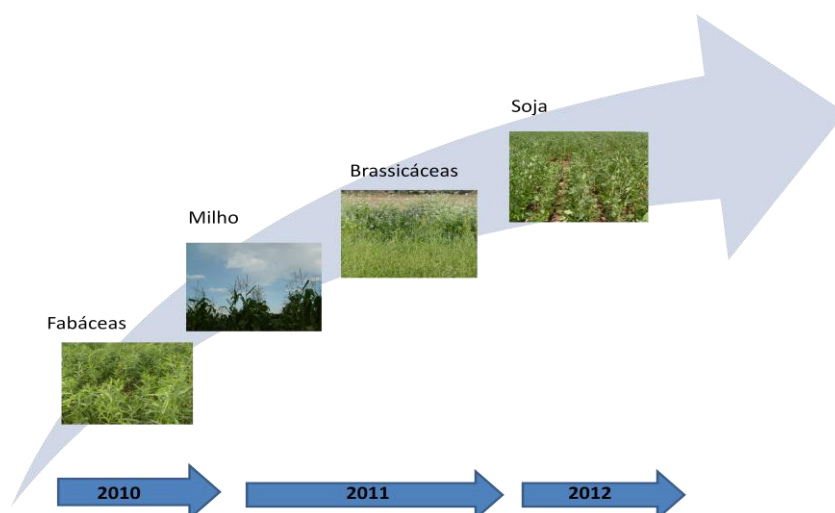


Figura 3 Esquema de rotação de culturas realizado neste trabalho.

4.4 Determinação das propriedades do solo

As propriedades químicas e físicas do solo foram determinadas antes e após o manejo da cobertura vegetal e após as colheitas das culturas de milho e soja. As mesmas análises foram realizadas para os dois cultivos.

4.5 Características químicas e físicas

As amostras, para fim da caracterização química do solo, foram retiradas na profundidade de 0 a 20 cm, uma coleta por parcela, as quais foram misturadas para compor uma amostra composta por tratamento. As análises foram realizadas na Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola - COODETEC.

Para determinação das propriedades físicas foram coletadas amostras indeformadas do solo, com auxílio de anel volumétrico. A densidade do solo foi determinada no mesmo dia da determinação do teor de água, pelo método do anel volumétrico, descrito em Kiehl (1979) e Embrapa (1997). Foram utilizados anéis de aço inoxidável com bordos cortantes, previamente mensurados para obtenção do volume e pesados em balança de precisão 0,01 g. A porosidade total do solo foi determinada, como descrito em Kiehl (1979) e Embrapa (1997), aproveitando-se as amostras coletadas para determinação da densidade do solo. Também foram determinadas a macro e microporosidade do solo. Os macroporos foram determinados em mesa de tensão (Figura 4), aplicando-se tensão de 60 cm, extraíndo-se a água dos macroporos de uma amostra previamente saturada. Os microporos foram determinados pela secagem a 105 °C da amostra, após ser submetida por 24 horas à tensão de 50 cm de água.

As amostragens de solo para a determinação de teor de água, densidade e porosidade foram realizadas na profundidade entre 0 a 0,10 m, sendo cinco repetições por tratamento. A determinação do teor de água do solo foi realizada seguindo a metodologia descrita em Embrapa (1997).



Figura 4 Mesa de tensão com os anéis volumétricos.

4.6 Matéria orgânica do solo

As análises do solo, a seguir, foram determinadas antes da implantação, 15 dias após o corte das plantas de cobertura e por ocasião da colheita da cultura.

O carbono total do solo foi determinado por ignição, através da queima em mufla (Figura 5) à temperatura de 440 ± 5 °C, do material previamente seco em estufa, à temperatura de 105 a 110 °C, de acordo com recomendações da NBR 13600 (ABNT, 1996). Os dados obtidos foram expressos em carbono orgânico total e percentagem de matéria orgânica, multiplicando-se os dados de carbono orgânico do solo por 1,724 (fator de Van Bemmelen), assumindo-se que 58% da matéria orgânica dos solos consistem em carbono orgânico.

As substâncias húmicas - frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU) - foram determinadas nas mesmas ocasiões, segundo metodologia descrita em Benites, Madari e Machado (2003). A extração das frações foi química e o extrator utilizado foi o NaOH. A amostra de terra fina seca ao ar (TFSA) foi pesada, utilizando-se uma amostra de 0,5 g. À amostra foram adicionados 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, com agitação manual, e deixada em repouso por tempo de contato de 24 h. A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi por centrifugação a 5.000 g por 30 min. O sobrenadante foi

recolhido e transferido para um becker e foi feita nova extração no tubo, com adição de NaOH e agitação para resuspensão do precipitado. Este, após 1 hora de repouso, foi centrifugado novamente nas mesmas condições. Após, foi recolhido o sobrenadante e adicionado ao mesmo becker. O resíduo (precipitado) foi recolhido em tubos de digestão e levado à estufa a 65°C até secagem completa para determinação de carbono na forma de humina (Figura 6).



Figura 5 Mufla (Marca Marconi, modelo MA 385/80) com os cadinhos na determinação do carbono.

O extrato alcalino no becker com a fração AH e AF teve seu pH aferido para 0,9-1,1 com solução H_2SO_4 (20%). A solução de AH e AF, após ajustado o pH, foi transferida para outro tubo da centrífuga e decantou por 18 horas, para total precipitação da fração ácidos húmicos, em seguida, foi centrifugada a 5.000 g por 30 min. O AH foi rediluído em solução NaOH 0,1 mol L^{-1} e seu volume aferido para 50 mL. A porção solúvel no extrato acidificado, fração AF, teve o volume aferido para 50 mL, utilizando-se água destilada (Figura 6).



Figura 6 Frações da matéria orgânica do solo após processo de fracionamento, divididas em fração ácido fúlvico (AF), fração ácido húmico (AH) e fração humina (HU).

O carbono das frações foi determinado por titulometria com sulfato ferroso amoniacal. Foram calculadas as relações entre as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH:AF) e a relação entre as frações solúveis no extrato alcalino (AF + AH) e o resíduo (humina), obtendo-se o índice EA:H.

4.7 Determinações durante o cultivo do milho (2010/2011)

4.7.1 Instalação e manejo das culturas de cobertura vegetal

As fabáceas mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) (Tabela 1) foram implantadas na área experimental em setembro de 2010, em parcelas de 4 x 5 m, com espaçamento de um metro entre as parcelas, semeadas sem adubação, sob sistema plantio direto. Foram quatro tratamentos, compostos de três fabáceas e uma testemunha (pousio).

Tabela 1 Caracterização da composição da massa fresca e seca das coberturas vegetais utilizadas (mucuna anã, feijão guandu anão e crotalaria juncea)

Espécie	Nome científico	Massa Verde (t ha ⁻¹)	Massa Seca (t ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
Mucuna anã	<i>Mucuna deeringiana</i> (1)	20 a 30	2 a 4	50 a 100
F. guandu anão	<i>Cajanus cajan</i> (1)	20 a 30	4 a 7	100 a 180
C. juncea	<i>Crotalaria juncea</i> L. (2)	15 a 35	2,5 a 8	36 a 132

Fonte: Piraí sementes (2012); Calegari (2006).

As sementes das plantas de cobertura foram fornecidas pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). A semeadura foi realizada com espaçamento entre linhas de 50 cm e 6-8 sementes por metro para mucuna anã, 18 a 20 para feijão guandu anão e 22 a 27 para crotalaria juncea. No final do estágio vegetativo e início de florescimento, foram recolhidas amostras das plantas para testes em laboratório e o restante foi roçado com roçadora mecânica (Figura 7), de forma que os resíduos vegetais permanecessem sobre a parcela correspondente ao tratamento.



Figura 7 Roçagem das plantas de cobertura fabáceas em dezembro de 2010.

4.7.2 Determinações agronômicas nas plantas de cobertura

Amostras da parte aérea das espécies vegetais foram colhidas para determinação da massa fresca e seca. Uma amostra foi retirada de cada parcela, lançando-se um quadro metálico de 0,25 m², em seguida, as amostras foram reunidas formando uma amostra única, correspondendo a 1 m². A massa fresca foi obtida após o corte e a massa seca após secagem em estufa de circulação de ar a 60 °C por 48 h.

A variação da produção de massa em relação à testemunha foi calculada como indicado em Rosa *et al.* (2011b):

$$\% \Delta = \frac{Tn \cdot 100}{T0} \quad (1)$$

em que:

- %Δ = variação da produção de massa em relação à testemunha;
- Tn = produção de massa no tratamento;
- T0 = produção de massa na testemunha.

A partir dos dados de massa seca das plantas de cobertura, foi calculado o índice H, o qual é a estimativa do teor de húmus adicionado ao solo e representa a manutenção da matéria orgânica do solo, de acordo com Labrador Moreno (1996):

$$H = \frac{ro \cdot MS}{100 \cdot K_1} \quad (2)$$

em que:

- H = quantidade de húmus gerado pelos resíduos adicionados;
- ro = quantidade de resíduo adicionado em kg ha⁻¹;

MS = matéria seca dos resíduos;

K1 = coeficiente isohúmico específico (0,08 para adubo verde).

A relação C/N das amostras foi determinada por meio da moagem dos resíduos, determinando-se os teores de nitrogênio pelos métodos descritos por Tedesco *et al.* (1995) e de carbono por ignição em mufla.

4.7.3 Instalação e análises do milho

O milho foi implantado segundo o esquema de distribuição dos tratamentos já utilizados no experimento anterior com as fabáceas, sendo os tratamentos testemunha/milho (ausência de cobertura vegetal), mucuna anã/milho, feijão guandu anão/milho e crotalaria juncea/milho.

A testemunha recebeu o mesmo manejo que os demais tratamentos, porém a área permaneceu sob pousio (formação de vegetação natural). O milho foi semeado manualmente em janeiro de 2011, sobre os restos vegetais das leguminosas (15 dias após o corte) e na testemunha, nas parcelas demarcadas, sob sistema plantio direto. O espaçamento entre linhas foi de 80 cm com densidade de seis sementes por metro.

A adubação foi realizada com 350 kg ha⁻¹ na semeadura, da fórmula 10-20-20 (N-P₂O₅- K₂O) e 140 kg ha⁻¹, em cobertura, de uréia (60 kg ha⁻¹ de nitrogênio).

A emergência em campo das plântulas de milho foi avaliada diariamente, a partir do 5º dia após a semeadura, estendendo-se até atingir número constante de plântulas. Com esses dados, foi determinada ainda a velocidade de emergência (VE), a porcentagem de emergência (% EM) e o índice de velocidade de emergência (IVE).

A VE foi calculada segundo Edmond e Drapala (1958), os quais consideram que o tratamento que levou menos dias para as plântulas emergirem do solo, foi aquele que apresentou a maior velocidade de emergência, portanto, com menor média de VE:

$$VE = \frac{(N_1 E_1) + (N_2 E_2) + \dots (N_n E_n)}{E_1 + E_2 + \dots E_n} \quad (3)$$

em que:

VE = velocidade de emergência;

$E_1, E_2 \dots E_n$ = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem, (...) até a última contagem;

$N_1, N_2 \dots N_n$ = número de dias após semeadura até a primeira, até a segunda, (...) até a última contagem.

Os resultados foram expressos em número de dias que as plântulas levam para emergir.

O IVE foi calculado conforme indicado por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_N}{N_N} \quad (4)$$

em que:

IVE = índice de velocidade de emergência;

$E_1, E_2 \dots E_N$ = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem, (...) até a última contagem;

$N_1, N_2 \dots N_N$ = número de dias após a semeadura até a primeira, até a segunda, (...) até a última contagem. O resultado foi expresso em plantas por dia.

A colheita do milho foi manual nas linhas centrais de cada parcela (consideradas linhas úteis), respeitando as bordaduras (Figura 8). As espigas foram colhidas, descascadas e levadas a um debulhador manual para retirada das sementes.

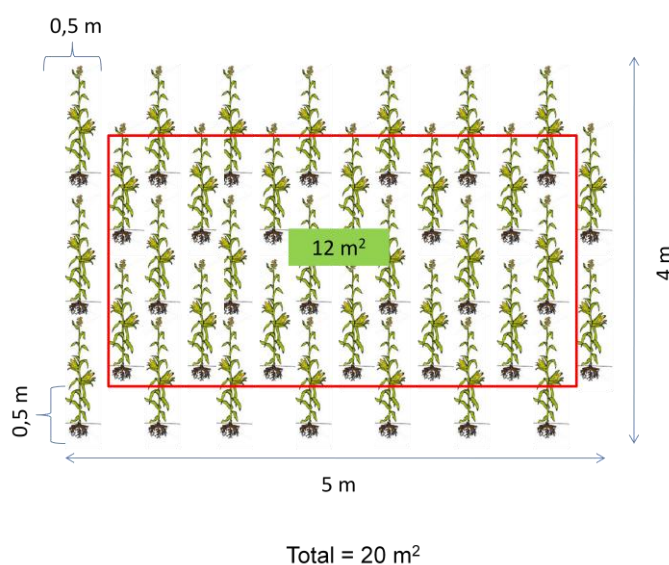


Figura 8 Representação da parcela experimental com suas dimensões e delimitação da área útil.

As sementes foram levadas ao laboratório, para determinação da produtividade, a qual foi ajustada para teor de água de 13%. Foram ainda determinados o teor de água e a qualidade fisiológica das sementes.

4.8 Determinações durante o cultivo da soja (2011/2012)

4.8.1 Instalação e manejo das plantas de cobertura

A canola (*Brassica napus*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e o crambe (*Crambe abyssinica*) (Tabela 2) foram implantados na área experimental em maio/junho de 2011, em parcelas de 4 x 5 m, semeadas sem adubação sob sistema plantio direto. Foram quatro tratamentos, sendo três plantas de cobertura e uma testemunha (pousio). A área em pousio foi a mesma do experimento anterior, nas demais parcelas, foi realizado novo sorteio para implantação dos tratamentos.

As sementes de nabo forrageiro foram fornecidas pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR); As sementes de crambe, cultivar brilhante, foram cedidas pela Fundação MS; e as sementes de Canola Hyola 61, variedade da Embrapa, foram fornecidas pela empresa Insumos Oeste.

A semeadura foi realizada com espaçamento entre linhas de 25 cm, e 20-25 sementes por metro para canola, 25-30 para nabo forrageiro e crambe.

Tabela 2 Caracterização do teor de óleo de grãos e massa seca da parte aérea das plantas de canola, crambe e nabo forrageiro

Espécie	Nome científico	Teor total de óleo (%)	Massa seca (t ha ⁻¹)
Canola	<i>Brassica napus</i> (1)	34 a 40	-
Crambe	<i>Crambe abyssinica</i> (2)	26 e 38	2,5
Nabo forrageiro	<i>Raphanus sativus</i> (3)	40 a 54	3 a 9

Fonte: Embrapa (2010b); Vedana (2010a); Camargo *et al.* (2010) Domingos, Wilhelm e Ramos (2010); Calegari (2006).

No estágio de florescimento (Figura 9), foram recolhidas amostras das plantas para testes em laboratório, foi deixada uma área central de 4 m² para colheita das sementes (até o final do ciclo) e o restante foi roçado com roçadora mecânica, de forma que os resíduos vegetais permanecessem sobre a parcela correspondente ao tratamento. As espécies permaneceram na área até o final de seu ciclo, momento em que foi realizada a colheita das sementes.

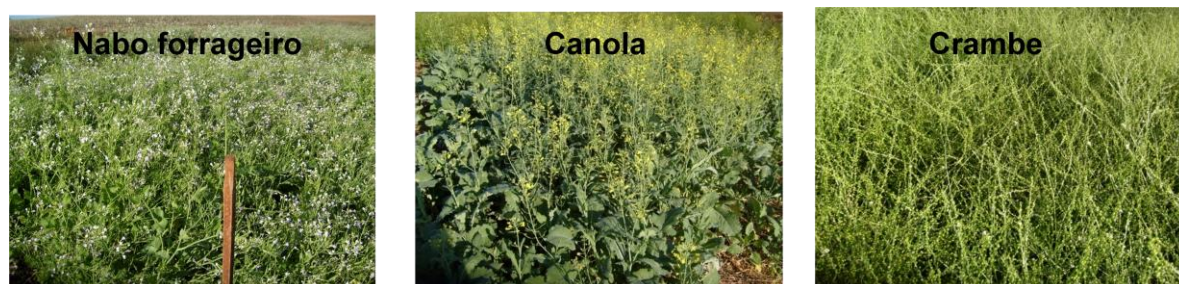


Figura 9 Aspecto das plantas de cobertura brassicáceas (nabo forrageiro, canola e crambe), no momento anterior à roçagem, fase de florescimento. Braganey - PR, 2011.

4.8.2 Determinações agronômicas nas plantas de cobertura

Amostras da parte aérea das espécies vegetais foram colhidas para determinação da massa fresca e seca. Uma amostra foi retirada de cada parcela, lançando-se um quadro metálico de $0,25 \text{ m}^2$, em seguida, as amostras foram reunidas formando uma amostra única, correspondendo a 1 m^2 . A massa seca foi obtida após secagem em estufa de circulação de ar a 60°C por 48 horas. Foram calculados a variação da produção de massa em relação à testemunha, a relação C/N e o índice H, como descrito anteriormente para a cultura do milho.

Nas sementes colhidas foi determinado o teor de lipídios (óleo), através do extrator de Soxhlet (Figura 10), utilizando-se éter de petróleo. Os teores de lipídeos foram obtidos pela diferença de massa dos balões de extração, antes de iniciado o processo de extração e após a secagem em estufa, até massa constante, segundo normas analíticas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Além disso, foi determinada a porcentagem de germinação (BRASIL, 2009).

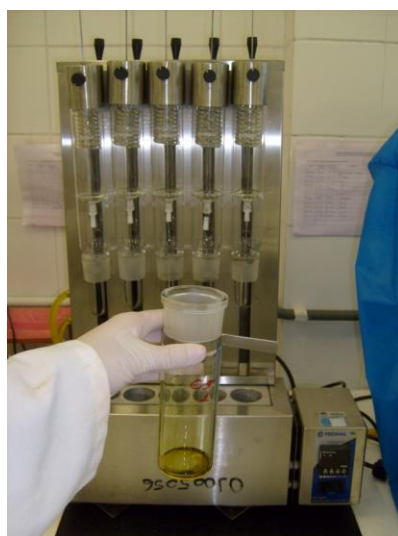


Figura 10 Extrator de lipídeos Soxhlet (Technal) com o balão de extração.

4.8.3 Instalação e análises da cultura da soja

A soja foi implantada segundo o esquema de distribuição dos tratamentos já utilizados em experimento anterior, com as plantas de cobertura canola, crambe e nabo forrageiro.

A testemunha recebeu o mesmo manejo que os demais tratamentos, porém, a área permaneceu sob pousio (formação de vegetação natural). A soja foi semeada em novembro de 2011, com auxílio de semeadora e trator, sobre os restos vegetais das plantas de cobertura, nas parcelas demarcadas, em sistema de semeadura direta. O espaçamento entre linhas foi de 45 cm com densidade de 22 sementes por metro.

A emergência das plântulas de soja em campo foi avaliada diariamente, a partir do 4º dia após a semeadura, até atingir número constante de plântulas. Com esses dados, foram determinadas a velocidade de emergência (VE), a porcentagem de emergência (% EM) e o índice de velocidade de emergência (IVE). A VE e o IVE foram calculados como já descrito para a cultura do milho.

A colheita da soja foi manual, feita nas linhas centrais de cada parcela (consideradas linhas úteis), respeitando-se as bordaduras (Figura 11). As sementes foram levadas ao laboratório, onde foi determinada a produtividade em balança com precisão 0,01 g, ajustada para teor de água de 13%. Também foram determinados o teor de água e a qualidade fisiológica das sementes.

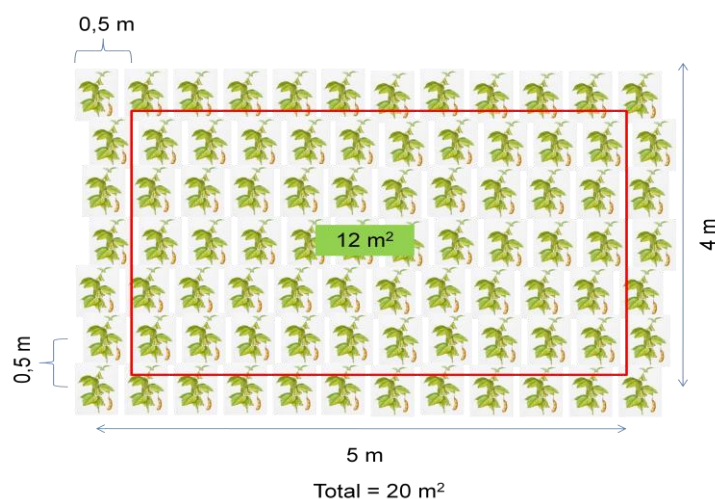


Figura 11 Representação da parcela experimental com suas dimensões e delimitação da área útil.

4.9 Coleta e análise dos índices agronômicos das culturas

As análises descritas a seguir foram realizadas para o milho e a soja.

A análise química foi realizada no estágio de florescimento para ambas as espécies, sendo no estágio R1 para o milho e R2 para soja. Visando avaliar o estado nutricional de cada espécie, com análise da composição mineral das plantas, foram realizadas análises foliares. Foram coletadas 30 folhas por parcela aleatoriamente, correspondendo a 150 folhas por tratamento. Do milho, foi coletado o terço central da folha na base da espiga e da soja o terceiro trifólio. Após a coleta, as amostras de folhas foram colocadas em sacos de papel, identificadas, e levadas para o laboratório, onde foram secas e processadas. No laboratório, a amostra foi rapidamente lavada em solução de detergente neutro 0,1 a 0,3% e enxaguada em água destilada, para descontaminação.

A seguir, as folhas foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa de ventilação forçada, à temperatura de 65 °C por 72 h. Após a secagem, quando todas as reações enzimáticas foram paralisadas, a amostra foi moída e armazenada em frascos de vidro, e digerida por via úmida. Após a mineralização, os nutrientes foram dosados por espectrometria de absorção atômica (FONTES, 2001; EMBRAPA, 2009). O nitrogênio foi determinado por destilação de arraste de vapor (Kjeldahl) seguida de volumetria de neutralização ácido-base (TEDESCO *et al.*, 1995). Os minerais determinados foram N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn.

Na mesma ocasião, foi determinado o índice de clorofila das plantas utilizando-se o clorofilômetro Falker clorofiLOG (Figura 12). O teor de clorofila é proporcional ao nitrogênio absorvido pela planta, assim, medir o teor de clorofila é uma forma indireta de medir a absorção de nitrogênio (FALKER, 2010). Além desse período, o índice de clorofila das plantas foi determinado no estágio vegetativo das plantas, sendo V4/V5 para a soja e V4/V6 para o milho.



Figura 12 ClorofiLOG (CFL1030) - medidor eletrônico de teor de clorofila.

4.10 Determinação da qualidade física e fisiológica das sementes colhidas

Os testes para determinação da qualidade das sementes foram: teor de água, massa de 100 sementes, teste de germinação, teste frio (para milho) e envelhecimento acelerado (para soja), todos seguindo as recomendações prescritas em Brasil (2009), Marcos Filho, Cícero e Silva (1987) e Marcos Filho, Novembre e Chamma (2001).

Teor de água: as sementes foram colocadas em cápsulas de alumínio, duas repetições de, aproximadamente, 5 g de cada parcela, de cada tratamento e levadas à estufa à temperatura de 105°C por 24 h. Logo após, as cápsulas serem retiradas, foram dispostas em dessecador por, aproximadamente, 20 minutos até o resfriamento. Em seguida, as amostras foram pesadas novamente e foi calculado o teor de água de cada repetição. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Massa de 100 sementes: uma amostra, de cada repetição, de cada tratamento, foi retirada da fração de sementes puras para constituir duas repetições de 100 sementes, seguida da pesagem de cada uma delas. Os resultados foram expressos em gramas por 100 sementes.

Teste de germinação: quatro repetições de cada tratamento, de cinquenta sementes da fração de sementes puras, foram dispostas sobre papel germiteste com auxílio de um tabuleiro contador. Os papéis foram pesados e umedecidos com água destilada na quantidade de 2,5 vezes sua massa. Duas folhas de papel germiteste foram colocadas sob as sementes e duas sobre as sementes de milho e uma folha sobre as de soja. Depois disso, os papéis foram enrolados e amarrados com atilho de borracha. As amostras foram identificadas e levadas à BOD, à temperatura de 25 °C por oito dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, anormais, sementes duras e mortas.

Teste frio: a metodologia realizada para o teste de frio foi semelhante à do teste de germinação. Após a formação dos rolos, estes foram levados ao refrigerador à temperatura de 10 °C, por sete dias. Após este período, os rolos foram levados à BOD à temperatura de 25 °C, por quatro dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, anormais e sementes duras ou mortas.

Envelhecimento acelerado (apenas para soja): Uma amostra de 42 g de sementes puras de soja, contendo aproximadamente 250 sementes, de cada parcela, de cada tratamento foi pesada em balança de precisão 0,001 g. Em seguida, as sementes foram distribuídas em caixas plásticas “Gerbox”, adaptadas com uma bandeja de tela de alumínio, contendo 40 mL de água destilada ao fundo. As caixas foram fechadas e armazenadas em câmara de envelhecimento por 48 horas, à temperatura de 41 °C, com umidade interna de,

aproximadamente, 95%. Após esse processo, as sementes foram submetidas ao teste de germinação e avaliadas de acordo com a metodologia já descrita.

4.11 Determinação da incidência de plantas invasoras

As plantas invasoras foram avaliadas durante o cultivo das plantas de cobertura, aos 30 e 60 dias após a semeadura, e durante o ciclo da cultura do milho aos 30 dias após a semeadura; a cultura da soja foi avaliada aos 30 dias após a semeadura e por ocasião da colheita.

O levantamento da incidência de plantas invasoras foi por meio de quatro amostragens aleatórias por parcela, utilizando uma moldura metálica de dimensões de 0,50 x 0,50 m, perfazendo área interna de 0,25 m² - lançamento de quadros (Figura 13). As plantas invasoras encontradas dentro do quadro foram contadas e separadas em folhas larga e estreita, porém, como a incidência de plantas invasoras de folha estreita não foi expressiva, foram apresentados os resultados da soma total.

As plantas invasoras foram identificadas quanto à presença específica de picão-preto, corda de viola e guanxuma na cultura do milho; leiteiro, picão-preto e buva na cultura da soja. Para ambas as culturas, o picão-preto foi predominante.

A porcentagem de redução dos tratamentos em relação à testemunha foi calculada de acordo com o indicado em Rosa *et al.* (2011b):

$$\%RED = 100 - \left(\frac{Tn \cdot 100}{T0} \right) \quad (5)$$

em que:

%RED = porcentagem de redução;

Tn = número de plantas invasoras encontradas na testemunha;

T0 = número de plantas invasoras encontradas no tratamento *n*.

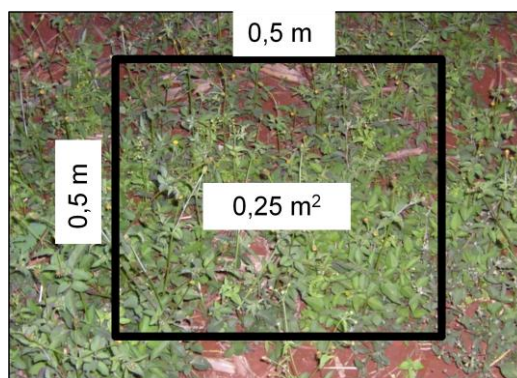


Figura 13 Representação da avaliação da incidência de plantas invasoras pelo método de lançamento de quadros.

4.12 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento, totalizando 20 parcelas. Os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Scott–Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2007).

Antes da realização da análise de variância (ANOVA), foi feita análise descritiva dos dados e a verificação da normalidade dos erros. Para os parâmetros que não apresentaram distribuição normal dos erros, foram feitas as transformações de acordo com Pimentel Gomes (2000) e Banzatto e Kronka (2006).

Algumas variáveis foram submetidas à correlação linear de Pearson e classificadas segundo Callegari-Jacques (2003), como segue:

- se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$, existe fraca correlação linear;
- se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$, existe moderada correlação linear;
- se $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$, existe forte correlação linear;
- se $0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$, existe correlação linear muito forte.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Fatores climáticos

Nos meses que antecederam à semeadura das plantas de cobertura, tanto fabáceas como brassicáceas, ocorreram períodos de baixa pluviosidade. No caso das fabáceas, houve necessidade de irrigação para garantir a germinação e emergência, visto que ocorreu período crítico de déficit hídrico na época da semeadura (Figura 14).

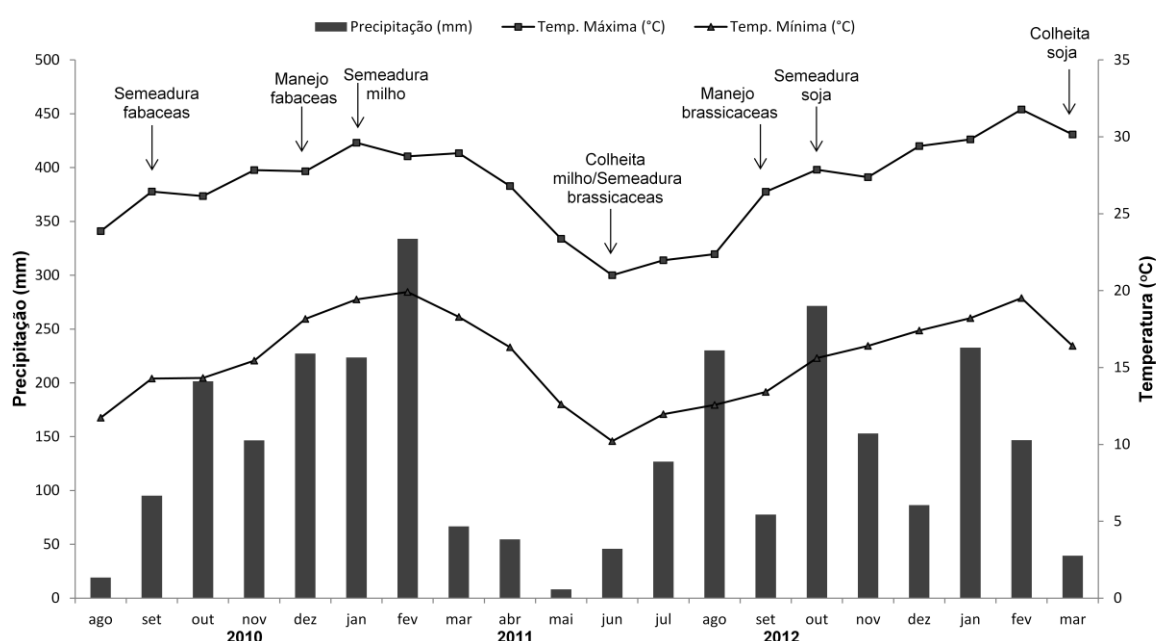


Figura 14 Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) mensais nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012 obtidas na Estação Meteorológica do SIMEPAR.

As brassicáceas sofreram interferência de baixas temperaturas no estágio inicial, no mês de junho, com ocorrência, inclusive de geadas. Neste mês, foram observadas as menores temperaturas no decorrer do experimento. A canola apresentou efeitos de fitotoxidade provocados pela geada, sendo que as plântulas que estavam em contato com os resíduos do milho não sobreviveram e as demais tiveram seu desenvolvimento prejudicado, sendo assim, a canola não expressou seu potencial como planta de cobertura neste trabalho. Crambe e nabo forrageiro não foram afetados por este acontecimento.

No início do ciclo de cultivo do milho, janeiro/fevereiro de 2011, não houve limitações para o desenvolvimento. A partir do mês de março houve redução da pluviosidade. A baixa pluviosidade e temperatura do mês de maio não afetaram a cultura do milho de forma

significativa, visto que, neste período, a planta já estava em estágio de desenvolvimento avançado. Segundo Fancelli (2001), para o milho, as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão. No entanto, o período compreendido entre 15 dias antes (emborrachamento) e 15 dias após o aparecimento da inflorescência masculina (grãos leitosos), é uma fase crítica da cultura, que necessita de um suprimento hídrico satisfatório aliado a temperaturas adequadas (FANCELLI, 2001).

De acordo com Cruz *et al.* (2006), a temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30 °C, média ocorrida neste experimento. Temperaturas elevadas podem causar queda do rendimento que se deve ao curto período de tempo de enchimento de grãos, em virtude da diminuição do ciclo da planta e abaixo de 10 °C, por períodos longos, o crescimento da planta é quase nulo.

Durante o período de desenvolvimento, a soja recebeu fornecimento pluviométrico de aproximadamente 900 mm, inferior ao considerado adequado, sendo que o mais crítico, em dezembro de 2011, compreendeu a fase de florescimento e enchimento de grãos, considerada fase crítica de desenvolvimento da soja (FRANCHINI *et al.*, 2011), o que pode ter prejudicado a produtividade. A água é o principal fator que determina a eficiência nutricional e, conseqüentemente a produtividade das culturas que, em geral, são mais sensíveis às deficiências hídricas no período de uma semana que precede à floração (FAGERIA, 1998).

Após a semeadura da soja, principalmente nos meses de outubro e novembro, ocorreram baixas temperaturas, em média de 15 °C. Bergamin, Cancian e Castro (1999) afirmaram que, para a cultura da soja, temperaturas inferiores a 20 °C retardam a emergência e o desenvolvimento vegetativo, além de afetar a absorção de nutrientes, a translocação, a fotossíntese e a fixação simbiótica de nitrogênio. Ressaltaram que as plantas de soja adaptam-se bem a regiões onde as precipitações médias situam-se entre 700 e 1200 mm, diferente do ocorrido neste trabalho. A escassez de umidade pode reduzir a taxa de crescimento, a fotossíntese, a fixação de nitrogênio e o metabolismo da planta, porém, seus efeitos são mais danosos no florescimento e na frutificação (BERGAMIN; CANCIAN; CASTRO, 1999).

Estas informações comprovam que o ano agrícola 2011/2012 não apresentou condições climáticas ideais para a soja e que a baixa produtividade deste experimento foi resultado destas condições, que atingiram toda a região Sul. Segundo dados da CONAB (2012a), as condições climáticas adversas, caracterizadas por estiagens prolongadas causadas pelo fenômeno *La Niña*, foram responsáveis pelo resultado negativo da safra. Na região Sul, a produção estimada em 18,56 milhões de toneladas foi 35,0% inferior à safra anterior, tendo como causa principal as fortes estiagens verificadas durante todo o ciclo.

5.2 Determinações durante o cultivo do milho

5.2.1 Propriedades físicas e químicas do solo durante o cultivo do milho

Os valores de microporosidade e densidade do solo não variaram estatisticamente entre os tratamentos estudados (Tabela 3). Embora o aumento nos poros seja esperado quando se utiliza manejo com plantas de cobertura, de acordo com Reinert *et al.* (2008), os poros biológicos representam menos de 3% do volume do solo e sua formação reduz pouco a densidade, porém, com efeito importante nos fluxos de ar e água no perfil, muitas vezes não detectados por métodos tradicionais.

Tabela 3 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total, densidade do solo e teor de água antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Macro	Micro	P T	Densidade	Teor de água
	Antes da implantação				---g g ⁻¹ ---
	-----cm ³ cm ⁻³ -----			---g cm ³ ---	
Testemunha	0,213	0,545	0,758	1,093	0,281
Mucuna anã	0,222	0,507	0,727	1,135	0,315
F. guandu anão	0,188	0,563	0,752	1,222	0,282
C. juncea	0,225	0,490	0,735	1,163	0,271
Média Geral	0,212	0,526	0,743	1,153	0,287
CV	11,73	17,44	13,29	6,51	19,32
Valor de F	0,11 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,10 ^{ns}	2,61 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Após o manejo das fabáceas					
Testemunha	0,225 b	0,370	0,595 b	1,094	0,187
Mucuna anã	0,309 a	0,393	0,703 a	1,095	0,139
F. guandu anão	0,301 a	0,388	0,690 a	1,111	0,192
C. juncea	0,297 a	0,379	0,677 a	1,088	0,230
Média Geral	0,283	0,382	0,666	1,097	0,187
CV	14,12	7,15	5,37	5,60	35,84
Valor de F	4,79*	0,71 ^{ns}	9,15*	0,13 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Após a cultura do milho					
Testemunha	0,213	0,517	0,738	1,167	0,442 b
Mucuna anã	0,219	0,507	0,726	1,186	0,462 a
F. guandu anão	0,211	0,516	0,733	1,164	0,468 a
C. juncea	0,227	0,510	0,737	1,129	0,468 a
Média Geral	0,217	0,513	0,733	1,161	0,46
CV	9,41	5,85	4,31	5,83	3,31
Valor de F	0,61 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,61 ^{ns}	3,26*

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. Dados que não apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro Wilk foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$. CV= Coeficiente de variação. PT = porosidade total. Macro = macroporosidade; micro = microporosidade.

No início deste experimento não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos (Tabela 3). Entretanto, após o manejo, houve alteração no diâmetro dos poros, sendo que as parcelas cultivadas com plantas de cobertura apresentaram aumento no valor para macroporosidade e porosidade total. Neste período, os tratamentos com as plantas de cobertura crotalária juncea, mucuna anã e feijão guandu anão apresentaram aumento de 32, 37 e 60,1% na macroporosidade do solo, respectivamente, em relação à testemunha. Com destaque ao tratamento com feijão guandu anão que apresentou aumento de 60,1% na macroporosidade do solo, se comparado ao momento anterior à implantação do experimento, enquanto a testemunha apresentou 5,6% de macroporosidade.

É importante considerar que o sistema radicular das fabáceas, o qual alcança grandes profundidades, possui capacidade de explorar maior volume do solo e permite a recuperação física de solos compactados, originando bioporos por meio do sistema radicular das plantas (EMBRAPA, 2008; AMBROSANO *et al.*, 2005). Esses resultados indicam que práticas com manutenção da cobertura do solo, alteram as características do solo e podem reduzir a erosão e o processo de degradação (TORMENA *et al.*, 2002).

Foloni, Lima e Bull. (2006), em estudos no cerrado, observaram que a crotalária apresentou maior potencial de formação de bioporos em camadas compactadas que o guandu e, assim, de melhorar as condições físicas do solo. Neste trabalho não houve diferença entre as plantas de cobertura.

Para Klein (2006), outro aspecto a ser considerado é que a densidade do solo não foi fator limitante da produtividade neste sistema de manejo, em nenhum dos tratamentos e períodos, visto que os valores variaram de 1,065 a 1,226 g cm⁻³, portanto, inferior a 1,30 g cm⁻³, considerado limitante para as plantas. Os valores de macroporosidade do solo também foram acima do que é considerado limitante para o milho, que é de 0,10 cm³ cm⁻³, considerado porosidade mínima para trocas gasosas e líquidas entre o ambiente externo e o solo. Silva, Imhoff e Kay (2004) também destacam que, em valores inferiores, o crescimento de plantas de milho é fortemente reduzido.

Em estudos sobre atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra, Souza Neto *et al.* (2008) observaram que as plantas de cobertura, entre elas a crotalária, utilizadas em sistema de plantio direto apresentaram maior estabilidade de agregados e maior densidade do solo em relação ao pousio. Porém, neste trabalho a densidade do solo não foi alterada.

Também Pereira *et al.* (2010), em trabalho com plantio convencional e sistema de semeadura direta com as seguintes plantas de cobertura: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.) Leake e lab lab (*Dolichos lablab* L.), observaram que a *C. juncea* proporcionou menor densidade do solo, semelhante à apresentada pelo cultivo

convencional. Argenton *et al.* (2005) estudaram a introdução de plantas de cobertura intercaladas ao milho e concluíram que essa prática demonstrou ser benéfica para as propriedades relacionadas à estrutura do solo. Dentre as espécies utilizadas, a mucuna cinza, no sistema de preparo reduzido, proporcionou resultados promissores, visto que aumentou a macroporosidade, a porosidade total e a condutividade hidráulica saturada e reduziu a densidade do solo, quando comparada com o sistema milho isolado.

Andrade, Stone e Silveira (2009), em trabalho com culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto, semelhante ao presente estudo, encontraram alteração na macroporosidade, sendo que o guandu apresentou valor superior às demais plantas de cobertura. Microporosidade, porosidade total e densidade do solo não foram afetadas pelo sistema de manejo. Costa *et al.* (2011), em estudo com rotações e adubações, verificaram que a rotação de culturas promoveu redução na densidade e resistência mecânica do solo à penetração e elevação na macroporosidade e porosidade total.

Após a colheita do milho, a diferença observada foi no teor de água do solo, sendo que a testemunha apresentou menor valor. Este fato pode estar relacionado à adição de matéria orgânica, a qual aumenta a capacidade de retenção de água no solo, isso ocorre, principalmente, porque a fração apresentada pelo húmus e pela matéria orgânica pode reter de quatro a seis vezes mais água que seu próprio peso, e, como resultado prático, pode diminuir a erosão (MIYASAKA *et al.*, 2008). Além disso, pelo fato de o teor e a composição da matéria orgânica do solo influenciarem na estrutura e propriedades adsorptivas do solo, a retenção de água também é alterada quando ocorrem mudanças na MOS com as práticas de manejo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Resultados semelhantes foram encontrados na análise química do solo, em que maiores alterações foram observadas após o manejo com as plantas de cobertura (Tabela 4).

Neste caso, observou-se maior conteúdo de C e maior valor de V% nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura. Verificaram-se, também, maiores valores de cátions (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e menor valor de acidez potencial (H^+ + Al^{3+}), com reflexo no menor valor de pH encontrado na testemunha. Segundo Sarmiento *et al.* (2008), quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico etc.) há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH.

Aumentos significativos de pH, SB e V% são reflexos da produção de resíduos e consequentemente de maior produção de ácidos orgânicos na decomposição destes (ANDREOTTI *et al.*, 2008). Além disso, resíduos de adubos verdes, em geral, apresentam alta quantidade de cátions em seus tecidos, relacionada à capacidade dos resíduos vegetais

de neutralizar a acidez do solo. Franchini *et al.* (1999) relataram que as principais alterações químicas na camada de 0 a 20 cm de profundidade são elevações do pH e do teor de Ca em detrimento do Al. Essa ação é atribuída à formação de fulvatos de Ca, resultantes de um estágio avançado de decomposição do material orgânico, contudo, compostos orgânicos de baixo peso molecular são as formas predominantes no período inicial de decomposição de resíduos vegetais e sua reação no solo é caracterizada pela rapidez e curta duração, concentrando-se nas duas primeiras semanas após a aplicação dos resíduos (FRANCHINI, *et al.*, 1999).

Tabela 4 Análise química do solo antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Antes da implantação													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	17	0,4	4,2	2,1	4,9	6,7	11,6	7,6	3,5	40	130	17,0	5,1	58
M. anã	17	0,3	4,2	2,6	4,6	7,2	11,8	5,4	2,7	48	121	16,4	5,3	61
F. anão	17	0,4	4,6	2,2	4,9	5,9	12,3	41	4,2	41	137	14,3	5,2	59
C. juncea	17	0,4	4,3	2,0	4,9	6,8	11,8	19	4,8	40	100	15,5	5,2	58
Tratamento	Após o manejo													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	21	0,8	6,0	2,4	4,2	9,3	13,6	19	4,8	13	176	11,2	5,5	68
M. anã	24	1,1	6,2	2,9	3,6	10,3	14,0	29	3,9	19	173	9,5	5,7	73
F. anão	23	1,1	6,3	2,7	3,4	10,2	13,6	18	4,2	19	176	9,9	5,8	75
C. juncea	26	1,1	7,2	2,9	3,6	11,3	15,0	22	4,2	20	226	11,7	5,7	75
Tratamento	Após a cultura do milho													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	19	0,4	5,4	1,9	4,9	7,8	12,8	9,6	2,7	23	113	13,5	5,2	61
M. anã	17	0,4	4,5	1,7	4,9	6,7	11,6	14,0	2,7	26	96	13,5	5,1	58
F. anão	19	0,4	5,1	2,1	4,6	7,6	12,2	12,3	1,5	35	130	15,5	5,2	62
C. juncea	16	0,4	3,8	1,7	5,3	6,0	11,3	5,8	2,3	28	75	14,9	5,0	53

Nota: Análise realizada no laboratório de solos da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC).

O período posterior ao manejo das plantas de cobertura foi o único em que a faixa de pH esteve ideal para maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, entre 5,5 e 6,5 (RAIJ, 2011). As variações de pH podem estar relacionadas às alterações das substâncias húmicas do solo. Neste trabalho, houve aumento do teor de carbono, da soma das substâncias húmicas e aumento do pH, após o manejo das plantas de cobertura. Esta relação se deve às propriedades acídicas das cadeias orgânicas das substâncias húmicas,

conferidas pelos seus grupos funcionais, principalmente grupamentos carboxílicos e fenólicos. Visto que grande parte dos grupamentos carboxílicos se dissocia para ânion carboxilato, nos valores de pH encontrados na maioria dos solos ácidos (pH 5 e 7), espera-se que tenham carga líquida negativa nos solos, influenciando a CTC do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; RAIJ, 2011).

Após a colheita do milho, os valores da análise química do solo apresentaram-se semelhantes. Este fato pode estar relacionado às alterações no ambiente edáfico causadas pelo seu cultivo, como a absorção de nutrientes pela planta de milho. Em relação ao período anterior, houve redução do pH e V%, e aumento da acidez potencial. Algumas fabáceas podem aumentar a acidificação do solo através dos ciclos do carbono e do nitrogênio (BURLE; MIELNICZUC; FOCCHI, 1997). Além disso, a massa verde das plantas de cobertura está continuamente sendo decomposta pelos micro-organismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água, formando ácido carbônico, o qual, por sua vez, reage com os carbonatos de cálcio e magnésio no solo para formar os bicarbonatos solúveis, que são lixiviados, deixando o solo ácido (LOPES, 1995).

Outro fator a ser considerado é a redução do teor de Fe após o manejo das plantas de cobertura e após a colheita do milho, em relação ao período inicial, a qual pode estar relacionada à adição de matéria orgânica ao solo que, por sua vez, é capaz de formar complexos orgânicos com o Fe. Dechen e Nachtigall (2006) destacaram que este pode ser fortemente adsorvido pelos colóides do solo, formando complexos com ácidos húmicos e colóides orgânicos. Embora o micronutriente Fe seja o que se encontre em maiores quantidades no solo, geralmente, em quantidade suficiente para as culturas, determinados fatores, como a quantidade de fosfatos, cobre, manganês, zinco e níquel, em solos ácidos podem induzir a deficiência de ferro nas plantas (KIEHL, 2010). Neste caso, houve excesso de manganês, considerado alto acima de 5 mg dm^{-3} por Raji (2011).

Os resultados semelhantes encontrados na parcela com testemunha estão relacionados ao fato de que, neste tratamento também houve adição de material vegetal pelas plantas espontâneas ou a efeitos do ambiente.

Observou-se, também, aumento da CTC do solo. De acordo com Ferreira, Tavares Filho e Ferreira (2010), a ocorrência de sítios negativamente carregados responde à habilidade de a MO reter cátions no complexo sortivo do solo, cuja contribuição pode atingir até 80% da CTC do solo. Ainda, ao promover o aumento da CTC-dependente de pH, a matéria orgânica beneficia a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K), mediante trocas com o H^+ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases no complexo coloidal (MUZZILI, 2012).

Observa-se que as variáveis CTC e MO do solo estão fortemente correlacionadas (Figura 15), visto que o valor de R é igual a 0,96 e a correlação é polinomial, demonstrando ser a matéria orgânica um contribuinte importante para a CTC desse solo.

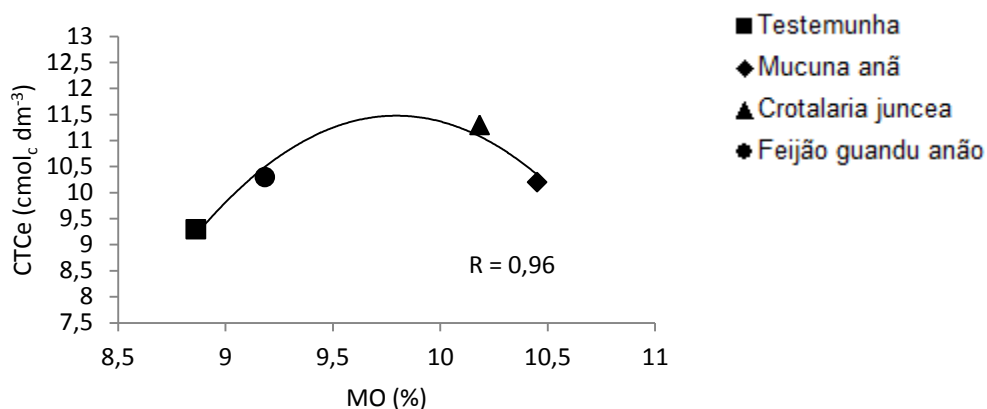


Figura 15 Correlação entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MO) após o manejo das plantas de cobertura.

Alleoni *et al.* (2009) relataram existência de correlação significativa entre CTC e MO. Isso acontece porque a matéria orgânica é adsorvida à caulinita e aos óxidos de ferro, essa interação resulta na diminuição das cargas positivas, aumentando, dessa forma, a capacidade de troca de cátions (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2010). A MO contribui com 20-90% da CTC das camadas superficiais de solos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007).

As cargas negativas geradas na superfície da MO, pela dissociação dos grupos funcionais (principalmente os carboxílicos - COOH), são balanceadas por cátions que se encontram na solução do solo. A ligação entre os cátions e a superfície orgânica é reversível (não é específica), pois envolve interações de natureza eletrostática que são relativamente fracas (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2010). Dessa forma, de acordo com os autores acima, um determinado íon, que se encontra retido na MOS, pode ser trocado estequiometricamente por outro. Assim, diversos cátions essenciais à nutrição das plantas podem estar prontamente disponíveis, devido à facilidade com que são liberados para a solução do solo.

Burle, Mielniczuc e Focchi (1997) encontraram resultados favoráveis em relação ao efeito do guandu na CTC do solo e correlação entre carbono orgânico e CTC do solo.

Na análise do conteúdo de MO e teor de C do solo na coleta a 0,10 m (Tabela 5) não se observou diferença estatística entre os tratamentos nos períodos avaliados. Deve-se considerar que o aumento no teor de MO ocorre de maneira gradual e seus benefícios são visualizados ao longo dos anos (LOPES *et al.*, 2004).

O carbono total do solo e a matéria orgânica do solo (MOS) não foram afetados pelo sistema de rotação empregado nos períodos de análise (Tabela 5). Este fato pode ser atribuído à rápida decomposição dos restos vegetais nas condições de clima quente e chuvoso (SOUZA NETO *et al.*, 2008), o que diminui os efeitos diferenciais das plantas de cobertura no aumento da MOS. Além disso, Zotarelli *et al.* (2012) sugerem que a manutenção dos resíduos em sistema plantio direto tem como consequência evitar a perda de C do solo, em vez de aumentar os estoques, necessariamente.

Assim como neste trabalho, Nascimento *et al.* (2005), em estudos com plantas de cobertura, entre elas as fabáceas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Stylozobium*, em Luvisolo, constataram que o emprego das fabáceas, em relação à testemunha, mantiveram inalterados o carbono orgânico do solo, a densidade do solo e a porosidade total, entre outros fatores. No presente estudo, apenas porosidade total apresentou comportamento distinto após o manejo das plantas de cobertura (Tabela 4).

Tabela 5 Matéria orgânica (MO) e teor de carbono total (C) do solo antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Antes da implantação		Após o manejo		Após colheita milho	
	MO	C	MO	C	MO	C
	---%---	--g kg ⁻¹ --	---%---	--g kg ⁻¹ --	---%---	--g kg ⁻¹ --
Testemunha	10,61	61,74	8,85	51,51	9,41	54,72
Mucuna anã	10,15	59,03	9,17	53,38	10,44	60,73
F. guandu anão	10,86	63,21	10,44	60,76	10,06	58,55
Crotalaria juncea	10,61	61,73	10,17	59,19	11,63	67,68
Média geral	10,90	63,43	9,66	56,21	10,38	60,42
Coef. variação	16,08	16,08	11,50	11,49	20,02	20,00
Valor de F	0,59 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,60 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

O fato de algumas características analisadas como MOS não apresentarem diferença entre as plantas de cobertura, em relação à testemunha, pode estar relacionado ao fato de a testemunha ser uma parcela em pousio, ou seja, com a presença de vegetação espontânea, com plantas invasoras, assim esse solo não ficou descoberto.

Cunha *et al.* (2011) estudaram a influência das plantas de cobertura, entre elas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Mucuna aterrima* e sistemas de preparo de solo nos atributos físicos do solo, entre outros aspectos. Também não foram observadas diferenças estatísticas entre as plantas de cobertura quanto ao teor de matéria orgânica do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa *et al.* (2011), em estudos em Latossolo vermelho eutroférico, os quais observaram que a MO não foi alterada significativamente pelos sistemas de manejo nem pelas adubações. Ainda afirmaram que, apesar do maior aporte de resíduos proporcionado pelas plantas de cobertura, o tempo de implantação dos sistemas de manejo não foi suficiente para promover diferenças no teor de MOS, o que pode ter ocorrido neste estudo.

Ainda, Gonçalves e Ceretta (1999) encontraram diferenças significativas de carbono apenas na camada mais superficial do solo, de 0-2,5 cm, em que, inicialmente, há maior deposição de material vegetal e, como neste trabalho a coleta foi a 0-10 cm, o resultado pode ter sido ocultado. Os autores ainda destacaram o tremoço azul, uma fabácea, pela capacidade de promover acúmulo de carbono orgânico e produção de massa seca.

Na Tabela 6 são apresentados os dados de correlação linear de Pearson entre os atributos do solo no período anterior à implantação da cultura e produtividade do milho. Considerando que o fato de algumas variáveis não apresentarem correlações, não significa que elas não existam, mas que podem não ser lineares, como no caso da correlação polinomial entre CTC e MO, mostrada na Figura 15.

Tabela 6 Coeficientes de correlação de Pearson entre os propriedades físicas e químicas do solo e produtividade do milho. Braganey - PR, 2010/2011

	Mo	Ma	Mi	Pt	Ds	SB	CTC	H ⁺ +Al ₃ ⁺	V%	Prod.
Mo	1	0,62	0,32	0,57	0,43	0,66	0,34	-0,80	0,87	-0,13
Ma		1	0,88	1,00*	0,22	0,73	0,39	-0,95*	0,92	0,69
Mi			1	0,92	0,42	0,34	-0,03	-0,82	0,66	0,74
Pt				1	0,26	0,67	0,31	-0,94	0,88	0,71
Ds					1	-0,31	-0,69	-0,45	0,26	-0,28
SB						1	0,89	-0,67	0,84	0,43
CTC							1	-0,26	0,50	0,33
H ⁺ +Al ₃ ⁺								1	-0,96*	-0,43
V%									1	0,37
Prod.										1

Notas * = Significativo a 5% de probabilidade; Mo = matéria orgânica, Ma = macroporosidade, Mi = microporosidade, Pt = porosidade total, Ds = densidade, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca de cátions, H⁺+Al₃⁺ = acidez potencial, V% = saturação por bases e Prod. = produtividade do milho.

Observa-se correlação significativa positiva muito forte entre macroporosidade e porosidade total e forte correlação entre porosidade total e microporosidade, e macroporosidade com microporosidade. A densidade do solo não se correlacionou com as variáveis estudadas. Cunha *et al.* (2011) encontraram forte correlação positiva da densidade e microporosidade e negativa da macroporosidade e porosidade total. Argenton *et al.* (2005), avaliando os efeitos do manejo do solo sobre as propriedades relacionadas com estrutura de um Latossolo vermelho cultivado com milho intercalado com plantas de

cobertura de verão, encontraram correlação negativa da densidade com a macroporosidade e não observaram correlação com a microporosidade.

A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) apresentou correlação negativa muito forte com a matéria orgânica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e com V%, o que, neste caso, era esperado, já que V% representa a saturação por bases do solo.

Em relação à produtividade, observam-se correlações lineares entre a produtividade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, o que significa que cerca de 70% da produtividade são explicados por este atributo. Diferente deste trabalho, Munkholm, Heck e Deen (2012) encontraram fraca correlação entre os atributos físicos do solo e a produtividade do milho.

Na análise das frações da matéria orgânica (Tabela 7), observa-se o predomínio da fração humina em todas as análises, o que, segundo Fontana *et al.* (2006), pode estar relacionado ao tamanho da molécula e ao maior grau de estabilidade desta fração. Os mesmos autores afirmaram que por apresentarem menor estabilidade, as frações ácidos fúlvicos e húmicos podem ser translocadas para camadas mais profundas do solo, serem polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir seu teor residual no solo.

Ainda, a fração orgânica dos solos tropicais é dominada pelas huminas e tanto a intensa mineralização dos resíduos como as restrições edáficas à atividade biológica reduzem o processo de humificação (CANELLAS *et al.*, 2000). Além disso, a inclusão de fabáceas como adubo verde fornece o nitrogênio orgânico utilizado, preferencialmente, pelos micro-organismos sintetizadores das frações mais estáveis da MOS (huminas) (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Loss, Pereira e Brito (2006) também encontraram maior teor de carbono na fração humina, com destaque para os Latossolos, o que indica maior resistência dessa fração à decomposição, devido à ligação mais estável com a fração mineral do solo. Assim como o encontrado por Canellas e Façanha (2004), em estudos sobre a natureza química das frações humificadas, na região do Rio de Janeiro, a distribuição da matéria orgânica humificada do solo caracterizou-se típica de solos tropicais, com maior conteúdo de substâncias húmicas alcalino solúveis, mais condensadas na camada superficial do solo.

Antes da implantação do experimento não foram observadas diferenças estatísticas entre as parcelas em cada fração. Já, após o manejo das plantas de cobertura e após a colheita do milho, observou-se que parcelas cultivadas com estas plantas apresentaram maiores teores de carbono na soma das três frações. Como o processo de formação da MO é lento, flutuações no conteúdo relativo de suas frações expressam mudanças efetivas de curso duradouro. Em outras palavras, é um indicador estável, conservador. Somente mudanças significativas no sistema em estudo serão refletidas na distribuição dos componentes humificados da MO (CUNHA *et al.*, 2005).

Tabela 7 Frações da matéria orgânica antes e após o manejo com plantas de mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura do milho. Braganey – PR, 2010/2011

Tratamento	Antes da implantação				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	3,77	2,61	14,21	20,43	0,69	0,45
Mucuna anã	3,59	2,43	13,57	19,74	0,67	0,44
F. guandu anão	4,30	2,92	14,60	21,83	0,68	0,49
Crotalaria juncea	3,56	2,39	15,45	21,40	0,67	0,38
Média geral	3,81	2,59	14,45	20,81	-	-
Coef. variação	18,49	26,04	9,36	7,97	-	-
Valor de F	1,43 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,01 ^{ns}	2,05 ^{ns}	-	-
	Após o manejo				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	4,30	2,51	13,36	20,02 b	0,58	0,51
Mucuna anã	4,68	2,74	13,96	21,39 a	0,59	0,53
F. guandu anão	5,11	3,16	14,41	22,68 a	0,62	0,57
Crotalaria juncea	4,71	2,77	14,40	21,85 a	0,59	0,51
Média geral	4,70	2,79	14,45	21,49	-	-
Coef. variação	10,00	20,86	9,36	5,53	-	-
Valor de F	2,91*	1,25 ^{ns}	2,01 ^{ns}	5,30*	-	-
	Após colheita milho				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	4,16	2,70	13,36	19,89 b	0,61	0,50
Mucuna anã	4,69	2,84	13,87	21,41 a	0,60	0,54
F. guandu anão	4,67	2,77	13,45	22,18 a	0,59	0,54
Crotalaria juncea	4,55	3,01	14,30	21,94 a	0,66	0,52
Média geral	4,52	2,83	13,74	21,11	-	-
Coef. variação	8,74	16,14	8,32	4,96	-	-
Valor de F	2,36 ^{ns}	0,48 ^{ns}	20,82 ^{ns}	4,17*	-	-

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. AF: fração ácido fúlvico; AH: fração ácido húmico; HU: humina; EA: extrato alcalino.

A relação AH/AF é um indicador de condensação da MO solúvel (LABRADOR MORENO, 1996). Segundo esta autora, valores inferiores a 1, como os apresentados neste trabalho, representam predomínio das frações ácidos fúlvicos sobre a fração ácidos húmicos, indicando evolução limitada da MO, devido a razões edáficas ou de manejo e aportes recentes de matéria orgânica. A fração ácidos fúlvicos representa a fração menos evoluída, relacionada à reação ácida (CUNHA *et al.*, 2005). Ainda, na metodologia de separação das frações utilizada neste trabalho, a fração AF reúne tanto os ácidos fúlvicos verdadeiros como os compostos de baixo peso molecular, como ácidos orgânicos, açúcares, entre outros. Canellas e Façanha (2004) encontraram menores relações AH/AF em solo

cultivado com fabáceas, o que permite ressaltar um caráter mais fúlvico das substâncias húmicas quando fabáceas são cultivadas.

De forma geral, o baixo conteúdo de bases trocáveis nos solos mais intemperizados, assim como neste solo, diminui a intensidade dos processos de humificação (condensação e síntese), em consequência, a relação AH/AF é menor (CUNHA *et al.*, 2005; CANELLAS *et al.*, 2002). A adição de resíduos orgânicos ao solo alteram a dinâmica da humificação em direções que dependem de uma rede de interconexões das esferas do ambiente que condicionam a atividade biológica e, portanto, a humificação.

Em Latossolos, geralmente, há diminuição no conteúdo de ácidos húmicos e predomínio de ácidos fúlvicos, como se observou neste trabalho. Este fato pode estar relacionado à presença de óxidos e caulinita, nestes solos, em que a fração ácido húmico pode ser mais facilmente decomposta que a fração ácidos fúlvicos, favorecendo o surgimento de frações mais reativas e mais facilmente consumidas por micro-organismos, pois a adsorção da matéria orgânica aos óxidos é influenciada por grupos carboxílicos, mais abundantes nos ácidos fúlvicos, tornando estes ácidos mais resistentes à decomposição (CUNHA *et al.*, 2005). Também em solos intemperizados, a predominância de ácidos fúlvicos pode ser explicada pela rapidez de transformação dos resíduos orgânicos e pela complexação dessas frações pelos óxidos de Fe e Al (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005).

O fato de, entre os períodos, notar-se diminuição da relação AH/AF pode estar relacionado à adição recente de material vegetal, que aumenta, inicialmente, o conteúdo de ácidos fúlvicos. Porém, em longo prazo, a maior prevalência dos ácidos fúlvicos pode resultar em perdas de MO via água percolada, isto porque, de acordo com Silva e Mendonça (2007), os AF são o grupo de menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos, revelando maior solubilidade e polaridade que os AH e, conseqüentemente, maior mobilidade no solo.

Canellas *et al.* (2004) avaliaram as alterações no teor e qualidade da MO de um Argissolo vermelho-amarelo, no Rio de Janeiro, com a introdução de fabáceas herbáceas perenes. Os autores observaram mudanças qualitativas com o manejo dos resíduos vegetais, em que a cobertura permanente do solo com fabáceas conferiu maior grau de condensação aos ácidos húmicos. Assim como neste trabalho, não foram observadas diferenças quantitativas.

Souza e Melo (2003) estudaram sistemas de produção agrícola em um Latossolo vermelho eutrófico e observaram que, cultivos em sistema plantio direto com pousio e cultivo de mucuna-preta + guandu favoreceram o aumento da fração humina nas camadas superficiais do solo. Além disso, o sistema plantio direto de milho, em monocultura e sucessão com fabáceas, favoreceu a migração de ácidos fúlvicos para camadas mais

profundas, reduzindo os teores de substâncias húmicas alcalino-solúveis e interconversões mais rápidas de AF para AH. Os resultados obtidos sugerem que substâncias húmicas mais condensadas (AH) podem promover maior estímulo de H⁺-ATPases microsomal em raízes de milho, as quais são fontes de energia responsáveis pela absorção (RAMOS; MARTINS; FAÇANHA, 2005).

5.2.2 Incidência de plantas invasoras e produção de fitomassa das plantas de cobertura

Na avaliação das fabáceas, aos 30 dias após a semeadura, não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos. Porém, na avaliação aos 60 dias após a semeadura, a testemunha diferiu estatisticamente dos demais tratamentos e apresentou maior valor de incidência de plantas invasoras, quando comparado aos demais tratamentos, indicando que as espécies de cobertura reduziram a população dessas plantas (Tabela 8).

Tabela 8 Incidência de espécies invasoras (plantas m⁻²) durante o desenvolvimento das espécies fabáceas em avaliações aos 30 e 60 dias após a semeadura e durante o desenvolvimento da cultura do milho aos 30 dias após a semeadura. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Avaliação 30 dias		Avaliação 60 dias		Milho	
	Picão-preto	Total invasoras	Picão-preto	Total invasoras	Picão-preto	Total invasoras
Plantas m ⁻²						
Testemunha	6	43	19 a	72 a	90 a	118 a
Mucuna anã	3	24	2 b	8 b	5 b	24 b
Feijão guandu anão	4	20	2 b	11 b	13 b	26 b
Crotalaria juncea	4	23	3 b	13 b	5 b	24 b
Média geral	2,05	26,85	6,70	27,75	28,20	47,85
Coef. variação	33,37	37,04	22,01	22,41	40,63	21,46
Valor de F	0,46 ^{ns}	1,43 ^{ns}	35,92 [*]	27,61 [*]	18,42 [*]	22,54 [*]

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; ^{*} significativo. Os dados apresentados são os obtidos das observações originais seguidos das letras obtidas na comparação de médias com a transformação em $\sqrt{x+0,5}$.

Observa-se que durante o cultivo do milho a testemunha apresentou expressiva diferença no número de plantas invasoras, sendo este valor superior aos tratamentos com plantas de cobertura; estas, não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Este efeito pode estar relacionado ao efeito físico da cobertura sobre o solo e à comunidade invasora ou à liberação de substâncias químicas ao sistema pelas plantas de cobertura, conhecida como alelopatia.

Embora parcelas cobertas por plantas invasoras tenham demonstrado efeito semelhante àquelas com plantas de cobertura em outras análises, neste experimento, a área sob pousio ficou infestada. Áreas em pousio na entressafra, mesmo sob SPD, apresentam alta infestação de espécies invasoras adaptadas a este sistema, como trapoeraba (*Commelina benghalensis*), corda-de-viola (*Ipomoea* spp.), guanxuma (*Sida* spp.), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*) e picão-preto (*Bidens* spp.), dentre outras (CONCENÇO, 2012). Neste caso, houve predomínio de picão-preto.

Na Figura 16 é apresentada, nas colunas, considerando o eixo y, a soma de todas as avaliações para determinação do número total de invasoras e picão-preto, e, sobre as colunas, o valor reduzido em percentual em relação à testemunha, considerando esta, como 100% de infestação.

As parcelas sem cultivo com plantas de cobertura (testemunha) apresentaram maior infestação, tanto em relação ao número total de invasoras quanto ao número de plantas de picão-preto. O controle das plantas invasoras nas parcelas com plantas de cobertura, avaliado pela porcentagem de redução em relação à testemunha, foi de mais de 70% para número total de invasoras e mais de 80% para picão-preto.

Weih *et al.* (2008) destacaram o uso da atividade alelopática como alternativa à utilização do controle químico para supressão de plantas invasoras no agroecossistema. Os resíduos de culturas podem ter efeito seletivo no controle de plantas invasoras por meio da presença física na superfície do solo ou liberação de aleloquímicos (BROWMIK; INDERJIT, 2003). Estes autores afirmaram que estes efeitos, associados ao uso de plantas de cobertura, alcançaram mais de 95% de controle de algumas espécies invasoras por um período de 30-60 dias. Assim, o conhecimento desses prováveis efeitos permite seu aproveitamento em sistemas de rotação ou consorciação com culturas, no contexto do manejo integrado de plantas invasoras (ERASMO *et al.*, 2004).

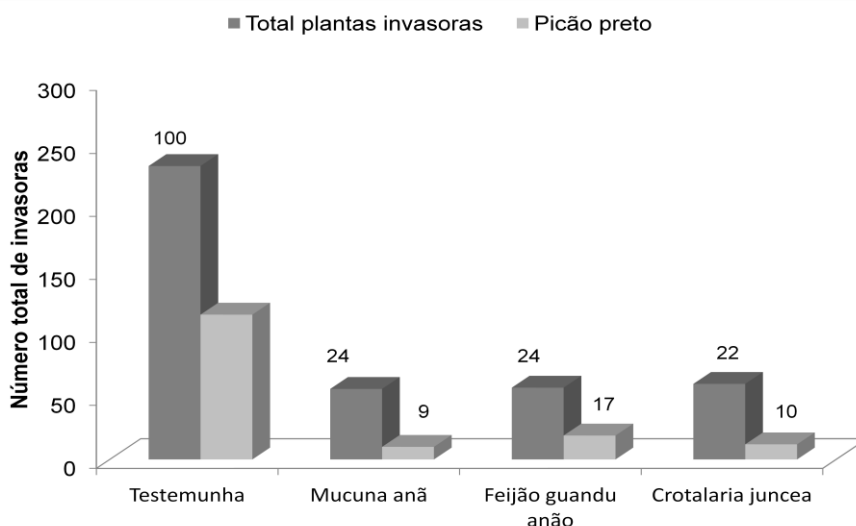


Figura 16 Incidência de espécies invasoras, considerando a soma de todas as avaliações (plantas de cobertura e milho) para o número total de invasoras e picão-preto e valor reduzido em percentual em relação à testemunha. Braganey-PR, 2011.

O uso de plantas de cobertura pode suprimir plantas invasoras mais rapidamente que em solos com pousio natural (CHIKOYE *et al.*, 2008). Estes autores citaram que experimentos com *Mucuna cochinchinensis* reduziram em cerca de 80% a massa seca de *Imperata cylindrica*, espécie invasora nas savanas da África Ocidental. Ainda destacaram que *Crotalaria ochroleuca* e *Cajanus cajan* são plantas de cobertura que apresentam efeitos positivos sobre a densidade de invasoras. Estas espécies são do mesmo gênero das plantas estudadas neste trabalho. Penteado (2007) também indicou mucuna e quando como plantas de cobertura do solo com o objetivo de suprimir plantas invasoras.

Rosa *et al.* (2011b) observaram, em estudo com as fabáceas *Mucuna deeringiana*, *Cajanus Cajan* e *Stylosanthes capitata* e *macrocephala*, que as plantas de cobertura apresentaram eficiente controle de plantas invasoras, quando comparadas à testemunha (pousio). No mesmo trabalho, em testes com extratos das plantas, os autores observaram que a espécie *Mucuna deeringiana* afetou negativamente a germinação de sementes de guaxuma. Utilizando as mesmas plantas, em experimento em consórcio de milho, os autores observaram maior número de invasoras nas parcelas cultivadas em pousio, encontrando porcentagem de redução de invasoras para 52, 43 e 29% para as plantas de cobertura, respectivamente (ROSA *et al.*, 2012).

Erasmio *et al.* (2004) estudaram oito espécies utilizadas como adubos verdes e verificaram que as espécies *Crotalaria spectabilis*, *Sorghum bicolor*, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna aterrima* e *Mucuna pruriens* reduziram significativamente o número e massa seca da população de plantas invasoras avaliadas, principalmente as duas últimas que são espécies de mucunas. Os autores afirmaram que o potencial da mucuna é reconhecido devido à sua agressividade como barreira física e ao seu efeito alelopático.

Heinrichs *et al.* (2005) estudaram feijão guandu anão, *Crotalaria spectabilis*, mucuna anã e feijão de porco. Dentre estes, destacou-se o feijão de porco, alcançando valores de plantas invasoras de até 290% superiores ao da testemunha.

Em trabalho apresentado por Miyasaka *et al.* (2008), os autores citaram que espécies de mucuna e *crotalaria juncea* são plantas que apresentam efeitos alelopáticos sobre plantas invasoras; entre as plantas invasoras controladas estão picão-preto e tiririca.

Segundo Severino e Christoffoleti (2001b), a fitomassa dos adubos verdes, incorporada ao solo ou na sua superfície, reduz as populações de plantas invasoras. Os mesmos autores, em outro trabalho, estudando o banco de sementes de plantas invasoras em solo cultivado com adubos verdes, concluíram que a utilização das fabáceas *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e *Arachis pintoi* reduziram significativamente a infestação destas

plantas, principalmente de *Brachiaria decubens*, *Panicum maximum* e *Bidens pilosa*. *C. cajan* e *C. juncea*, estudadas neste trabalho, destacaram-se (SEVERINO; CHRISTOFFOLETI, 2001a).

Há variação na quantidade de massa fresca e seca produzida entre os tratamentos (Tabela 9), sendo que a testemunha apresentou os menores valores tanto para massa fresca como para massa seca. Credita-se a diferença na quantidade de biomassa, deixada sobre o solo pelas plantas de cobertura, ao maior valor no número de plantas invasoras na avaliação na cultura do milho, no tratamento testemunha (Tabela 8).

Tabela 9 Valores médios de massa fresca e seca, valor relativo em comparação à testemunha, teor de nitrogênio e carbono, relação C/N e adição esperada de húmus (H) da parte aérea das plantas de mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) e das plantas espontâneas na testemunha (pousio). Braganey - PR, 2011

Tratamento	Massa fresca Mg ha ⁻¹	Valor relativo %	Massa seca Mg ha ⁻¹	Valor relativo -----%-----	C	N	C/N	H kg ha ⁻¹
Testemunha	13,44 b	100	3,75 b	100	51,72	1,99 b	28	60
Mucuna anã	23,51 a	175	4,60 b	123	50,92	2,70 a	21	73,6
F. guandu anão	26,80 a	200	6,40 a	171	54,30	2,34 a	24	102,4
C. juncea	27,22 a	202	5,92 a	158	53,30	2,25 a	22	94,72
Média geral	22,74	-	5,17	-	52,56	2,32	-	-
Coef. variação	29,90	-	22,75	-	3,48	13,57	-	-
Valor de F	4,45*	-	5,31*	-	2,08 ^{ns}	4,28*	-	-

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. CV = Coeficiente de variação. MF: massa fresca, MS: massa seca, C: carbono, N: nitrogênio, C/N: relação carbono/nitrogênio, H: húmus esperado.

O valor relativo de produção de massa fresca em relação à testemunha dos tratamentos com plantas de cobertura foi superior, sendo que o aumento proporcionado nas parcelas com feijão guandu anão e crotalaria juncea foi de, aproximadamente, 100%. Quanto ao valor relativo de produção de massa seca observa-se que, neste caso, a biomassa seca de mucuna anã se igualou estatisticamente à da testemunha. No trabalho de Trabuço (2008) em que as fabáceas não diferiram entre si e a vegetação espontânea foi a que produziu menos matéria seca.

Favero *et al.* (2001) encontraram, aproximadamente, 5,5 Mg ha⁻¹ de massa seca para o feijão guandu, semelhante ao encontrado neste trabalho. Cáceres e Alcarde (1995) encontraram quantidades de massa para mucuna anã, correspondendo a 18,5 Mg ha⁻¹ de massa fresca e 3,9 Mg ha⁻¹ de massa seca, superiores às quantidades encontradas neste trabalho. Nos estudos de Andreotti *et al.* (2008), a crotalaria juncea apresentou acima de 9 Mg ha⁻¹ e a mucuna anã 3,1 Mg ha⁻¹, valor superior e inferior aos encontrados neste trabalho, respectivamente. Destacando que as diferenças no rendimento de massa seca,

entre as fabáceas, nos diversos locais, podem estar associadas às condições edafoclimáticas.

Concenço (2012) afirmou que a deposição homogênea sobre o solo de 3 a 5 Mg ha⁻¹ de massa seca no período de entressafra, já são capazes de inibir significativamente o estabelecimento de plantas invasoras, quantidade apresentada por todos os tratamentos neste trabalho.

Neste trabalho, a crotalaria juncea produziu 5,92 Mg ha⁻¹, valor inferior ao relatado na bibliografia consultada, a qual descreve valores superiores a 10 Mg ha⁻¹, podendo alcançar até 15 Mg ha⁻¹ (PENTEADO, 2007). Este fato está relacionado ao baixo crescimento da planta, o qual pode ter sido limitado pelo pH abaixo de 6,0 (Tabela 4) por ocasião da semeadura, isto porque, responde melhor em solos com pH próximo ou acima da neutralidade (SALGADO *et al.*, 1984) e o índice de saturação de bases deve ser superior a 70% (PENTEADO, 2007).

Na análise do teor de nitrogênio da parte aérea das plantas de cobertura não se observa diferença significativa entre elas. Apresentaram valores semelhantes de nitrogênio imobilizado em seus tecidos que, após a mineralização, estará disponível para a próxima cultura. Segundo Aita *et al.* (2001), aproximadamente 60% do N acumulado na parte aérea das fabáceas é liberado dos resíduos culturais durante os primeiros 30 dias após o manejo das espécies. Franchini *et al.* (2011) obtiveram como resultado de pesquisa, que o N fornecido pelos resíduos das fabáceas foi equivalente ao N aplicado em cobertura, sendo o nitrogênio o nutriente extraído em maior quantidade, o de maior custo e também o que mais influencia a produtividade da cultura, principalmente do milho.

A inclusão de fabáceas num sistema de rotação aumenta a disponibilidade de nitrogênio, o qual é essencial na estabilização do carbono por meio da síntese de substâncias mais humificadas (mais ricas em nitrogênio) e garante melhor estabilidade estrutural para a MOS. Além disso, o nitrogênio das fabáceas (nitrogênio orgânico) é o preferencial pelos processos de síntese microbiana das substâncias húmicas (RIBEIRO *et al.*, 2011). Do ponto de vista energético e ambiental, a melhor forma de aportar N aos sistemas produtivos é através da introdução de fabáceas nos sistemas de rotação de culturas (FRANCHINI *et al.*, 2011).

As fabáceas apresentaram maior teor de N em seus tecidos quando comparadas às plantas espontâneas da testemunha. Resultado semelhante ao encontrado por Cavalcanti *et al.* (2012) que, estudando a biomassa e a extração de nutrientes por plantas de cobertura fabáceas, na região de Arapiraca-Al, entre elas crotalaria juncea, feijão guandu anão e mucuna-preta, verificaram que todas as espécies apresentaram maior teor de N em relação ao pousio (testemunha). Andreotti *et al.* (2008) encontraram para crotalaria juncea e mucuna anã 21,4 e 15,8 g kg⁻¹ de N, respectivamente; valores inferiores aos apresentados neste

trabalho, que foram, para as duas espécies, 22,5 e 27,0 g kg⁻¹. Resultados semelhantes aos deste trabalho, para quantidades de N na parte aérea de crotalaria juncea, foram apresentados por Silva *et al.* (2009).

Quanto ao teor de C, os valores foram semelhantes entre os tratamentos. Já, a relação C/N foi maior na testemunha, isto se deve ao maior teor de nitrogênio encontrado na parte aérea das plantas de cobertura. Essa relação determina a velocidade de decomposição do material, sendo assim, a biomassa remanescente nas parcelas com testemunha tendem a permanecer por mais tempo cobrindo o solo, porém, a maior quantidade de biomassa deixada pelas plantas de cobertura compensam este fato. Além disso, a maior relação C/N na testemunha imobiliza o N do solo e pode comprometer a disponibilidade de N para o milho cultivado em sucessão. Ainda, o acúmulo de N e massa seca de espécies de adubos verdes podem variar dependendo do ambiente de cultivo e manejo da espécie (CHERR; SCHOLBERG, McSORLEY, 2006).

CALEGARI (2008), estudando a porcentagem de nutrientes na matéria seca, observou que a mucuna anã possui de 2,85 a 3,35% de nitrogênio na matéria seca e o feijão guandu anão possui de 1,02 a 2,04%. Este dado compensa o fato de a mucuna anã apresentar menor porcentagem de matéria seca em relação ao feijão guandu anão neste trabalho, isto porque possui mais nitrogênio em seus tecidos.

Gonçalves, Ceretta e Basso (2000), em estudos com sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto, observaram que tremoço azul, uma fabácea, destacou-se pela capacidade de promover acréscimos de nitrogênio no solo. Os autores relacionaram a alta concentração de N nos tecidos da planta (21,2 g kg⁻¹) e baixa relação C/N da espécie. Perin *et al.* (2004), estudando produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio dos adubos verdes crotalaria e milheto, em cultivo isolado e consorciado, concluíram que a presença da fabácea (isolada ou consorciada) aumentou a quantidade de nitrogênio incorporada ao sistema.

Borkert *et al.* (2003), em estudos sobre nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo, verificaram que as fabáceas ervilhaca (46,2 kg ha⁻¹), mucuna-preta (66 a 280 kg ha⁻¹), tremoço (30 a 34 kg ha⁻¹) e guandu (43 a 280 kg ha⁻¹) reciclaram grande quantidade de N, além de outros elementos químicos. Os autores ainda afirmaram que, diante das diferenças na quantidade de elementos químicos adicionados ao solo por intermédio das diversas espécies de cobertura, é possível inferir que essas espécies podem ser utilizadas para evitar o esgotamento do solo, repondo os nutrientes essenciais extraídos pelas culturas comerciais no processo produtivo.

O índice H é calculado a partir do valor da matéria orgânica aportada e reflete a quantidade de húmus gerado pelos resíduos adicionados. Assim, neste trabalho, maior

contribuição de húmus ao solo era esperada nas parcelas com feijão guandu anão, com adição de mais de 100 kg ha⁻¹ e menor contribuição pela testemunha.

A quantificação da fitomassa da testemunha foi determinada porque, apesar de ser composta por plantas espontâneas, efetua cobertura do solo, ciclagem de nutrientes e adição de húmus ao solo. Porém, como comprovado por Bayer *et al.* (2000) em seus estudos com adição de 0,66 t ha⁻¹ de C, via resíduo vegetal de plantas invasoras, estimaram, para um período de 100 anos, por simulação com modelos, que, após perda de 22,55 t ha⁻¹ de C desde o início da adoção deste manejo, o estoque de C iria se estabilizar em 10,66 t ha⁻¹. Assim, comprovaram que a adoção do sistema plantio direto, de forma isolada, sem levar em conta a adoção de sistemas de culturas com satisfatória adição de resíduos, não é solução para se eliminar as perdas de C do solo.

5.2.3 Características da cultura do milho

A deposição de resíduos vegetais sobre o solo tem como consequência, além da supressão de plantas invasoras, aumento progressivo na matéria orgânica do solo, a qual melhora as condições gerais do agroecossistema. De acordo com Ramos *et al.* (2008), a deposição de resíduos sobre o solo ocasiona mudança nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente edáfico, e, dependendo da espécie, pode afetar a emergência e o crescimento das plantas. Assim, em alguns casos, a fitomassa de plantas de cobertura pode influenciar na emergência do cultivo comercial, no caso, o milho. No entanto, verifica-se não diferença estatística nos índices agronômicos de emergência e índice de clorofila da cultura do milho após cultivo com as fabáceas (Tabela 10). Diferente do relatado por Argenton *et al.* (2005), para quem os resíduos vegetais podem trazer benefícios, pois maior umidade e menor temperatura, em solos cobertos por resíduos vegetais, favorecem a germinação de sementes e o desenvolvimento inicial das plantas.

As plantas de cobertura podem promover melhores condições químicas e físicas para o solo, melhorando as condições para a germinação e emergência. Além disso, há a possibilidade destas plantas terem efeito prejudicial para a qualidade de sementes, seja pela liberação de substâncias químicas ou efeito físico da cobertura (ROSA *et al.*, 2011a). Diferente do observado neste trabalho, em que não houve influência das plantas de cobertura na emergência das plântulas de milho.

O índice de clorofila, que é a medida indireta do teor de nitrogênio, não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Os valores numéricos fornecidos pelo clorofilômetro portátil a partir das folhas são utilizados como indicativos dos teores de clorofila, podendo ser utilizados como critério de avaliação do estado nutricional da planta em relação ao N (FONTES, 2001). Furlani Junior e Arf (2008) encontraram boa correlação

entre doses de N aplicadas em cobertura, com leituras do clorofilômetro, teores foliares de N e produtividade de grãos.

Tabela 10 Índice de velocidade de emergência, velocidade de emergência, porcentagem de emergência, estande inicial de plântulas de milho e índice de clorofila de folhas de milho submetidas aos tratamentos de cobertura vegetal com fabáceas. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	IVE	VE	EMER	Estande inicial	IC(V4/V6)	IC (Flores.)
		Dias	%	Plantas m ⁻¹		
Testemunha	5,11	5,60	85	6,83	48,7	53,76
Mucuna anã	5,44	5,61	91	7,28	47,3	61,21
F. guandu anão	5,36	5,54	91	7,30	48,0	63,18
Crotalaria juncea	5,56	5,55	92	7,38	49,5	62,80
Média geral	5,36	5,57	90	7,20	48,44	60,98
C. variação (%)	8,66	4,25	8,46	8,34	4,84	6,92
Valores de F	0,77 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,80 ^{ns}	2,46 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. IVE = Índice de velocidade de emergência, VE = velocidade de emergência, EMER = porcentagem de emergência, IC = índice de clorofila. V4/V6 = estágio de desenvolvimento vegetativo. Flores.: estágio de florescimento.

O valor do índice de clorofila com coleta no estágio de florescimento do milho, embora sem diferença estatística, foi inferior na testemunha, resultado confirmado pelo teor de N foliar de plantas de milho, apresentado na Tabela 11. Conforme destaca Vieira Jr (1999), o N é o macronutriente mais importante para a cultura do milho.

Tabela 11 Teores de macronutrientes e micronutrientes presentes nas folhas de milho submetido aos tratamentos de cobertura vegetal com mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*). Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Macronutrientes					Micronutrientes			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----			
Testemunha	18,70 b	2,07	16,46	1,36	2,08	92,24	152,83	13,66 a	46,61
Mucuna anã	21,69 a	2,03	14,68	1,49	2,31	86,48	105,35	9,08 b	49,72
F. guandu anão	21,74 a	2,09	16,64	1,28	2,07	76,72	120,82	10,67 b	50,10
C. juncea	22,08 a	2,10	17,88	1,45	2,18	70,63	144,76	12,06 a	32,18
Média geral	21,05	2,07	16,42	1,39	2,16	81,52	130,94	11,37	44,65
CV	6,93	4,25	16,73	15,9	11,44	24,28	22,44	19,37	38,80
Valor de F	5,84 *	0,53 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,19 ^{ns}	2,75 ^{ns}	3,93*	1,1 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

O maior teor de nitrogênio foliar de milho cultivado após plantas fabáceas (Tabela 9), pode estar associado ao fato dessas plantas fixarem nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo

à cultura subsequente, após decomposição dos resíduos (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997; FIDELIS *et al.*, 2003; TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008), indicando sincronismo entre a liberação e o aproveitamento do N. Segundo Bertin, Andrioli e Centurion (2005), além da produção de fitomassa, a qual viabiliza o sistema plantio direto, plantas de cobertura cultivadas em pré safra, quando fabáceas, podem fornecer N e aumentar a produtividade de milho. Ambrosano *et al.* (2003) estudaram a mineralização de N derivado de fabáceas, entre elas mucuna-preta e crotalaria juncea, com marcação 15N . Observaram que o N do material vegetal das fabáceas foi mineralizado mais intensamente em comparação à testemunha, e a mucuna-preta contribuiu em maior proporção para o N mineral do solo.

Com exceção do Cu, para o qual a mucuna anã e o feijão guandu anão apresentaram menores teores, o teor dos outros nutrientes não foram afetados pelo manejo.

Considerando as condições gerais do experimento, independente do tratamento empregado, quanto aos macronutrientes, observa-se que o Ca encontra-se com teores inferiores aos ideais, descritos por Raji (2011), para a cultura do milho. Apesar do incremento proporcionado pelas plantas de cobertura, em geral, o teor de N está abaixo do estipulado para milho, o qual varia de $27\text{--}35\text{ g kg}^{-1}$ (RAIJ, 2011).

Em relação à produtividade e massa de 100 sementes de milho, após o cultivo com plantas de cobertura fabáceas, não foi observada diferença estatística entre as médias dos tratamentos, porém, quando se trata de produtividade, alguns aspectos econômicos importantes devem ser considerados (Tabela 12).

Tabela 12 Produtividade, produção relativa em comparação à testemunha e massa de 100 sementes de milho após o cultivo com plantas de cobertura fabáceas. Braganey - PR, 2011

Tratamentos	Produtividade ---kg ha ⁻¹ ---	Produção relativa ----%----	Massa de 100 sementes ----g----
Testemunha	5137	100	34,10
Mucuna anã	5864	114	35,55
F. guandu anão	5260	102	34,42
Crotalaria juncea	5454	106	34,93
Média geral	5429	-	35,65
C. variação (%)	11,57	-	7,60
Valores de F	1,28 ^{ns}	-	0,43 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

A produtividade sob mucuna anã apresentou maior valor, com aumento de 727 kg ha^{-1} , em relação à testemunha, o que equivale a 14% de aumento, observado na análise da produção relativa. Considerando a saca de 60 kg, o aumento foi de, aproximadamente, 12 sacas ha^{-1} e que o preço da saca praticado em junho de 2011,

período da colheita, foi de R\$ 23,99 (CONAB, 2011), para o produtor que não pratica rotação de culturas, o prejuízo gira em torno de R\$ 290,00 por hectare.

Andreotti *et al.* (2008) observaram produtividade de 6.219 kg ha⁻¹ para o milho cultivado após a mucuna anã e 4.594 kg ha⁻¹ para o cultivo após a crotalaria juncea, inferior à encontrada neste trabalho para mucuna anã e superior à de crotalaria juncea. Porém, dados de produtividade são de difícil comparação, já que variam de acordo com o híbrido utilizado e com o local de produção.

Assim como neste trabalho, outros autores concluíram que o rendimento dos grãos das culturas não foi afetado pelas plantas de cobertura. Cunha *et al.* (2011) estudaram sistemas de preparo de solo e culturas de cobertura na produção de milho e feijão. As plantas de cobertura estudadas foram *C. juncea*, *C. cajan* e *M. aterrima*. Trabuço (2008) também não encontrou diferença na produtividade do milho cultivado após a mucuna-preta, feijão de porco, milheto e sorgo granífero ou vegetação espontânea.

No trabalho de Rosa *et al.* (2011a) a produtividade de milho não foi influenciada por resíduos das plantas de cobertura *M. deeringiana*, *C. Cajan* e *S. capitata* e *S. macrocephala*.

Suzuki e Alves (2004), analisando a produtividade do milho influenciada pelo sistema de preparo do solo e plantas de coberturas: *M. aterrima*, *Pennisetum americanum*, *C. juncea* e *C. cajan*, observaram que, quando utilizado o *P. americanum* como planta de cobertura, o plantio direto proporcionou melhor resposta no rendimento de grãos de milho, comparado ao preparo convencional. As plantas de cobertura, dentro de cada sistema de preparo do solo, não se diferenciaram quanto ao rendimento de grãos de milho.

Entretanto, há autores que observaram aumento de produtividade do milho após cultivo com plantas de cobertura. Em estudo semelhante, Bertin, Andrioli e Centurion (2005) pesquisaram plantas de cobertura em pré-safra ao milho sob plantio direto. A cultura do milho, em sucessão à *Crotalaria*, apresentou maior produção de grãos. Fischler, Wortmann e Feil (1999) estudaram o efeito de *C. ochroleuca*, mesmo gênero estudado neste trabalho, sobre milho e feijão em três estações na África. Observaram que o milho semeado após a crotalaria apresentou aumento de produtividade de, em média, 39% e atribuíram este acréscimo ao efeito da crotalaria como adubo verde, não somente pela suplementação de nitrogênio, mas também por efeitos favoráveis sobre as propriedades físicas do solo.

Em estudos sobre o fornecimento de nitrogênio por fabáceas, na primavera para o milho em sucessão, nos sistemas de cultivo mínimo e convencional, Cereta *et al.* (1994) observaram que todas as fabáceas estudadas mostraram-se eficazes como fonte de nitrogênio para o milho, proporcionando produtividade superior à vegetação espontânea até 70%. Entre as espécies pesquisadas está o *C. cajan* que contribuiu, em média, com 10,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio ao milho.

A qualidade de sementes, avaliada pelos testes de germinação, teste frio e teor de água, não foi influenciada pelos tratamentos em estudo (Tabela 13). Do ponto de vista prático, as plantas de cobertura não apresentaram efeito negativo sobre a qualidade de sementes do milho. No trabalho de Rosa *et al.* (2011a), assim como neste estudo, tanto para a germinação, como para o teste frio, os tratamentos com as plantas de cobertura mucuna anã, feijão guandu anão e estilosantes não diferiram entre si.

Tabela 13 Porcentagem de germinação, teste frio e teor de água de sementes de milho colhidas, sob os tratamentos de cobertura vegetal com fabáceas. Braganey - PR, 2010/2011

Tratamento	Germinação	Teste frio	Teor de água
	-----%-----		
Testemunha	85	79	19,4
Mucuna anã	86	76	19,5
F. guandu anão	87	82	19,6
Crotalaria juncea	87	81	19,6
Média geral	2,10	3,60	6,7
Coef. variação (%)	9,28	8,91	19,58
Valores de F	0,18 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. Os dados apresentados para germinação e teste frio são os obtidos das observações originais seguidos das letras obtidas na comparação de médias com a transformação em $\sqrt{x}$.

No entanto, Nunes *et al.* (2007) enfatizaram que a maioria dos trabalhos referentes à produtividade das culturas, relacionadas à utilização de plantas de cobertura e ao sistema plantio direto, não relatam resultados e pesquisas com informações sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Os dados dos atributos relacionados à biomassa das plantas de cobertura e componentes da produção de milho foram submetidos à correlação linear de Pearson (Tabela 14) e observou-se que estas exercem influência sobre a comunidade invasora (I30, I60 e IM), com correlação negativa muito forte, ou seja, quanto maior a quantidade de resíduos vegetais, menor a incidência de plantas invasoras. A importância de métodos naturais de controle de plantas invasoras é verificada pela sua relação com a produtividade (Prod.), sendo os únicos fatores que têm correlação negativa com este parâmetro.

O nitrogênio foliar de milho (NM) apresentou correlação muito forte significativa e negativa com a incidência de plantas invasoras, indicando que o aumento de um fator diminui o outro. O comportamento do índice de clorofila (IC) foi semelhante, e apresentou correlação positiva muito forte com o NM, o que confirma ser a medida de clorofila uma medida indireta do teor de N.

Tabela 14 Coeficientes de correlação entre atributos relacionados às plantas de cobertura e componentes de produção de milho. Braganey - PR, 2010/2011

	I30	I60	NF	MF	MS	IVE	VE	IM	NM	IC	Prod.
I30	1	0,93	-0,53	-1,00 *	-0,92	-0,90	0,70	0,95 *	-0,96 *	-1,00 *	-0,48
I60		1	-0,80	-0,94 *	-0,73	-0,82	0,41	1,00 *	-0,99 *	-0,93	-0,74
NF			1	0,56	0,21	0,41	0,20	-0,77	0,73	0,54	0,93
MF				1	0,90	0,91	-0,68	-0,96 *	0,97 *	1,00 *	0,51
MS					1	0,77	-0,92	-0,75	0,76	0,92	0,09
IVE						1	-0,60	-0,86	0,90	0,88	0,53
VE							1	0,45	-0,47	-0,71	0,28
IM								1	-1,00 *	-0,95 *	-0,72
N									1	0,95 *	0,71
IC										1	0,47
Prod.											1

Notas: I30 e I60 = Plantas invasoras das plantas de cobertura na avaliação aos 30 dias e 60 dias após a semeadura, NF = teor de nitrogênio foliar nas fabáceas, MF e MS = massa fresca e seca da parte aérea das fabáceas, IVE = índice de velocidade de emergência, VE = velocidade de emergência, IM = plantas invasoras encontradas na cultura do milho na avaliação aos 30 dias após a semeadura, NM = teor de nitrogênio foliar na cultura do milho, IC = índice de clorofila nas folhas de milho e Prod. = produtividade da cultura do milho. * Significativo a 5% de probabilidade.

Salmerón, Isla e Caveró (2011) estudaram plantas de cobertura de inverno sobre a produtividade do milho. Entre outros aspectos, mediram indiretamente o teor de clorofila nas folhas de milho e consideraram a medida útil para detectar deficiência de nitrogênio em milho após plantas de cobertura. Os autores atribuíram essa deficiência à imobilização do nitrogênio pelas plantas de cobertura com alta relação C/N, como a cevada.

A maior correlação observada com a produtividade foi com o nitrogênio da parte aérea das plantas de cobertura (NF): 0,93, o que atesta o fato de as plantas estudadas fixarem N atmosférico e disponibilizá-lo para cultura em sucessão, já discutido. Dessa forma, pode-se afirmar que o uso de plantas de cobertura, pela capacidade de adicionar nitrogênio ao meio, interfere na produtividade da cultura e este efeito tende a ser cumulativo ao longo dos anos, melhorando o sistema agrícola até o equilíbrio.

Em geral, considerando o ano de cultivo do milho, a qualidade física do solo responde ao manejo empregado e o manejo com plantas de cobertura pode alterar a distribuição dos poros, sendo que, neste caso, proporcionou aumento no número de macroporos e porosidade total após o manejo das plantas de cobertura, o que representa melhoria nas propriedades físicas do solo. Em relação à química do solo, observaram-se alterações, sendo que após o manejo com as plantas de cobertura houve maiores conteúdos de C e maior valor de V% nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura; verificou-se, também, maiores valores de cátions (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e menor valor de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), com reflexo no menor valor de pH encontrado na testemunha.

Mesmo que não possibilite aumento significativo no teor de C no solo, o uso desta rotação, em longo prazo, poderá permitir a manutenção da qualidade do solo, indicada pelas

alterações na soma total das frações das substâncias húmicas. As plantas de cobertura proporcionaram menor incidência de plantas invasoras em todas as avaliações, quando comparadas à testemunha; e apresentaram adequada cobertura do solo, com incremento no teor de nitrogênio na parte aérea, sem interferir de forma negativa sobre a emergência de plântulas e qualidade de sementes de milho. Houve incremento no teor de nitrogênio nas folhas de milho com forte correlação entre produtividade e índice de clorofila. Produtividade e qualidade de sementes, as quais são consequência do manejo utilizado, não foram influenciadas pelos tratamentos deste experimento.

5.3 Determinações no cultivo da soja

5.3.1 Propriedades físicas e químicas do solo durante o ciclo de cultivo da soja

No ciclo de cultivo da soja, iniciando no mês de junho de 2011, com a implantação das brassicáceas, houve ocorrência de baixas temperaturas e geadas (Figura 14), este episódio prejudicou a cultura da canola, sendo que, onde havia maior cobertura do solo com resíduos vegetais de milho, as plantas de canola não sobreviveram. Além disso, a canola foi a espécie mais atacada por insetos, sendo a única que precisou de controle químico. Hernani *et al.* (1995) afirmaram que a canola é infestada por insetos-pragas que atacam as crucíferas e, dependendo das condições ambientais, podem ocorrer ataques em todos os estádios de desenvolvimento da cultura. Ataques de vaquinhas (*Diabrotica speciosa*) podem causar desfolhamento desde a fase cotiledonar até duas a três folhas verdadeiras. Em relação às propriedades físicas do solo, observa-se que a porosidade e densidade não foram afetadas pelo manejo empregado em nenhum dos períodos analisados (Tabela 15).

Diferente do observado por Yang *et al.* (2012), em trabalho com adubos verdes, entre eles *Brassica napus* L. (canola) e arroz, em plantio de inverno, verificaram que a densidade do solo em todos os tratamentos com adubação verde foi significativamente reduzida em comparação ao tratamento pousio e a macroporosidade foi aumentada, nas mesmas condições.

Os mesmos autores verificaram aumento significativo da retenção de água, o que também se verificou neste trabalho, e pode estar relacionado ao maior teor de água do solo após o manejo das plantas de cobertura nas parcelas com nabo forrageiro, seguido pelo crambe. Isto porque, a cobertura do solo diminui as perdas de água por evaporação, preservando ou melhorando as propriedades do solo, garantindo maior armazenamento de água e favorecendo o desenvolvimento radicular da soja, tornando-a menos suscetível à seca (FRANCHINI *et al.*, 2009).

Tabela 15 Macroporosidade, microporosidade e porosidade total, densidade do solo e teor de água antes e após o manejo com plantas de canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja

Tratamento	Macro	Micro	P T	Densidade	Teor de água
	Antes da implantação				
	-----cm ³ cm ⁻³ -----			---g cm ³ ---	---g g ⁻¹ ---
Testemunha	0,213	0,548	0,762	1,167	0,472
Canola	0,219	0,528	0,738	1,156	0,458
N. forrageiro	0,216	0,525	0,745	1,147	0,470
Crambe	0,221	0,516	0,737	1,155	0,460
Média Geral	0,217	0,529	0,746	1,156	0,465
CV	10,24	4,74	3,44	5,99	3,71
Valor de F	0,12 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Após o manejo das brassicáceas					
Testemunha	0,235	0,411	0,646	1,254	0,262 c
Canola	0,232	0,373	0,618	1,271	0,274 c
N. forrageiro	0,256	0,396	0,653	1,207	0,346 a
Crambe	0,234	0,384	0,618	1,188	0,309 b
Média Geral	0,242	0,393	0,635	1,225	0,300
CV	14,79	11,38	7,14	15,51	8,12
Valor de F	0,42 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,17 ^{ns}	11,39*
Após cultura da soja					
Testemunha	0,344	0,255	0,599	1,245	0,293
Canola	0,332	0,281	0,615	1,210	0,286
N. forrageiro	0,344	0,273	0,618	1,179	0,302
Crambe	0,337	0,271	0,613	1,213	0,285
Média Geral	0,340	0,269	0,611	1,212	0,292
CV	17,98	13,41	6,16	7,12	4,54
Valor de F	0,03 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,53 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. Dados que não apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro Wilk foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$. CV= Coeficiente de variação. PT = porosidade total. Macro e micro = macroporosidade e microporosidade, respectivamente.

Engel *et al.* (2009) destacaram que sistemas conservacionistas melhoram a qualidade física do solo que associada à sua cobertura por resíduos de plantas, aumentam o armazenamento de água no solo e reduzem as perdas por escoamento superficial. Ainda, por reter água em quantidades de quatro a seis vezes maiores que seu próprio peso, a matéria orgânica pode influenciar fortemente o armazenamento e a disponibilidade de água para as culturas (HERNANI *et al.*, 1995).

De acordo com Almeida *et al.* (2008), esta manutenção dos valores das propriedades físicas do solo pode estar relacionada com o estado estrutural inicial do solo e com o pouco tempo de adoção do esquema de rotação, pois estudos demonstram que, com o passar dos anos, as diferentes espécies utilizadas em esquema de rotação e sucessão de culturas condicionam algumas propriedade físicas do solo.

Bertol *et al.* (2004) também não observaram variação nas propriedades físicas do solo pelo uso de diferentes sistemas de cultivo, com rotação e sucessão com culturas de cobertura em somente um ciclo de produção. Semelhante ao encontrado por Sanches (2012) que estudaram as plantas de cobertura ervilhaca (*Vicia sativa* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), em ciclo de cultivo de plantas de cobertura na densidade do solo, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração do solo. Os tratamentos obtiveram resultados semelhantes para densidade do solo, demonstrando que as espécies utilizadas, em seu primeiro ciclo de cultivo, não promoveram efeitos significativos na melhoria das propriedades físicas do solo.

Reinert *et al.* (2008) verificaram redução da densidade do solo pelo uso de plantas de cobertura apenas na camada mais superficial. Franchini *et al.* (2009) evidenciaram que é possível melhorar a estrutura das camadas de solo, sem intervenção mecânica e, deste modo, aumentar o desenvolvimento radicular e a disponibilidade hídrica para a soja. Nozaki e Vandrúscolo (2010), em estudos com plantas de cobertura no mesmo tipo de solo, não verificaram diferenças significativas na densidade do solo, assim como neste trabalho.

Em geral, o solo em questão ainda apresentou condições favoráveis para o desenvolvimento vegetal. Observa-se, nos três períodos de coleta, valores de densidade próximos do considerando crítico para trocas gasosas (ARGENTON *et al.*, 2005) e consequentemente, para o desenvolvimento radicular, chegando a apresentar valores de $1,27 \text{ g cm}^{-3}$; porém, próximos aos valores considerados médios para solos argilosos, de 1,00 a $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ (KIEHL, 1979).

Estudos realizados por Argenton *et al.* (2005) constataram que, em Latossolo vermelho, por ser muito argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$. Os mesmos autores indicaram o uso de práticas de cultivo para reduzir a densidade e favorecer o crescimento radicular, principalmente, pela introdução de culturas que aportam grande quantidade de resíduos orgânicos. Neste caso, um aporte contínuo de resíduos é necessário e este efeito é esperado em longo prazo. Klein (2006), para a mesma classe de solo, observou que a densidade limitante foi de $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$. Reichert, Reinert e Braidá (2003) propuseram densidade do solo crítica para solos argilosos a situada entre 1,30 e $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$.

Em relação à porosidade, Kiehl (1979) afirmou que, idealmente, um solo deve possuir 50% do seu volume ocupado por poros; deste volume, um terço deve corresponder aos macroporos e dois terços aos microporos; 50% de sólidos (45% de matéria mineral e 5% de matéria orgânica), tais proporções garantiriam suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água e, consequentemente, boas colheitas. Considerando as condições gerais do solo, independentemente do tratamento, observa-se que o volume

ocupado por poros (porosidade total) ultrapassa a 60%, o que pode estar relacionado ao fato do solo ser muito argiloso e as partículas que o constituem muito pequenas.

Essa proporção estava desbalanceada antes da implantação deste experimento, com maior porcentagem de microporos e depois da colheita da cultura, com valores de macroporos acima do recomendado, o que, neste último caso, pode ser considerado positivo para o desenvolvimento vegetal. Isso porque, quando o manejo aumenta os macroporos melhora a aeração, a permeabilidade, a drenagem e o crescimento radicular.

Considerando as características químicas do solo, diferente do que aconteceu durante o cultivo do milho, em que maiores alterações foram observadas após o manejo com plantas de cobertura, no cultivo da soja, foram observadas melhorias, após a colheita da cultura, com o uso de plantas de cobertura (Tabela 16).

Tabela 16 Resultados da análise química do solo antes e após o manejo com plantas de canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Antes da implantação													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	19	0,4	5,4	1,9	4,9	7,7	12,6	9,6	2,7	23	113	13,5	5,2	61
Canola	21	0,3	5,6	1,7	4,9	7,7	12,6	14,2	1,8	24	103	12,9	5,2	61
Nabo f.	21	0,4	5,1	2,1	4,6	7,6	12,2	13,8	2,5	28	112	12,3	5,1	62
Crambe	20	0,3	5,2	1,8	5,3	7,4	12,7	11,2	1,9	35	85	14,2	5,3	58
	Após o manejo													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	19	0,5	3,8	1,8	4,6	6,2	10,8	12,1	2,7	44	158	16,9	5,3	57
Canola	20	0,4	4,3	1,7	4,9	6,5	11,4	13,0	2,3	33	147	16,0	5,2	57
Nabo f.	21	0,4	4,3	1,9	5,3	6,6	11,9	14,4	3,8	38	194	16,4	5,2	55
Crambe	20	0,6	4,4	2,3	4,2	7,3	11,7	16,0	2,8	34	166	15,6	5,5	63
	Após a cultura da soja													
	C	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	P	Zn	Fe	Mn	Cu	pH	V
	g dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				%
Test.	22	0,5	5,7	2,3	5,3	8,6	13,9	46	4,0	22	179	12,6	5,2	62
Canola	21	0,4	5,7	1,9	5,3	8,1	13,5	60	3,9	25	177	11,9	5,2	61
Nabo f.	24	1,1	6,4	2,9	3,9	10,4	14,4	22	4,3	20	209	12,9	5,7	73
Crambe	22	0,6	6,8	3,4	3,4	9	14,3	24	3,2	16	172	10,4	6,0	76

Nota: Análise realizada no laboratório de solos da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC).

Após o cultivo da soja foram encontrados maiores teores de C e maior CTC, em relação aos períodos anteriores. Considerando que a única forma de aumentar a CTC do solo é aumentar a matéria orgânica, a adição de carbono orgânico, expressiva também na

camada de 0-0,10 m (Tabela 17), deve ser considerada. Com destaque para as parcelas cultivadas com nabo forrageiro e crambe, que apresentaram maior soma de bases (SB), maior CTC, V%, e pH; e menor acidez potencial. Como a saturação por bases expressa a parte da CTC ocupada por cálcio, magnésio e potássio seria de se esperar uma relação de seus valores com o pH (RAIJ, 2011), com conseqüente aumento do mesmo, considerando que, nas condições do experimento, a canola teve seu desenvolvimento afetado.

Nas parcelas cultivadas após o nabo forrageiro e o crambe, os valores de pH passaram de muito ácido nos períodos anteriores para ácido após o cultivo da soja, segundo classificação de Meurer (2007), tornando-se mais adequado (pH 5,5-6,5) para a soja, sendo que a faixa ideal é de 5,5-6,5 (MEURER, 2007; RAIJ, 2011).

Em relação às condições gerais do experimento, de acordo com Raij (2011), independente do tratamento em estudo o Mn está acima de 5 mg dm^{-3} , considerado alto, sendo assim, neste trabalho este elemento se encontra em excesso.

Cabe ressaltar, ainda, o aumento no teor de fósforo (P) após a colheita da soja, sendo o aumento da disponibilidade deste nutriente um dos benefícios da adição de MOS (FRANCHINI *et al.*, 2011). A adição de MOS pode reduzir a adsorção/precipitação de fosfato pelo solo, devido à liberação de ácidos orgânicos. Estes ácidos podem competir pelos sítios de adsorção de P no solo (óxidos de Fe e Al, teor e tipo de argila) ou podem formar compostos com o P na solução do solo ou, ainda, complexar o Al e o Fe que fixam o P (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2010).

Guppy *et al.* (2005) afirmaram que compostos orgânicos, com comportamento similar aos ácidos fúlvicos, eram produzidos durante o processo de decomposição de resíduos vegetais e que estes mostraram-se eficientes na redução da adsorção específica de P por solos altamente intemperizados. Lembrando que, parcelas com testemunha, também, apresentaram aporte de resíduos vegetais, embora em menor quantidade. O aumento do P pode estar relacionado à diminuição do Fe, verificada também no cultivo do milho, isso porque, tão logo o Fe e o Al sejam complexados pela MO, eles não mais poderão precipitar os fosfatos da solução do solo (KIEHL, 2010).

Ainda, aumentos nos valores de CTC beneficiam a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg e K), elevam a saturação por bases no complexo coloidal e melhoram a disponibilidade de fósforo (LOPES *et al.*, 2004; MUZILLI, 2002). De acordo com Pavinato e Rosolem (2008), é normal a ocorrência de aumentos na disponibilidade de P no solo com a adição de resíduos vegetais, tanto pelo P contido nos resíduos, como por redução da capacidade de adsorção dos colóides, devido à competição de compostos orgânicos liberados pela decomposição dos resíduos.

Em estudos realizados por Tiecher, Santos e Calegari (2012) no inverno, por dez anos, utilizando rotações de culturas (tremoço azul, ervilhaca peluda, aveia preta, nabo

forrageiro, trigo e pousio), foi observado que o crescimento das plantas durante o período do inverno em solos intemperizados da região subtropical do sul do Brasil aumentou a importância das interações microbiológicas no ciclo do P, especialmente em sistema plantio direto. Ainda, afirmaram que as plantas são responsáveis pela produção de fosfatases ácidas no solo e constataram que houve maior atividade dessas enzimas com o cultivo de plantas durante o inverno.

Nozaki e Vendruscolo (2010) encontraram maiores teores de P e Ca após o cultivo da ervilhaca peluda, cultivada em Latossolo vermelho eutroférico, no inverno, em Toledo - PR. As autoras afirmaram que o alto valor de P na cultura da ervilhaca peluda é resultado da quantidade de MO e do não revolvimento do solo, promovendo as formações de sítios de P, que promoverão o acúmulo de P, proporcionando a redistribuição de formas orgânicas e microbianas, tornando-se menos suscetível à adsorção.

De acordo com Silva e Mendonça (2007), a forma que o P se liga à MO é similar à forma com que o P é adsorvido pelos oxihidróxidos de Fe e Al. Assim, segundo os autores, sistemas de manejo que privilegiem o aporte orgânico contínuo podem aumentar a ciclagem do P e suas disponibilidades para as plantas bloqueando os sítios de adsorção de P dos oxihidróxidos de Fe e Al, competindo com os sítios de adsorção da fração mineral pelo P solúvel e deslocando parte do P adsorvido pela fração mineral.

Franchini *et al.* (1999), em estudos da dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos, afirmaram, baseados em seus resultados, que o resíduo de nabo forrageiro teria a vantagem de associar a capacidade de mobilização de Ca com a de imobilização do Al, por possuírem compostos orgânicos hidrossolúveis capazes de formar complexos estáveis com Al e Ca, além de possuir o alto teor de Ca em seus resíduos. O que pode justificar o aumento no teor de Ca e redução na acidez potencial após o cultivo com nabo forrageiro no presente estudo.

Maiores valores de pH, após a cultura da soja, foram encontrados nas parcelas cultivadas com crame e nabo forrageiro, respectivamente. Segundo Amaral, Anghinoni e Deschamps (2004), resíduos de nabo forrageiro foram mais eficientes em aumentar o pH e reduzir Al, em comparação aos resíduos de ervilhaca e aveia, o que foi atribuído à capacidade de neutralização do H^+ , e ao incremento nos teores de Ca e Mg no solo, provenientes dos resíduos, observado também neste trabalho. Os mesmos autores encontraram aumentos significativos do carbono orgânico total com a adição dos resíduos vegetais, assim como o ocorrido neste trabalho (Tabela 17). O aumento do carbono em sistemas conservacionistas, geralmente é acompanhado pelo aumento no teor de nutrientes, principalmente nitrogênio, adicionados pelos resíduos das plantas de cobertura, com consequente aumento da produtividade da cultura (GIACOMINI *et al.*, 2004).

Tabela 17 Matéria orgânica e teor de carbono total do solo, em coleta aos 0,10 m, antes e após o manejo com plantas de canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Antes da implantação		Após o manejo		Após colheita soja	
	MO	C	MO	C	MO	C
	---%---	--g kg ⁻¹ --	---%---	--g kg ⁻¹ --	---%---	--g kg ⁻¹ --
Testemunha	9,41	54,72	9,43 b	54,85 b	9,36 b	54,50 b
Canola	10,53	61,26	9,63 b	55,99 b	11,80 a	68,65 a
N. forrageiro	11,46	66,68	11,31 a	65,77 a	11,66 a	67,87 a
Crambe	10,15	59,03	10,57 a	61,49 a	11,88 a	69,09 a
Média Geral	10,38	60,42	10,23	59,53	11,17	64,53
Coef. Variação	20,39	20,37	6,27	6,26	8,09	9,05
Valor de F	0,48 ^{ns}	0,49 ^{ns}	5,47*	5,55*	5,38*	3,96*

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

Inicialmente, antes da implantação do experimento, não houve diferença entre as médias dos tratamentos. Já, após o manejo com as plantas de cobertura, houve aumento na porcentagem de matéria orgânica do solo (MOS) e teor de carbono no solo nas parcelas cultivadas com nabo forrageiro e crambe. Após a colheita da soja, a parcela testemunha apresentou menores valores em comparação às com plantas de cobertura.

Andrade, Stone e Silveira (2009) destacaram que sistemas que incluem culturas com alta produção de matéria seca e culturas com baixa relação C/N, como neste trabalho, resultam, em geral, em maiores acúmulos de matéria orgânica no solo. Ainda, Roscoe, Boddey e Salton (2006) destacaram que evidências apontam para a efetiva manutenção da matéria orgânica do solo em sistemas de rotação com elevado aporte de resíduos, envolvendo culturas de inverno. Calegari *et al.* (2008) relataram que isto ocorre devido às condições de médias temperaturas durante o inverno, que protegem química e fisicamente o carbono do solo. O que resulta em acréscimo de carbono, como demonstrado neste trabalho.

O acréscimo de MOS pode ser resultado do efeito residual das plantas de cobertura fabáceas no primeiro ano do experimento, somado ao efeito observado das brassicáceas. Ressaltando que o efeito da rotação de culturas é cumulativo e que as plantas de cobertura são indicadas para o aumento e manutenção do carbono do solo. A rotação de culturas possibilita aumento nas adições de fitomassa (parte aérea e raízes) ao solo o que, em conjunto com a adoção do SPD, resulta no incremento dos teores de MOS (FRANCHINI *et al.*, 2011).

Com o intuito de analisar o quanto as variáveis do solo estão inter-relacionadas e sua relação com a produtividade, apresenta-se na Tabela 18 a correlação de Pearson, entre os atributos de qualidade do solo após o manejo das plantas de cobertura e produtividade da

cultura da soja. Embora algumas variáveis não apresentem correlações, não significa que elas não existam, mas que podem não ser lineares.

Tabela 18 Coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos físicos e químicos do solo e produtividade da soja. Braganey - PR, 2010/2011

	MO	Ma	Mi	Pt	Ds	SB	CTC	H ⁺ +Al ₃ ⁺	V%	Prod.
Mo	1	0,82	-0,05	0,31	-0,81	0,51	0,89	0,36	-0,02	-0,30
Ma		1	0,30	0,75	-0,43	-0,08	0,58	0,74	-0,56	0,13
Mi			1	0,82	-0,04	-0,49	-0,49	0,04	-0,31	-0,15
Pt				1	-0,06	-0,56	-0,09	0,59	-0,70	0,20
Ds					1	-0,79	-0,69	0,24	-0,51	0,80
SB						1	0,66	-0,52	0,83	-0,76
CTC							1	0,30	0,12	-0,18
H ⁺ +Al ₃ ⁺								1	-0,91	0,76
V%									1	-0,84
Prod.										1

Nota: * = Significativo a 5% de probabilidade. MO = matéria orgânica, Ma = macroporosidade, Mi = microporosidade, Pt = porosidade total, Ds = densidade, SB = soma de bases, CTC = capacidade de troca de cátions, H⁺+Al₃⁺ = acidez potencial, V% = saturação por bases e Prod. = produtividade da soja.

No caso do cultivo da soja, a produtividade não refletiu necessariamente as condições do solo. A influência sobre esta, causada pelo cultivo do crame em antecedência, gerou problemas - discutidos posteriormente - que refletem as correlações inversas apresentadas, principalmente entre produtividade (Prod.) e soma de bases (SB), densidade (Ds), matéria orgânica (MO) e acidez potencial (H⁺+Al₃⁺).

Pode se destacar correlação muito forte entre a MOS e a CTC. Neste caso, como houve correlação linear, o gráfico de correlação não foi apresentado. Isso acontece porque a MO é adsorvida à caulinita e aos óxidos de ferro e essa interação resulta na diminuição das cargas positivas, aumentando, dessa forma, a capacidade de troca de cátions (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2010).

Dick *et al.* (2009) afirmaram que a contribuição da MOS para a CTC reside, principalmente, na carga negativa originada da dissociação do H dos grupos carboxílicos (COOH). A MOS contribui com 20-90% da CTC das camadas superficiais de solos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Para Bayer e Bertol (1999), a CTC é fortemente alterada pelo pH, e será tanto maior quanto maior for a presença de minerais argila com dominância de cargas dependentes de pH ou MO, sendo que existe relação significativa entre a CTC do solo e frações de MO. Testa *et al.* (1992) atribuíram o aumento da CTC no solo à elevação do teor de MO, permitindo maior retenção de cátions liberados pela biomassa das culturas e redução da lixiviação.

Santos *et al.* (2012) encontraram correlação linear entre a MO e o pH e afirmaram que em solos tropicais, em especial nos Latossolos, com alto grau de intemperização, como no caso deste estudo, a carga de superfície dos minerais dominantes é muito fraca e, desta forma, a MOS exerce papel preponderante, em razão de contribuir com a elevação da superfície específica da capacidade de troca de cátions e do incremento de nutrientes nesses solos.

Aumento proporcional da MO e macroporosidade (Ma) e inversamente proporcional entre MO e densidade (Ds) foram observados. No que se refere à correlação entre MO e Ds, é fato que é um dos fatores responsáveis pela formação e estabilidade de agregados e a formação de agregados na superfície provoca diminuição da densidade do solo (PEREIRA *et al.*, 2011). Os mesmos autores não encontraram correlações entre os indicadores da qualidade do solo e a produtividade e afirmaram que, como esses indicadores possuem valores considerados adequados, a baixa produtividade está, provavelmente, relacionada a outros fatores, o mesmo ocorreu neste trabalho. No entanto, esses autores, encontraram correlações entre MO e Ds, e MO e Pt.

Não somente os teores totais da MOS são importantes para o entendimento de suas alterações, faz-se necessário o estudo de suas frações relacionando as alterações dessas frações em função da manutenção da qualidade do solo (ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006). Na Tabela 19 são apresentados os resultados do fracionamento da MOS, em frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU), no manejo do solo com plantas de cobertura brassicáceas e a testemunha.

As frações que compõem a matéria orgânica humificada, comportaram-se de forma semelhante no decorrer do experimento, não apresentando diferença estatística entre a testemunha e as plantas de cobertura; com exceção do conteúdo de ácidos fúlvicos após o cultivo da soja, apresentando diferença estatística entre as médias dos tratamentos, observado no valor significativo de F.

Este resultado era esperado, já que no estudo das frações das substâncias húmicas do solo, mudanças iniciais em seu conteúdo são esperadas na fração ácido fúlvico, já que esta reflete o primeiro estágio em direção à estabilização da matéria orgânica. Porém, os ácidos fúlvicos são mais suscetíveis a perdas por percolação. Miranda, Canellas e Nascimento (2007) afirmaram que a fração ácido fúlvico, em razão de seu elevado número de grupamentos polares, apresenta alta capacidade de solvatação, sendo arrastada pela água de percolação do solo.

Tabela 19 Frações da matéria orgânica do solo antes e após o manejo com plantas de canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*) e das plantas espontâneas na testemunha e após a colheita da cultura da soja. Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Antes da implantação				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	4,37	2,51	11,39	18,28	0,58	0,60
Canola	4,51	2,57	12,50	19,59	0,57	0,56
N. forrageiro	4,42	2,52	12,27	19,22	0,57	0,56
Crambe	4,73	2,68	12,16	19,57	0,57	0,60
Média Geral	4,50	2,57	12,06	19,13	-	-
Coef. Variação	9,55	15,05	11,72	8,56	-	-
Valor de F	0,87 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-	-
	Após o manejo				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	4,29	2,52	11,98	18,80	0,59	0,56
Canola	4,45	2,64	12,38	19,49	0,56	0,57
N. forrageiro	4,44	2,84	12,80	20,09	0,64	0,56
Crambe	4,40	2,75	12,75	19,91	0,62	0,56
Média Geral	4,39	2,67	12,46	19,46	-	-
Coef. Variação	9,24	12,54	10,34	7,85	-	-
Valor de F	0,18 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,75 ^{ns}	-	-
	Após colheita soja				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	-----mg g ⁻¹ -----					
Testemunha	3,96	2,52	13,68	20,17	0,64	0,47
Canola	4,54	2,96	14,71	22,22	0,65	0,51
N. forrageiro	4,66	3,15	15,18	23,00	0,68	0,51
Crambe	4,31	2,83	14,22	21,38	0,66	0,50
Média Geral	4,37	2,87	14,46	21,71	-	-
Coef. Variação	10,04	14,73	13,72	10,25	-	-
Valor de F	2,94 [*]	2,35 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,77 ^{ns}	-	-

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; ^{*} significativo. AF: fração ácido fúlvico; AH: fração ácido húmico; HU: humina; EA: extrato alcalino (AH+AF).

Miranda, Canellas e Nascimento (2007) também não encontraram alterações na distribuição das frações húmicas pela cobertura vegetal, porém, a análise por espectroscopia de infravermelho indicou o efeito do tipo de solo e da cobertura vegetal sobre a qualidade química dos ácidos húmicos.

O fato de a testemunha se comportar estatisticamente semelhante às plantas de cobertura, na maioria das análises, pode estar relacionado ao aporte de resíduos de milho do ano anterior, o que ocorreu, inclusive, na testemunha. Martens (2002) fez a extração dos AH no solo tratado com resíduos culturais e observou incremento de AH em relação ao solo sem resíduo algum. Em solo com milho, o teor foi de 3,3 g kg⁻¹ aos 29 dias e confirmou que

espécies como milho contribuem mais para a acumulação de compostos fenólicos (precursores das SH).

Em geral, assim como discutido no experimento de cultivo do milho, observa-se predominância da fração humina. Este fato é confirmado pela análise dos valores da relação EA/HU em que todos estão abaixo de 1, demonstrando que neste solo a fração mais estável (humina) predomina sobre as demais frações.

A relação AH/AF foi afetada pelo manejo, porquanto, após a colheita da soja, observam-se maiores valores nas parcelas cultivadas com as plantas de cobertura. Este resultado reflete o aumento do teor de carbono da fração ácido fúlvico em relação aos húmicos. Segundo Canellas, Busato e Caume (2005), manejos agrícolas que forneçam acréscimos relativos nos valores de AH/AF refletirão em melhorias da matéria orgânica, o que foi constatado neste trabalho (Tabela 18). Ainda, segundo Labrador Moreno (1996), valores inferiores podem indicar evolução limitada da MO, devido a razões edáficas ou de manejo e aporte recente de MO.

Os baixos valores da relação AH/AF indicam que o sistema de manejo adotado ou a sequência de culturas implantadas podem favorecer a degradação das frações mais estáveis ou desfavorecerem sua formação (FONTANA *et al.*, 2006). Estes resultados sugerem que houve baixa taxa de condensação da fração húmica, a qual pode ser atribuída à predominância de óxidos, normalmente encontrados em solos tropicais, em que as cargas positivas superficiais dos colóides disputam os sítios de carga negativa da matéria orgânica no processo de humificação, interrompendo-o, em parte (MIRANDA; CANELLAS; NASCIMENTO, 2007).

Considerando que, na superfície dos Latossolos, a mineralização dos detritos vegetais é rápida, os produtos pré-húmicos que se formam no decorrer da mineralização migram facilmente em profundidade; uma proporção variável desses produtos dá origem a ácidos fúlvicos que são adsorvidos nas argilas ou retidos sob forma de complexo com o Al, o restante precipita e se condensa mais ou menos rapidamente, transformando-se em ácidos húmicos e em produtos de massa molecular mais elevada que vão integrar a humina (VOLKOFF, 1977).

5.3.2 Incidência de plantas invasoras, produção de fitomassa e produtividade das plantas de cobertura

Na Tabela 20 são apresentadas as médias de incidência de plantas invasoras durante o desenvolvimento das espécies brassicáceas e da cultura da soja.

Considerando que a avaliação de plantas invasoras da cultura da soja, aos 60 dias após a emergência, não foi realizada porque, após a capina, depois da avaliação aos 30 dias e posterior estiagem (Figura 14), a incidência foi insignificante.

Tabela 20 Incidência de espécies invasoras (plantas m⁻²) durante o desenvolvimento das espécies brassicáceas em avaliações 30 e 60 dias após a semeadura destas plantas e da cultura da soja aos 30 dias após a semeadura e por ocasião da colheita após o cultivo com brassicáceas. Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Plantas de cobertura			
	30 dias		60 dias	
	Picão-preto	Total	Picão-preto	Total
	----- plantas m ⁻² -----			
Testemunha	91 a	110 a	104 a	151 a
Canola	2 b	6 b	1 b	6 b
Nabo forrageiro	4 b	4 b	3 b	5 b
Crambe	2 b	4 b	0 b	1 b
Média Geral	24,75	30,80	27,10	40,75
Coef. Variação	83,74	63,57	66,96	43,96
Valor de F	7,99*	10,88*	18,81*	33,58*
	Cultura da soja			
	30 dias		Colheita	
	Picão-preto	Total	Picão-preto	Total
	----- plantas m ⁻² -----			
Testemunha	114 a	124 a	43 a	66 a
Canola	5 b	10 b	3 b	8 b
Nabo forrageiro	5 b	9 b	2 b	8 b
Crambe	3 b	5 b	1 b	4 b
Média Geral	34,77	39,88	13,38	23
Coef. Variação	29,04	23,15	22,36	24,30
Valor de F	54,01*	61,93*	74,70*	38,07*

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. Os dados apresentados são os obtidos das observações originais seguidos das letras obtidas na comparação de médias com a transformação em $\sqrt{x+0,5}$.

A incidência de espécies invasoras no tratamento testemunha foi superior a dos demais tratamentos, em todas as avaliações, tanto para picão-preto quanto para o número total de invasoras e não houve diferença entre as plantas de cobertura. O controle das plantas invasoras na testemunha sob pousio foi praticamente inexistente. Também Mauli *et al.* (2011), avaliando as plantas de cobertura de inverno aveia preta solteira e consórcio de aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro sobre a incidência de plantas invasoras, observaram que a utilização destas espécies reduziu a infestação, quando comparada ao solo sem cobertura (pousio) e, ainda, que quanto maior a produção de massa pela planta de cobertura maior a redução da infestação.

A redução da incidência de espécies invasoras na cultura da soja indicam que o efeito supressor sobre a comunidade invasora persiste após o desenvolvimento da cultura.

O importante não é que as coberturas deixem o terreno livre de invasoras apenas por ocasião do corte, mas que seus resíduos (CALEGARI *et al.*,1992) ou o efeito destes permaneçam por mais tempo, impedindo a infestação das culturas em sucessão.

A redução na incidência de plantas invasoras pode estar associada a diversos fatores, como supressão ou alelopatia ou a interação entre eles. O nabo forrageiro apresenta características alelopáticas que lhe conferem a condição de inibir a emergência e o desenvolvimento de uma série de invasoras indesejáveis (PENTEADO, 2007). De acordo com Skóra, Passini e Rodrigues (2006), plantas de cobertura com maior capacidade de formação de resíduos vegetais promovem maior produção e liberação de aleloquímicos que irão determinar a incidência de plantas invasoras. Deve-se ainda considerar que a persistência dos efeitos alelopáticos de coberturas vegetais é bastante variável, dependendo da espécie e do manejo do solo (TOKURA; NÓBREGA, 2005).

Na Figura 17 é apresentado, nas colunas, considerando o eixo y, a soma de todas as avaliações para determinação do número total de invasoras e picão-preto e, sobre as colunas, o valor reduzido em percentual, em relação à testemunha, considerando esta, como 100% de infestação.

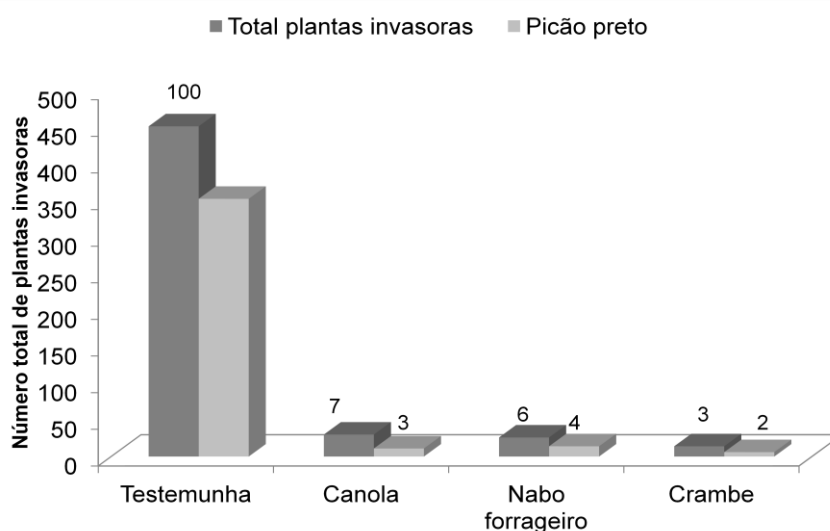


Figura 17 Incidência de espécies invasoras, considerando a soma de todas as avaliações (plantas de cobertura e soja) para o número total de invasoras e picão-preto e valor reduzido em percentual em relação à testemunha.

A incidência das plantas invasoras reduziu de 100% na testemunha para menos de 7% nas parcelas cultivadas com as plantas de cobertura. Nas parcelas com crambe chegou a 3% de infestação. Uma das explicações para a redução do número de invasoras é a deposição de resíduos vegetais sobre o solo, o que pode ser observado na Tabela 21, em que se pode verificar que as plantas de cobertura estudadas apresentaram maior aporte de biomassa que a testemunha. Uchino *et al.* (2009) também concluíram que plantas invasoras

podem ser efetivamente controladas por plantas de cobertura, incluindo seu banco de sementes.

Resíduos de brássicas (brassicáceas), quando incorporados ou mantidos na superfície do solo, podem afetar a germinação, reduzir o estabelecimento e crescimento de plantas invasoras (NORSWORTH, 2003; HARAMOTO; GALLANDT, 2004), como foi verificado no presente estudo. Isto porque, segundo os autores, as brássicas contêm glucosinolatos os quais hidrolisados podem formar compostos tóxicos para várias micro-organismos e plantas invasoras. Neste caso, o efeito foi observado também sobre a cultura principal, pelo crame.

Moraes *et al.* (2012) avaliaram a influência de extratos de culturas de cobertura de estação estival de inverno sobre o crescimento e desenvolvimento de *Bidens pilosa* (picão-preto). Observaram que os extratos de canola, em geral, apresentaram maior potencial alelopático, seguido de trevo vesiculoso, afetando a germinação e o desenvolvimento do picão-preto. A parte aérea das culturas de cobertura foi a que apresentou, em geral, maior atividade alelopática, sobre a germinação e o desenvolvimento de picão-preto. A atividade alelopática é maior com o incremento da concentração dos extratos, das partes vegetais, destacando-se o IVG como melhor indicador da atividade alelopática de canola, nabo forrageiro, trevo vesiculoso e azevém, sobre o picão-preto. O que confirma que o efeito observado neste trabalho pode ser alelopático.

Moraes *et al.* (2010) investigaram os efeitos de níveis de resíduos vegetais de culturas de cobertura incorporadas ou mantidas na superfície do solo, sobre a emergência e o desenvolvimento inicial de *Bidens* sp (picão-preto). As culturas de cobertura estudadas foram canola, nabo forrageiro, trevo vesiculoso e azevém. As culturas nabo forrageiro e canola proporcionaram, em geral, maior redução no crescimento de picão-preto. A presença de resíduos vegetais na superfície do solo reduz o crescimento de picão-preto, comparativamente à incorporação, sendo necessários, ao menos, 6 t ha⁻¹ de resíduos vegetais. Embora, neste trabalho, a quantidade de resíduos vegetais adicionados tenha sido inferior (Tabela 21), o controle do picão-preto foi efetivo, como discutido anteriormente. Os autores também demonstraram que o curto período de tempo para a liberação de aleloquímicos no solo favoreceu a cobertura das brássicas, pela baixa relação C/N, liberando os compostos alelopáticos mais rapidamente, afetando a variável IVE (índice de velocidade de emergência) de picão-preto. Neste experimento, o IVE da cultura foi influenciado.

Rizzardi, Silva e Vargas (2006) avaliaram a influência da quantidade de resíduos vegetais de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*) no controle de plantas invasoras em milho. Concluíram que, na ausência de controle químico, a presença de resíduos vegetais é importante fator de controle, especialmente quando em maior

quantidade (9 Mg ha^{-1}), alcançando níveis de até 72%. Com 6 Mg ha^{-1} de resíduos, os níveis de controle foram de 59% para picão-preto.

O efeito do controle de plantas invasoras observado pode estar relacionado à produção de biomassa e aporte de material vegetal ao solo pelas plantas de cobertura. Na Tabela 21 são apresentadas as médias de produção de biomassa e suas características, dos tratamentos em estudo. A massa seca da testemunha, em que as plantas espontâneas do local formaram a cobertura, foi quantificada porque também exerce papel de cobertura do solo. Favero *et al.* (2000) afirmaram que estas espécies podem promover os mesmos efeitos de cobertura do solo, produção de biomassa e ciclagem de nutrientes que as espécies introduzidas ou cultivadas para adubação verde. Além disso, são plantas adaptadas às condições do ambiente e apresentam rusticidade; normalmente esse solo seria mantido descoberto, com dessecação da área com herbicidas. Há de considerar o aspecto negativo da área mantida em pousio, que é a disseminação das espécies invasoras, já que se desenvolvem livremente nestas condições.

Tabela 21 Valores médios de massa fresca e seca, valor relativo em relação à testemunha, nitrogênio e carbono acumulado, relação C/N e adição de húmus esperada (H) da parte aérea das plantas de canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*) e das plantas espontâneas na testemunha (pousio). Braganey - PR, 2011

Tratamento	MF	Valor relativo	MS	Valor relativo	C	N	C/N	H
	Mg ha^{-1}	-%-	Mg ha^{-1}	-----%-----				kg ha^{-1}
Testemunha	8,44 c	100	1,70 c	100	50,80	3,06 b	16,60	27,2
Canola	25,90 b	307	5,26 b	309	48,59	3,94 a	12,33	84,16
N. forrageiro	36,33 a	430	4,57 b	269	47,27	3,81 a	12,40	73,12
Crambe	24,14 b	286	6,45 a	379	50,46	3,15 b	16,01	103,2
Média Geral	24,34	-	4,57	-	49,28	3,49	-	-
Coef. Variação	11,72	-	18,98	-	6,57	5,33	-	-
Valor de F	71,14*	-	17,30*	-	0,78 ^{ns}	17,24*	-	-

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. MF: massa fresca, MS: massa seca, C: carbono, N: nitrogênio, C/N: relação carbono/nitrogênio, H: húmus esperado.

A quantidade de biomassa fresca das plantas de cobertura foi significativamente superior à testemunha. Entre as plantas de cobertura, o nabo forrageiro se destacou, produzindo, relativamente, 330% a mais que a testemunha. Considerando a massa seca, o maior valor foi encontrado nas plantas de crambe, seguido pela canola e o nabo forrageiro. A testemunha apresentou o menor valor. Quanto ao valor relativo à testemunha, as plantas de cobertura produziram mais de 100% de acréscimo. Mateus, Crusciol e Negrisola (2004) afirmaram que, independentemente das diferenças observadas entre as espécies de cobertura vegetal, há tendência similar de comportamento e a taxa de redução das plantas

invasoras decresce progressivamente com o incremento de resíduos vegetais, tendendo à estabilização a partir de 10 Mg ha⁻¹.

O teor de C foi semelhante entre os tratamentos, já o teor de nitrogênio foi superior nas plantas de canola e nabo forrageiro, em comparação à testemunha e ao crambe. Estes resultados refletem diretamente na relação C/N, a qual é indicativa do tempo de decomposição do material. Sendo assim, canola e nabo forrageiro apresentaram decomposição mais rápida. A relação C/N, considerada baixa na testemunha, pode estar relacionada à composição das plantas espontâneas, em que, neste caso, o picão-preto foi predominante.

A produção de massa seca do nabo forrageiro de 4,57 Mg ha⁻¹ foi inferior à encontrada por Ceretta *et al.* (2002), de 5,16 Mg ha⁻¹ e a relação C/N foi superior, com valor de 28. Para garantir a manutenção da qualidade da matéria orgânica e, consequentemente os estoques de carbono e nitrogênio do solo, faz-se necessário o constante aporte de material orgânico por meio do emprego dos adubos verdes (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Heinz *et al.* (2011) encontraram produção de massa seca da parte aérea de 5.586 kg ha⁻¹ e 2.688 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro e o crambe, respectivamente, observando produção de biomassa 52% maior do nabo forrageiro em relação ao crambe, no dia do manejo das plantas de cobertura. Para o nabo forrageiro, o valor foi próximo ao encontrado neste trabalho e para o crambe, a produção de matéria seca foi inferior à deste estudo. Os autores também analisaram a liberação de nitrogênio dos resíduos culturais e constataram que para o crambe ocorreu de forma mais lenta em comparação ao nabo forrageiro. Esta diferença foi atribuída à maior relação C/N do crambe, quando comparado ao nabo forrageiro, constatada também neste trabalho.

Crusciol *et al.* (2005), com o objetivo de avaliar a decomposição e a liberação de macronutrientes de resíduos de nabo forrageiro, analisaram a persistência dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes dos resíduos aos 0, 13, 35 e 53 dias após o manejo. O nabo forrageiro produziu, até o estágio de pré-florescimento, elevada quantidade de massa seca da parte aérea em cultivo de inverno (2.938 kg ha⁻¹), acumulando 57,2; 15,3; 85,7; 37,4; 12,5 e 14,0 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg e S. O manejo do nabo forrageiro no estágio de pré-florescimento apresenta rápida degradação de resíduos, acarretando liberação de quantidades significativas de macronutrientes.

Tejada *et al.* (2008) estudaram o efeito de adubos verdes, entre eles o nabo forrageiro, nas propriedades biológicas do solo e produtividade do milho. Observaram que a aplicação de adubos verdes trouxe melhorias nas propriedades biológicas do solo, assim como na nutrição, produção e qualidade de milho produzido. Afirmaram que essa melhoria depende da composição química dos adubos verdes aplicados sobre o solo, assim, a diferença na relação C/N se manifesta em uma evolução diferente nas propriedades

biológicas do solo e produtividade do milho. Concluíram que, quando adubos verdes com relação C/N próxima de 20 são aplicados sobre o solo, facilitam a degradação da matéria orgânica, resposta que pode ser aplicada a este trabalho, porquanto a relação C/N se apresentou abaixo de 20.

O índice H é calculado a partir do valor da matéria orgânica aportada e reflete a quantidade de húmus gerado pelos resíduos adicionados. Assim, neste trabalho, maior contribuição de húmus ao solo seria esperada nas parcelas com crambe e menor contribuição pela testemunha. Espinoza, Lozano e Velásquez (2007) observaram que as mudanças em carbono e nitrogênio do solo, em resposta às práticas de cultivo do solo e à rotação de cultivos foram relacionadas com a quantidade e qualidade de resíduos de plantas que retornam ao solo.

Considerando a utilização das plantas da família *Brassicaceae*, estudadas para a produção de biocombustível, na Tabela 22 são apresentados os dados de produtividade, teor de óleo e porcentagem de germinação de canola, nabo forrageiro e crambe.

Tabela 22 Produtividade, teor de lipídeos e porcentagem de germinação das sementes das plantas de cobertura canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*). Braganey - PR, 2011

	Produtividade	Teor de óleo	Germinação
Brassicáceas	----kg ha ⁻¹ ----	-----%-----	
Canola	124 c	32 b	53 b
Nabo forrageiro	422 b	29 c	97 a
Crambe	1372 a	42 a	86 a
Média geral	718	34,07	82,9
Coef. de variação (%)	25,49	3,03	5,04
Valores de F	54,24*	216,7*	0,00*

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. Os dados apresentados para germinação são os obtidos das observações originais seguidos das letras obtidas na comparação de médias com a transformação em $\sqrt{x}$.

Das plantas de cobertura brassicáceas estudadas neste trabalho e as condições edafoclimáticas deste estudo, a canola apresentou a menor produtividade, considerando que a espécie apresentou problemas no cultivo. O nabo forrageiro, com produtividade intermediária, apresentou 422 kg ha⁻¹. O crambe apresentou produtividade de 1372 kg ha⁻¹, média que é citada para a espécie. Segundo dados da Fundação MS, as produtividades do crambe giram em torno de 1000 a 1500 kg ha⁻¹, assim, os resultados deste trabalho estão dentro da média.

No trabalho de Jasper, Biaggioni e Silva (2010) foi avaliado o potencial produtivo e o custo de produção do crambe, conduzido em sistema plantio direto, comparando estes parâmetros com outras culturas oleaginosas como: girassol, canola e soja. A produtividade

de crambe obtida foi de 1.507,05 kg ha⁻¹ e o teor de óleo de 33,98%. O custo de implantação e condução do crambe por hectare foi de R\$ 875,87, resultando no custo de R\$ 1,56 por litro de óleo, sendo o menor custo entre as culturas oleaginosas analisadas. A produtividade foi superior à apresentada neste trabalho, porém o teor de óleo foi inferior.

Ainda no trabalho de Jasper, Biaggioni e Silva (2010) a canola produziu 1.400,00 kg ha⁻¹ e teor de óleo de 40%. Estes resultados confirmam a capacidade produtiva da canola, que neste trabalho foi prejudicada pelas condições de clima - discutido anteriormente - praticamente inviabilizando a planta para a produção. Além disso, a canola é altamente exigente em N (RATHKE, BEHRENS, DIEPENBROCK, 2006) e seu cultivo pode ser inviável após a cultura do milho, que absorve e imobiliza o N e a semeadura das plantas de cobertura foi efetuada sem adubação.

Sementes de crambe apresentaram o maior teor de lipídeos, seguido pela canola. O nabo forrageiro obteve o menor valor. O teor de óleo do crambe de 42% foi maior do que o citado na bibliografia que é de 36 a 38% (FUNDAÇÃO MS, 2010). Lazzeri *et al.* (1994), em estudos com duas variedades de *Crambe abyssinica* encontraram teor de óleo de 35%, composto por mais de 56% de ácido erúico. Para a canola citam-se de 40 a 46% de óleo no grão (HERNANI *et al.* 1995); o nabo forrageiro apresenta de 40 a 54% (CALEGARI, 2006; DOMINGOS; WILHELM; RAMOS, 2010), portanto, superiores ao apresentado no presente estudo.

Analisando a porcentagem de germinação das sementes de brassicáceas colhidas, observa-se que nabo forrageiro e o crambe apresentaram porcentagem de germinação estatisticamente semelhantes, já a canola apresentou valor reduzido, considerado abaixo do mínimo exigido para comercialização que é de 80%.

5.3.3 Características da soja

Elevado aporte de material vegetal pode influenciar a cultura comercial, principalmente na emergência e desenvolvimento inicial, da mesma forma que podem afetar plantas invasoras, por supressão ou alelopatia ou, ainda, interação entre os fatores. Essa influência também pode ser positiva, considerando que os resíduos vegetais criam condições de umidade e temperatura mais apropriadas. A cobertura do solo por resíduos orgânicos evita grandes variações de temperatura e umidade nas camadas superficiais durante o dia, importante para germinação de sementes (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2010). Na Tabela 23 são apresentados os dados médios de emergência, estande inicial e índice de clorofila de plantas de soja, após o cultivo com plantas de cobertura brassicáceas.

Tabela 23 Índice de velocidade de emergência, velocidade de emergência, porcentagem de emergência, estande inicial de plântulas de soja e índice de clorofila de folhas de soja submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*). Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	IVE	VE Dias	EMER %	Estande inicial Plantas m ⁻¹	IC (V4/V5)	IC (Flores.)
Testemunha	31,37 a	9,13 b	83 a	13,20 a	34,17	39,77
Canola	29,33 a	9,27 a	82 a	13,00 a	35,71	40,43
Nabo forrageiro	31,49 a	9,12 b	83 a	13,40 a	37,66	38,08
Crambe	22,83 b	9,39 a	68 b	11,00 b	34,39	39,15
Média geral	28,69	9,22	78	12,61	4,69	5,37
C. variação (%)	7,28	1,57	7,40	7,93	35,46	39,24
Valores de F	18,92*	3,99*	7,62*	6,09*	4,61*	0,93 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. IVE = Índice de velocidade de emergência, VE = velocidade de emergência, EMER = porcentagem de emergência, IC = índice de clorofila. V4/V5 = estágio de desenvolvimento vegetativo. Flores.: estágio de florescimento.

Na análise dos dados de emergência das plântulas de soja, observa-se que, em geral, esta foi afetada de forma negativa pela cultura do crambe, a qual reduziu significativamente o índice de velocidade de emergência (IVE), a porcentagem de emergência (EMER) e o estande inicial em relação aos demais tratamentos. O principal problema com o crambe foi ocasionado pela queda de sementes e consequente germinação destas, as quais competiram com a cultura da soja. Além da possibilidade de efeito de compostos alelopáticos dos resíduos vegetais sobre o cultivo comercial, hipótese não testada neste trabalho. Porém, Spiassi *et al.* (2011) estudaram o efeito dos restos vegetais do crambe sobre a cultura do milho e observaram que os restos vegetais de crambe propiciou redução no comprimento da parte aérea, raiz e massa seca da parte aérea das plântulas de milho. As plântulas de milho originadas do tratamento com restos vegetais de crambe reduziram o crescimento radicular em 51,60%, em relação ao controle. Os autores afirmaram que tal fato pode estar relacionado à ação inibitória, a qual caracteriza efeito alelopático negativo sobre as plântulas de milho, o que pode ter acontecido neste trabalho, com a cultura da soja.

Nóbrega *et al.* (2009) analisaram o potencial alelopático de coberturas vegetais de inverno na germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja, em experimento de laboratório, com substrato de areia, onde foram cultivadas plantas de cobertura, por 30 dias, mantendo os restos culturais das plantas de cobertura. Em relação ao tratamento com nabo forrageiro, verificaram maior índice de velocidade de emergência da soja após o cultivo desta planta, o que indica que, assim como neste trabalho, o nabo forrageiro não influenciou de forma negativa o IVE da soja, mesmo apresentando a maior produção de resíduos vegetais (Tabela 21).

Neste trabalho, o crambe foi o mais agressivo, tanto no controle de plantas invasoras como nos efeitos sobre a cultura principal. Segundo Morris *et al.* (2010), o manejo dos restos culturais das plantas de cobertura pode ser problema em sistemas plantio direto, pois os resíduos da fitomassa podem impedir ou dificultar a emergência da cultura. No campo, os efeitos alelopáticos negativos sobre a germinação levam à desuniformidade da cultura, uma vez que os aleloquímicos podem proporcionar, além de outros efeitos, estresse oxidativo, formando espécies reativas de oxigênio, como o H_2O_2 , que atuou de forma direta ou como sinalizador nos processos de degradação celular, causando danos em processos fisiológicos e alterando o desenvolvimento inicial das plântulas (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Em relação à canola, assim como neste estudo, Spiassi *et al.* (2011) afirmaram que o tratamento com restos vegetais de canola não apresentou efeito negativo na cultura do milho, o que indica que esta pode ser utilizada como cobertura vegetal no solo antes da semeadura do milho, pois estimulou o crescimento com consequente aumento da massa seca de parte aérea.

Silva *et al.* (2011b) avaliaram o potencial alelopático da camelina *Brassicaceae* (*Camelina sativa* Boiss.) sobre a germinação e o desenvolvimento inicial de plântulas de soja e picão-preto, a fim de verificar a possibilidade do cultivo da espécie com a soja no sistema de rotação de culturas e de seu uso como herbicida. Observaram que o extrato aquoso das folhas de camelina apresenta potencial alelopático quando administrado à soja, e exerce influência positiva em sua germinação e desenvolvimento, tornando-se opção de cultivo rotacionado com a cultura. Quando administrado ao picão-preto, mostrou atividade inibitória, sendo essa representada pelo atraso na germinação das sementes, assim, indicaram a camelina como opção de controle de plantas invasoras. Ressaltando que a camelina é da mesma família das plantas estudadas neste trabalho.

Quanto à velocidade de emergência (VE) as parcelas com testemunha e nabo forrageiro apresentaram emergência mais rápida. De acordo com Ramos *et al.* (2008), a deposição de resíduos vegetais sobre o solo ocasiona mudança nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente edáfico, e, dependendo da espécie, pode afetar a emergência e o crescimento das plantas, este efeito também pode ser positivo. Tokura e Nóbrega (2002) testaram a influência de coberturas vegetais sobre a germinação e desenvolvimento inicial da soja e verificaram que o nabo forrageiro e a colza (semelhante à canola) afetam positivamente o comprimento radicular das plântulas de soja, bem como as médias de massa seca, porém, a germinação não sofreu alteração significativa.

O índice de clorofila das folhas de soja, medido nos estádios V4/V5 e R2, não foi influenciado pelo manejo empregado. Isso pode ter ocorrido, principalmente, pelo fato de o índice de clorofila ser uma medida indireta do teor de nitrogênio e, como a soja possui a capacidade de fixar esse nutriente da atmosfera, a disponibilização desse elemento não é

limitante. Diferente do que aconteceu com plantas de milho no primeiro ano, neste caso não houve diferença do teor de nitrogênio foliar (Tabela 24). Confirmado por Vitti e Trevisan, (2000) que afirmaram que de todo N extraído pela soja, a fixação simbiótica do N₂ atmosférico é responsável por 65 a 85%.

Tabela 24 Teores de macro e micronutrientes presentes nas folhas da soja submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*). Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Macronutrientes				Micronutrientes			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			
Testemunha	52,13	2,16	14,66	16,82	7,07	75,29	23,65	123,97
Canola	51,06	2,34	14,45	13,61	6,82	85,43	16,38	109,45
Nabo forrageiro	49,89	2,02	14,25	13,56	7,29	75,84	19,97	142,03
Crambe	49,43	2,15	13,13	14,43	7,21	83,19	19,59	127,38
Média geral	50,58	2,15	14,08	14,71	7,13	79,33	20,29	127,51
CV	4,65	8,55	6,76	25,65	6,78	15,16	47,52	25,54
Valor de F	1,31 ^{ns}	1,85 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,65 ^{ns}

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

Na análise dos teores de macro e micronutrientes foliares de soja verifica-se que os valores médios foram semelhantes entre os tratamentos estudados, assim, o teor de nutrientes foliar não foi afetado pelo manejo empregado. Considerando as condições gerais do experimento, independente do tratamento empregado, quanto ao teor nutrientes, observa-se que potássio (K) e ferro (Fe) encontram-se com valores inferiores aos adequados para a soja, de 17-25 e de 50-350 g kg⁻¹, respectivamente. Os valores adequados em folhas de soja para Zn variam de 20-50 g kg⁻¹, inferiores aos apresentados neste trabalho, os quais foram superiores a 100 g kg⁻¹.

No caso do Fe, embora no decorrer do experimento seu valor no solo tenha reduzido (Tabelas 4 e 16) ainda continuou alto, conforme considerado por Raij (2011), acima de 12 mg dm⁻³, não justificando a deficiência foliar. Porém, quando a concentração de Mn é elevada na solução do solo (Tabela 16), há acréscimo expressivo desse elemento no tecido foliar (ESCOSTEGUY *et al.*, 2006), e, nessa situação, o Mn é transportado das raízes para as folhas, acumulando nesse órgão (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 1980). Embora o Mn seja essencial às plantas, o acúmulo nas folhas pode causar toxidez às plantas, o que prejudica o desenvolvimento da parte aérea. Entre outros danos, o excesso de Mn pode ocasionar o decréscimo da absorção de Fe e de Mg, da síntese de clorofila e de auxinas nas plantas. Esses danos reduzem o rendimento de grãos, o que ainda resulta, no caso da cultura da soja e outras leguminosas, na inibição da nodulação, decrescendo o número de vagens, a massa e o tamanho de grãos (ESCOSTEGUY *et al.*, 2006).

De acordo com Spera *et al.* (2011), em sistemas plantio direto a aplicação superficial de calcário resulta em valores de pH mais elevados em superfície, o que em consequência, deveria diminuir e não aumentar o teor de Mn. Porém, as maiores quantidades desse nutriente, neste sistema, têm sido atribuídas ao maior teor de MOS existente nos solos com este manejo (MOREIRA *et al.*, 2006). Neste trabalho, não foram observados sintomas de toxidez na cultura, entretanto, como os sintomas se manifestam em situação de estresse causado por este cátion, isto não significa que o rendimento das plantas não possa ser limitado pelo alto teor de Mn (SPERA *et al.*, 2011).

Valores de produtividade da soja, após o manejo com brassicáceas são apresentados na Tabela 25, em que se observa que apesar de não haver diferença estatística entre as médias de produtividade dos tratamentos, quando se trata de produtividade, alguns aspectos econômicos devem ser considerados.

Tabela 25 Produtividade, produção relativa em comparação à testemunha e massa de 100 sementes de soja após o cultivo com plantas de cobertura canola (*Brassica napus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica*). Braganey - PR, 2011

Tratamentos	Produtividade ---kg ha ⁻¹ ---	Produção relativa ---%---	Massa de 100 sementes ----g----
Testemunha	1681	100	14,7 b
Canola	1891	112	14,4 b
Nabo forrageiro	1739	103	15,3 a
Crambe	1401	83	14,3 b
C. de variação (%)	17,39	-	3,32
Média geral	1653	-	14,7
Valores de F	2,12*	-	4,18*

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo.

A testemunha apresentou valor inferior à canola e ao nabo forrageiro; a produtividade do crambe foi inferior à da testemunha, confirmado na análise da produção relativa, em que a produtividade da soja cultivada após o crambe foi 17% menor que a testemunha e 29% menor que a canola.

Economicamente, considerando o preço da saca de 60 kg da soja praticado em 2012, que girou em torno de R\$ 70,00 (CONAB, 2012b) e comparando a produtividade do crambe com a da canola, que apresentou maior valor, encontra-se a diferença de mais de oito sacas, ou seja, nas parcelas cultivadas com canola o produtor obteria acréscimo de R\$ 571,00 por hectare. No caso da comparação da canola com a testemunha, o acréscimo seria de R\$ 245,00 ha⁻¹. Este fato confirma a viabilidade da canola como planta de cobertura, por apresentar benefícios para a cultura da soja, mesmo não apresentando pleno desenvolvimento de sua potencialidade.

Dependendo da cultura utilizada em rotação, tal método pode passar a ser limitante, devido à incorporação dos restos da cultura anterior no solo, que podem exercer efeitos alelopáticos danosos no cultivo seguinte, afetando seu crescimento e produtividade (FERREIRA; ÁQUILA, 2000). Como observado neste trabalho na cultura do crame, a qual afetou o desenvolvimento e a produtividade da soja em sucessão (Tabela 23).

Em geral, a produtividade da soja foi abaixo do esperado, devido, principalmente, à condição de déficit hídrico ocorrida durante todo o ciclo, mais evidenciada no mês de dezembro, fase crítica para o desenvolvimento da cultura. Segundo Franchini *et al.* (2009), o modelo de sistema produtivo utilizado principalmente nas regiões Norte e Oeste do Estado do Paraná, baseado na sucessão soja/milho safrinha, tem contribuindo para maior vulnerabilidade da agricultura às condições de estresse hídrico. Estes autores afirmaram que o aumento da estabilidade da produção da soja, face à ocorrência de períodos de deficiência hídrica, requer o uso de sistemas de rotação de culturas, os quais contemplem grande capacidade de produção de fitomassa e sistema radicular abundante e agressivo. Efeito este, a ser observado em longo prazo.

A produtividade média do estado do Paraná na safra 2011/2012 foi de 2.455 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012a) e para região do município de Cascavel a produtividade foi de 2.610 kg ha⁻¹ (DERAL, 2013), superiores à apresentada neste trabalho.

Segundo Pires *et al.* (2008), quando se alcança uma produção elevada de fitomassa de plantas de cobertura do solo durante a entressafra (estação seca), nas primeiras semanas de estabelecimento da cultura comercial, ela fica protegida contra variações de temperatura e diminui a evaporação de água, resultando em maior resistência das plantas a períodos de déficit hídrico. Porém, no período de maior déficit hídrico, a cobertura já estava em fase adiantada de decomposição, devido às condições climáticas e baixa relação C/N do material.

Outros trabalhos também não encontraram diferenças significativas na produtividade com cultivo de plantas de cobertura. No estudo de Sanches (2012), a produtividade da cultura de soja em sucessão às plantas de cobertura, não apresentou diferença significativa entre as médias. Isso demonstra que, após o primeiro ciclo de cultivo destas plantas, não há influência direta no aumento ou diminuição do potencial produtivo da cultura de verão. Restovich, Andriulo e Portela (2012) incluíram plantas de inverno na sucessão de culturas milho/soja na região do Pampa Úmido, Argentina. Neste estudo concluíram que a inclusão de algumas espécies - entre elas, canola e nabo forrageiro - aumentou a eficiência do uso de água e nitrogênio, comparadas com período de pousio entre as culturas de verão, sem reduzir a produtividade da cultura principal. Assim como no trabalho de Valicheski *et al.* (2012), em que os componentes de produção e produtividade da soja cultivada após as

espécies de adubo verde, observou-se efeito não significativo das plantas de cobertura, dos níveis de compactação e nem da interação dos fatores.

Diferente do observado neste trabalho, alguns autores encontraram melhorias nas condições de cultivo após manejo com plantas de cobertura, culminando com aumento na produtividade. Gazola e Cavariani (2011), avaliando aveia branca, nabo forrageiro, cevada, trigo e ervilhaca sobre soja transgênica, verificaram que a produtividade de grãos de soja foi influenciada pelas culturas de inverno semeadas anteriormente e que, entre estas, o nabo forrageiro se destaca, tanto no número de nódulos nas raízes como para a massa de matéria seca de nódulos em planta de soja. Os autores associaram a maior produtividade a este aumento na nodulação. Segundo Calegari (2008), o uso do nabo forrageiro antecedendo ao milho no inverno, em rotação com a soja, gerou rendimento superior das culturas, tanto sob plantio direto como convencional. Carvalho *et al.* (2007) estudaram a produtividade do milho após cultivo de espécies de cobertura de inverno e observaram que a cobertura de aveia preta + nabo forrageiro proporcionou maior produtividade de grãos de milho que a cobertura com a ervilhaca solteira. Estes resultados demonstraram que o uso de plantas de cobertura tem efeitos positivos sobre a cultura comercial.

Chen e Weil (2011) avaliaram o efeito da compactação do solo e plantas de cobertura no crescimento radicular e produção de milho, na região do meio-atlântico, EUA. As plantas de cobertura estudadas foram nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), canola (*Brassica napus*) e centeio (*Secale cereale*), e sem plantas de cobertura. O milho sob alta compactação, alcançou maior profundidade de raízes após o cultivo de nabo forrageiro e canola quando comparados ao centeio e tratamento sem plantas de cobertura. O milho alcançou as maiores produtividades nos tratamentos com plantas de cobertura em relação ao sem estas plantas, independentemente da compactação. Assim como no estudo em questão, canola e crambe não afetaram a produtividade da cultura principal.

A massa de cem sementes de soja, colhidas após cultivo com nabo forrageiro, apresentaram maior valor, assim como maior teor de água, neste caso, junto com sementes cultivadas após o crambe. Segundo Marcos Filho (2005), a ocorrência de deficiência hídrica ou demais variações climáticas no período de transferência de matéria seca, podem provocar redução da massa das sementes, originando sementes menos densas e com desempenho comprometido, principalmente quando a seca é concomitante à ocorrência de temperaturas elevadas. Neste trabalho, no ano agrícola 2011/2012, as plantas de soja sofreram estresse hídrico durante a fase de florescimento (Figura 14), discutido anteriormente.

Quanto à análise da qualidade destas sementes de soja, após o manejo com brassicáceas, mostrada na Tabela 26, observa-se que apenas o teor de água foi afetado pelo manejo, sendo que a testemunha e a canola apresentaram os menores valores.

Tabela 26 Porcentagem de germinação, envelhecimento acelerado e teor de água de sementes de soja colhidas, submetida aos tratamentos de cobertura vegetal com brassicáceas. Braganey - PR, 2011/2012

Tratamento	Germinação	Env. acelerado	Teor de água
	-----%-----		
Testemunha	91	79	9,9 b
Canola	87	77	9,5 b
Nabo forrageiro	93	80	10,4 a
Crambe	93	82	11,2 a
Coef. de variação (%)	2,96	3,74	7,50
Média geral	92	78	10,3
Valores de F	3,16 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,83 [*]

Notas: Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; ^{*} significativo. Os dados apresentados para germinação e envelhecimento acelerado são os obtidos das observações originais seguidos das letras obtidas na comparação de médias com a transformação em $\sqrt{x}$.

Apesar do desenvolvimento da soja ter sido afetado pelo cultivo após o crambe, este efeito não foi observado na semente da soja colhida, visto que germinação e envelhecimento acelerado não foram influenciados. Morris *et al.* (2010) enfatizaram a necessidade do manejo adequado das plantas de cobertura, de forma que os resíduos vegetais promovam a proteção do solo sem que haja alta proporção de resíduos na superfície, em decorrência da dificuldade na semeadura da cultura, profundidade inadequada das sementes, dificuldade de emergência devido à fitotoxicidade e alterações na propriedade física do solo, fatores estes passíveis de comprometer a qualidade das sementes.

Visando correlacionar os componentes de produção às plantas de cobertura e sua relação sobre os componentes de produção da soja, apresenta-se na Tabela 27 a correlação linear de Pearson. Ressaltando novamente que, o fato de algumas variáveis não apresentarem correlações, não significa que elas não existam, mas que podem não ser lineares.

Assim como observado no ciclo de cultivo do milho (Tabela 14), neste caso houve correlação negativa muito forte entre massa fresca (MF) e massa seca (MS) e incidência de plantas invasoras em todas os períodos analisados (I30C, I60C, I30S e ICS), o que indica que quanto maior a quantidade de fitomassa deixada sobre o solo menor a incidência de plantas invasoras. Confirmando, como discutido anteriormente, que o aporte de fitomassa sobre o solo exerce supressão da comunidade invasora.

Tabela 27 Coeficientes de correlação entre atributos relacionados as plantas de cobertura e componentes de produção de soja. Braganey - PR, 2011/2012

	I30C	I60C	MF	MS	IVE	VE	I30S	ICS	NS	IC	Prod.
I30C	1	1,00*	-0,75	-0,92	-0,90	0,49	1,00*	1,00*	0,84	0,29	0,02
I60C		1	-0,75	-0,93	-0,91	0,51	1,00*	1,00*	0,85	0,30	0,05
MF			1	0,56	0,52	-0,87	-0,74	-0,74	-0,85	-0,85	-0,15
MS				1	1,00*	-0,44	-0,93	-0,94	-0,86	-0,14	-0,31
IVE					1	-0,42	-0,91	-0,92	-0,84	-0,10	-0,33
VE						1	0,49	0,50	0,84	0,93	0,57
I30S							1	1,00*	0,85	0,28	0,05
ICS								1	0,86	0,29	0,06
NS									1	0,62	0,51
IC										1	0,34
Prod.											1

Notas: I30C e I60C = Plantas invasoras das plantas de cobertura na avaliação aos 30 dias e 60 dias após a semeadura, MF e MS = massa fresca e seca da parte aérea das brassicáceas, IVE = índice de velocidade de emergência, VE = velocidade de emergência, I30S e ICS = plantas invasoras encontradas na cultura da soja na avaliação aos 30 dias após a semeadura e após a colheita, NS = teor de nitrogênio foliar na cultura da soja, IC = índice de clorofila nas folhas de soja e Prod. = produtividade da cultura da soja. * Significativo a 5% de probabilidade.

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi afetado negativamente pela incidência de plantas invasoras, assim, pode-se dizer que quanto maior o número de plantas invasoras sobre o solo, menor o IVE das plântulas de soja.

Cabe destacar que, em análise geral deste ano de experimento, as culturas foram semeadas na resteva da anterior, em plantio direto, inclusive na testemunha, o que explica alguns resultados encontrados, em que a testemunha apresentou comportamentos semelhantes às plantas de cobertura; além do aporte de fitomassa das plantas invasoras. As propriedades físicas do solo não foram influenciadas pelo sistema de manejo, com exceção do teor de água do solo que respondeu de forma positiva à adição dos resíduos, maiores alterações necessitam de maior tempo para se estabelecerem. Já as propriedades químicas do solo apresentaram melhorias, com destaque à solubilização do fósforo, aumento da CTC e redução do pH.

Em geral, houve incremento de matéria orgânica do solo, sendo que, na análise do final do experimento, as parcelas com plantas de cobertura apresentaram maior valor quando comparadas à testemunha. Ressaltando que este efeito é resultado dos dois anos experimentais, sendo assim, este acréscimo é resposta de todo o sistema de rotação de culturas. As frações húmicas da matéria orgânica do solo apresentaram mudanças, analisadas principalmente nas relações AH/AF e EA/HU, com acréscimo no teor da fração ácidos fúlvicos, que é a primeira a ser alterada quando há adição recente de matéria orgânica.

O manejo com as plantas de cobertura em estudo, independente de qual delas, apresentou eficiente controle da comunidade invasora, sendo que a redução observada foi

de 100 para 7%. Resultado atribuído também ao aporte de resíduos ao solo, influenciando a comunidade invasora por efeitos físicos ou químicos.

O cultivo da canola foi afetado pelas condições climáticas da região, porém apresentou características consideradas importantes como planta de cobertura vegetal (adubo verde), mas como planta produtora de óleo mostrou-se inviável. O crambe não é indicado como planta de cobertura quando a cultura da soja é cultivada em sucessão, visto que prejudicou o desenvolvimento e produção da cultura. No entanto, apresentou alta produtividade de grãos e óleo, importante se o objetivo do produtor for a produção de biocombustível, além do controle eficiente de espécies invasoras, necessitando ser mais estudada. O nabo forrageiro apresentou características importantes para ser considerada planta de cobertura, melhorando as condições do ambiente de cultivo sem prejudicar a cultura principal. Contudo, a produtividade de grãos da planta foi baixa, necessitando melhorar para otimização da produção de biodiesel.

5.4 Características do solo durante o desenvolvimento do experimento: interações entre os anos

Considerando que não houve diferenças significativas entre as plantas de cobertura estudadas, nos dois cultivos, na maioria das variáveis, optou-se por comparar o seu comportamento no decorrer dos dois anos de experimento, considerando os valores das testemunhas e as médias das plantas de cobertura.

Na análise da matéria orgânica do solo (MOS) observa-se que, partindo de um valor inicial semelhante, as parcelas com plantas de cobertura apresentaram incremento de MOS no decorrer do experimento (Figura 18). Esse acréscimo está diretamente relacionado ao aporte de material vegetal e consequente melhoria nas condições do solo. Na última análise, após a colheita da cultura da soja, foi observado aumento de 25% nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura em relação à testemunha.

Outros trabalhos apresentaram maior teor de matéria orgânica do solo (MOS) após o manejo com plantas de cobertura em rotação de culturas. Rossi *et al.* (2012) verificaram que a introdução de braquiária no cultivo da soja em sistema plantio direto apresentou efeito positivo, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico no solo em todas as profundidades avaliadas, quando comparadas com a área de referência. Em estudos realizados por Tiecher, Santos e Calegari (2012) com o cultivo do solo no inverno por dez anos, utilizando rotações de culturas - tremoço azul, ervilhaca peluda, aveia preta, nabo forrageiro, trigo e pousio, observaram que o teor de carbono orgânico total em ambos os sistemas de manejo

do solo (plantio direto e convencional) aumentou em relação ao pousio, principalmente na superfície do solo, nas camadas (0-0,05 e 0,05-0,10 m).

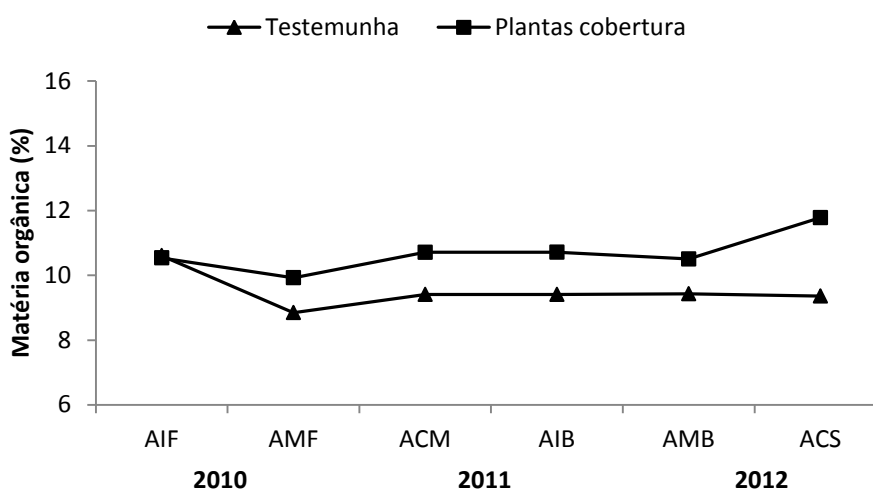


Figura 18 Comportamento da matéria orgânica do solo, em coleta aos 0-0,10 m, antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Silva *et al.* (2011a), em estudos com plantas de cobertura em Latossolo vermelho distroférrico, observaram que as culturas de girassol, crotalária e o consórcio aveia preta mais crotalária proporcionaram maiores teores de carbono orgânico total. Campos *et al.* (2011) investigaram sistemas de preparo de solo e de rotação de culturas sobre o estoque de carbono, em diversos aspectos. Observaram que o estoque apresentou relação linear com o aporte anual de carbono, independentemente do sistema de preparo empregado. Esses resultados mostram que a diversificação da rotação de culturas, com a inclusão de plantas de cobertura, é importante estratégia para o sequestro de C-CO₂ atmosférico e melhoria da qualidade da MOS em Latossolos subtropicais intemperizados.

Calegari *et al.* (2008) observaram, em estudo de longa duração com culturas de cobertura do solo em semeadura direta, que após 19 anos de avaliação todos os tratamentos envolvendo rotações aumentaram os estoques de carbono do solo, quando comparados com os da área sob pousio e concluíram que, o manejo contínuo sob SPD combinado com o uso de culturas de cobertura de inverno resultou em maior quantidade de MOS na superfície do solo, sendo o único tratamento cultivado que se aproximou das condições de floresta.

Entretanto, há outros estudos que não verificaram alterações no conteúdo de MO. Spera *et al.* (2011) observaram que o teor de MOS não mostrou acréscimos, mesmo após

mais de duas décadas de cultivo, eles estudaram o sistema plantio direto, o sistema de plantio convencional e a rotação de culturas. Em estudos sobre propriedades físicas do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra, Souza Neto *et al.* (2008) observaram que as plantas de cobertura, entre elas crotalária, utilizadas em sistema de semeadura direta apresentaram maior estabilidade de agregados e maior densidade do solo em relação ao pousio. Em relação à MOS o sistema de manejo não alterou o teor.

Neste trabalho, as rotações mostraram resultados distintos, conforme o tipo de manejo, sem tendência clara, refletindo talvez, diferenças na ciclagem pelas distintas espécies das rotações (MALAVOLTA, 2006).

No que se refere ao teor de cátions do solo, a soma de bases (SB), verifica-se comportamento semelhante nas parcelas com testemunha e parcelas com plantas de cobertura (Figura 19), semelhante ao apresentado para saturação por bases (Figura 20).

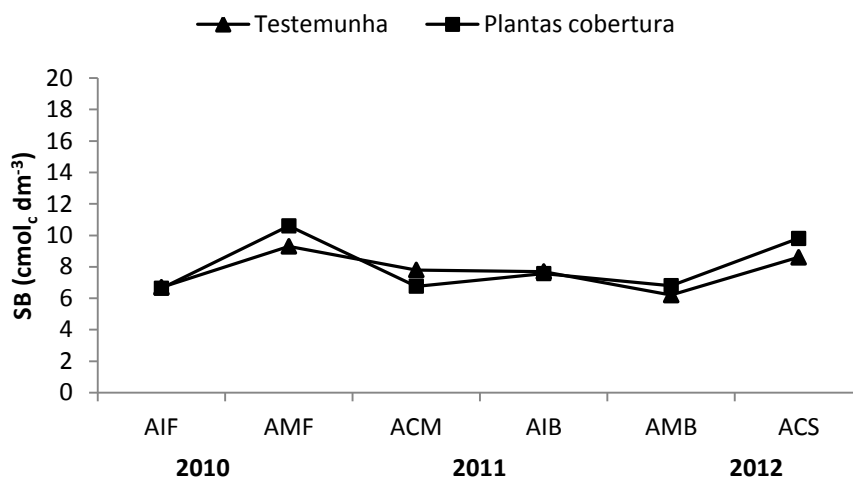


Figura 19 Soma de bases (SB) do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Spera *et al.* (2011) observaram que as propriedades químicas do solo não foram afetadas pela interação dos fatores estudados, que foram o sistema plantio direto, o plantio convencional e a rotação de culturas. Neste trabalho a rotação de culturas apresentou pequenas alterações.

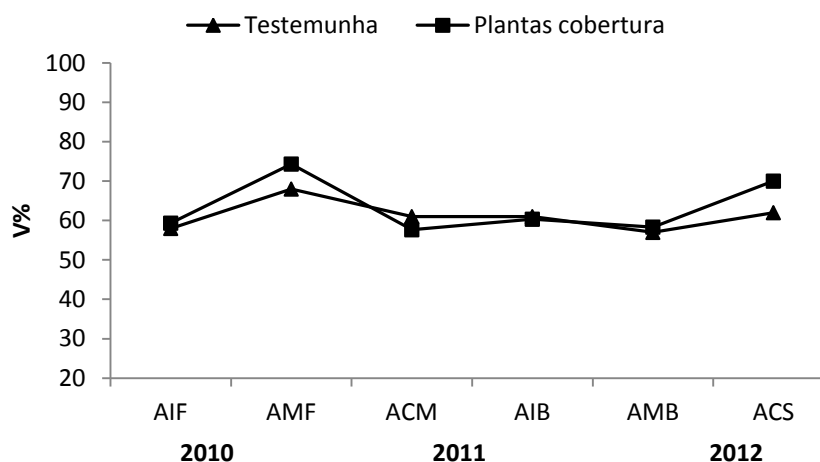


Figura 20 Valores calculados para saturação por bases (V%) solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Moreti *et al.* (2007) verificaram as alterações de alguns atributos químicos de um Latossolo vermelho de cerrado, sob as adubações orgânica e mineral e plantas de cobertura, estabelecidas nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional. Em relação às plantas de cobertura (crotalária e milheto), estas não alteraram os atributos químicos do solo e apresentaram comportamento semelhante entre si.

Entretanto, Arantes, Cremon e Luiz (2012), avaliando as alterações nos atributos químicos do solo cultivado no sistema plantio direto com plantas de cobertura, concluíram que o aporte de resíduos vegetais para cobertura do solo no sistema plantio direto promove, na camada superficial (0 a 5 cm), aumento nos valores dos atributos químicos, observando aumentos nos valores dos atributos pH, MO, P, Ca, Mg, K, V, (H+Al) e CTC.

Na análise do comportamento do pH durante o experimento, confirmando as discussões anteriores para o cultivo do milho e da soja, maiores alterações em seus valores foram observadas após o manejo das fabáceas em 2010/2011 e após a colheita da soja em 2011/2012 (Figura 21). Esta variação foi acompanhada pela testemunha, com exceção da análise após o manejo das plantas de cobertura fabáceas e após a colheita da soja, que apresentou aumento de quase 8% quando utilizadas plantas de cobertura. Isso ocorre porque, quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, etc.), há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH (HECKLER; HERNANI; PITOL, 1998).

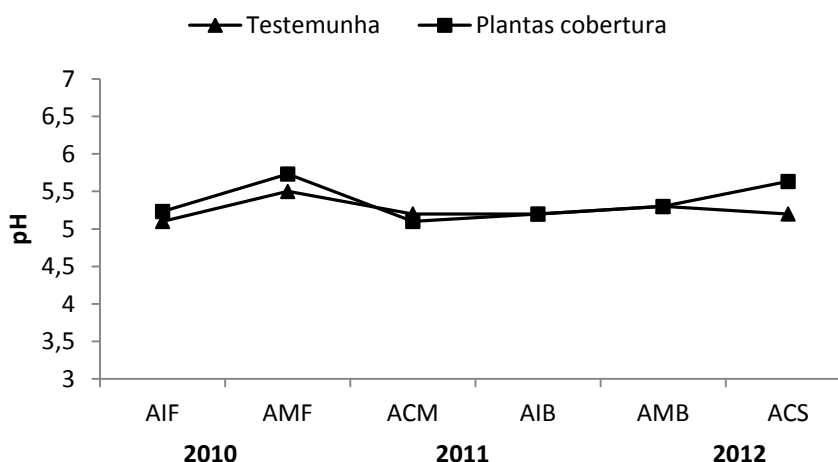


Figura 21 Valores de pH antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Ainda, de acordo com Pavinato e Rosolem (2008), a adição de resíduos vegetais resulta na elevação do pH por promover a complexação de H e Al com compostos do resíduo vegetal, deixando Ca, Mg e K mais livres na solução do solo, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC por esses cátions de reação básica.

Lembrando que, as plantas de cobertura também acidificam o meio, pela liberação de ácidos orgânicos por suas raízes. Moreti *et al.* (2007) encontraram menores valores de pH para os tratamentos com crotalária e milheto, em comparação à adubação orgânica com esterco de galinha e mineral, e afirmaram que é resultado das exudações ácidas das raízes das plantas que atuam diretamente no pH do solo.

O carbono do solo, com exceção da coleta após a colheita do milho, que apresentou comportamento irregular, aumentou no decorrer do experimento. Embora em menor escala, este resultado foi verificado também na testemunha (pH 4,5). Efeito semelhante na testemunha pode ser devido ao SPD e à manutenção da cobertura por plantas invasoras durante o desenvolvimento das plantas de cobertura que, anteriormente, era mantido limpo, com dessecação do terreno. Porém, como comprovado por Bayer *et al.* (2000). Em seus estudos com adição de $0,66 \text{ t ha}^{-1}$ de C via resíduo vegetal de plantas invasoras, estes autores estimaram, para um período de 100 anos, por simulação com modelos, que, após perda de $22,55 \text{ t ha}^{-1}$ de C desde o início da adoção deste manejo, o estoque de C iria se estabilizar em $100,66 \text{ t ha}^{-1}$. Assim, comprovaram que a adoção do sistema plantio direto de forma isolada, sem levar em conta a adoção de sistemas de culturas com satisfatória adição de resíduos, não é solução para se eliminar as perdas de C do solo.

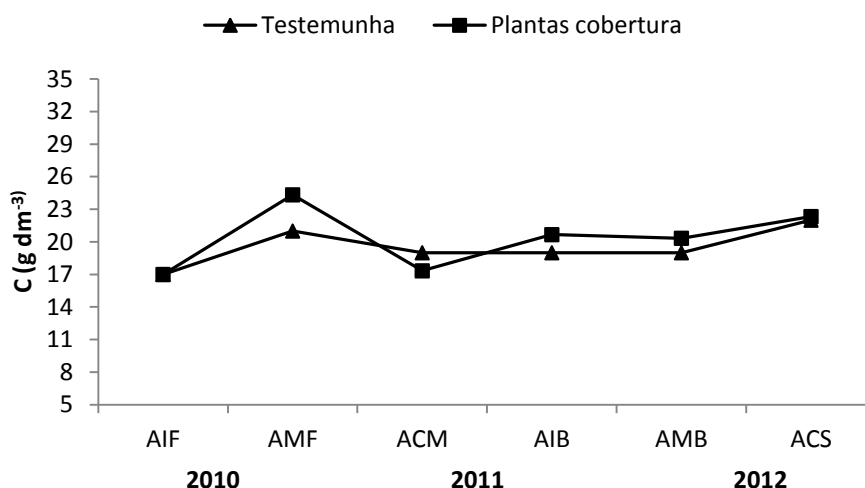


Figura 22 Carbono total do solo, na coleta de 0-20cm, antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Em geral, este solo apresentou de 17 a 24 g dm⁻³ de C na camada do solo de 0-0,20 m. Considerando o teor de matéria orgânica baseado no carbono do solo, este solo apresentou de 2,93 a 4,13%; a porcentagem ideal é de 5% (MEURER; RHEINHEIMER; BISSANI, 2010; RAIJ, 2011).

Os fatores de natureza física encontram-se representados nas Figuras 23, 24, 25 e 26, considerando que a qualidade física do solo é um dos principais fatores que determinam a produtividade das culturas e tendo em vista a influência que exerce diretamente sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, indiretamente, sobre os demais atributos do solo (químicos e biológicos) (TORRES; SARAIVA, 1999).

Aumento de macroporos foi observado após os dois anos de experimento, o que ocorreu inclusive nas parcelas com testemunha, destacando o período final, após a colheita da soja (Figura 23). Resultado inverso ao ocorrido com os microporos, em que houve redução do valor (Figura 24). Conforme Dias Júnior (2000), a compactação afeta primeiro os macroporos, os quais, por sofrerem expressiva deformação, podem transformar-se em microporos. Conforme este autor, a compactação do solo, apesar de alterar a macroporosidade pode, embora não necessariamente, afetar a porosidade total.

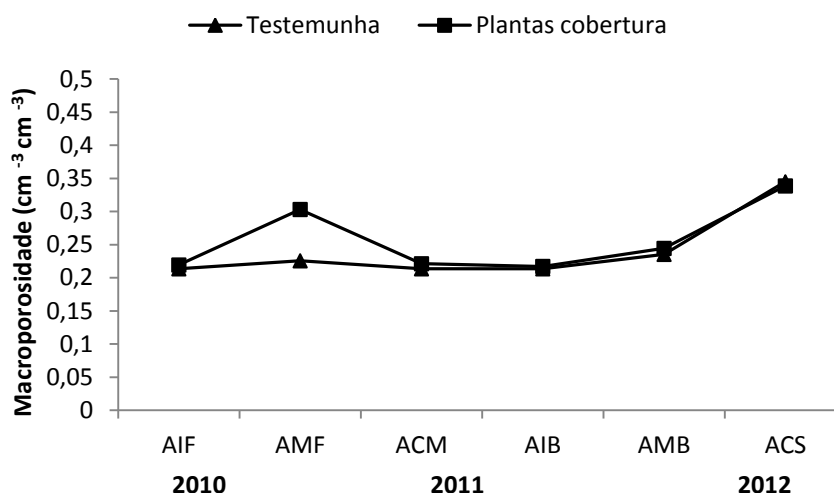


Figura 23 Macroporosidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

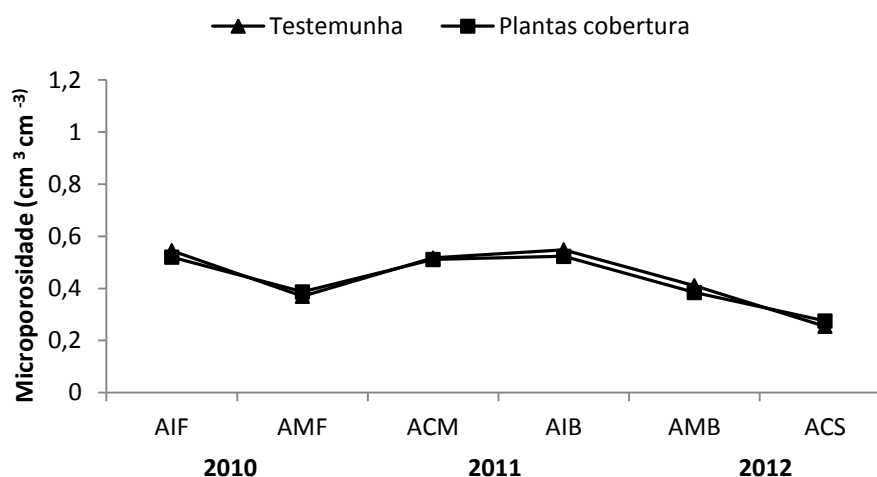


Figura 24 Microporosidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

A microporosidade é a principal responsável pela retenção da água, enquanto que a macroporosidade, deixa a água gravitacional escorrer com certa rapidez, passando os vazios a serem ocupados pelo ar (KIEHL, 1979). Neste trabalho, com aumento de macroporos e redução de microporos, pode-se afirmar que este solo se tornou mais drenado e bem arejado, melhorando as condições para o desenvolvimento radicular. O aumento de microporos é consequência da compactação, assim, o aumento de macroporos, evidencia a

ação descompactadora das raízes das plantas de cobertura, associado ao aumento de carbono que favorece o desenvolvimento de organismos do solo.

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento da água do solo, e são, relativamente menos influenciados pelos manejos do solo do que os macroporos, porém, neste solo, foram mais afetados, visto que a redução dos microporos foi acompanhada pela redução da porosidade total (Figura 25). A redução da porosidade total foi de, aproximadamente, 20%. Este comportamento da porosidade, que deveria permanecer constante, pode estar relacionado à umidade do solo no momento da coleta ou a outros fatores, mas não ao manejo empregado, já que a testemunha foi semelhante.

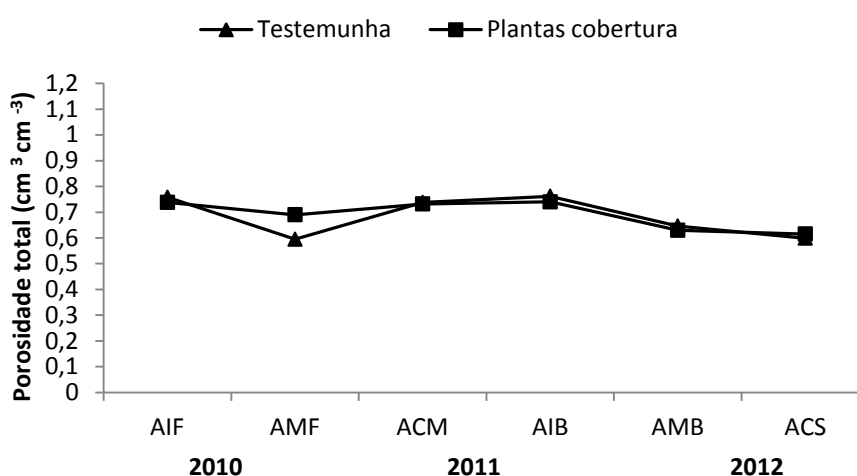


Figura 25 Porosidade total do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Silva *et al.* (2011a), em estudos com plantas de cobertura em Latossolo vermelho distroférrico, observaram que os valores de macroporosidade e porosidade total aumentaram na camada superficial, enquanto os valores de densidade do solo e de microporosidade foram menores nessa camada. Assim, concluíram que o sistema plantio direto com aporte contínuo de resíduos vegetais, minimiza a compactação do solo.

No presente estudo, o comportamento destas variáveis não ocorreu dessa forma. Houve aumento da densidade do solo (Figura 26) no decorrer do período de análise, o que pode estar relacionado ao tráfego de máquinas, que foi mais intenso no ciclo de cultivo da soja, a qual foi semeada com auxílio de trator e semeadora, quando comparada ao milho que foi semeado por semeadora manual. Pedrotti e Mélo Junior (2009) afirmaram que a ausência de revolvimento do solo em sistema plantio direto, associada à maior intensidade de uso da terra, expõe o solo a intenso tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade e contribui para alterar a qualidade estrutural do solo, o que acarreta aumento da

compactação. Porém, estes resultados foram semelhantes entre as parcelas cultivadas com plantas de cobertura e as deixadas em pousio (testemunha), essas alterações são atribuídas às condições edafoclimáticas da região.

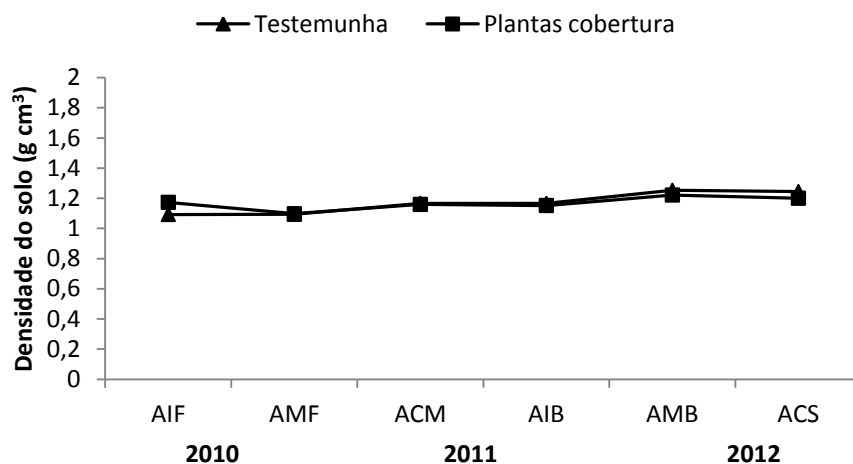


Figura 26 Densidade do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Com o passar dos anos, é de se esperar que a densidade do solo decresça nas parcelas com plantas de cobertura, devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica - observado, neste trabalho, no gráfico da Figura 18 - na camada superficial que favorece maior desenvolvimento da estrutura do solo (PEDROTTI; MÉLLO JUNIOR, 2009).

Munkholm, Heck e Deen (2012), estudando o efeito do sistema de manejo e rotação de culturas - milho, aveia, soja, cevada e trevo vermelho - encontraram o que chamaram de efeito fraco da rotação de culturas sobre a qualidade dos poros do solo. Porém, considerando o sistema plantio direto, concluíram que este só é viável quando realizado em conjunto com a rotação de culturas e manejo dos resíduos.

Resultados diferentes foram encontrados por outros autores. Calonego e Rosolem (2010) estudaram os efeitos da escarificação mecânica e rotação de culturas com tritcale, girassol, milheto, sorgo e crotalaria juncea, sobre o crescimento radicular e produtividade da soja e, baseados em seus resultados, afirmaram que a escarificação pode ser substituída por rotação de culturas que inclua espécies com agressivo sistema radicular a fim de aliviar os efeitos da compactação para a produtividade da soja em solos tropicais. Este efeito é gradual. Assim, para a rotação de culturas ser completamente efetiva e corrigir a compactação do solo são necessários de três a quatro anos. Considerando os dois anos de duração do experimento, com aumento da macroporosidade, a descompactação já teve início, mesmo sem ter se manifestado nas demais propriedades físicas do solo.

Em estudos realizados por Albuquerque *et al.* (2005), verificou-se, assim como observado neste trabalho (Figura 18), que as plantas de cobertura de verão aumentaram o teor de CO, mas não modificaram a estabilidade, os agregados e o grau de floculação. Estes autores afirmaram também que, em períodos mais longos, as plantas de cobertura, associadas aos preparos conservacionistas, pelo aumento do CO, podem melhorar as características físicas do solo.

Na análise das substâncias húmicas, incluindo suas frações, observa-se que houve incremento em seu teor no decorrer do experimento (Figuras 27, 28, 29 e 30), confirmando o aumento do teor de matéria orgânica nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura, discutido inicialmente e apresentado na Figura 18.

Na análise da soma das frações, observa-se que, em geral, incluindo a parcela cultivada em pousio (testemunha), houve redução destes valores nos períodos antes da implantação e após o manejo das brassicáceas (Figura 27). Este fato pode ser atribuído às condições ambientais, as quais favoreceram maior degradação e não à formação de matéria orgânica estabilizada.

Considerando que os estoques de MOS são determinados pela razão entre o aporte e perda do sistema e as plantas, pela ação do seu sistema radicular e as hifas de fungos, que potencializam as interações na formação de agregados estáveis e as interações com os minerais, a formação de agregados diminui a ação dos micro-organismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo (RIBEIRO *et al.*, 2011).

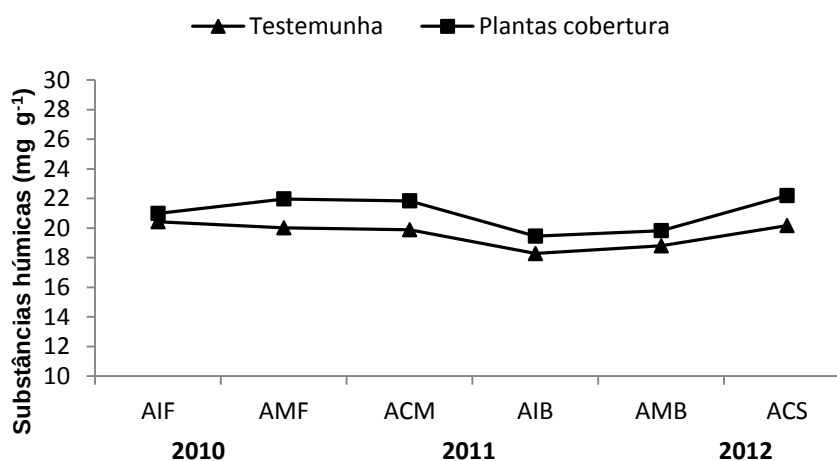


Figura 27 Substâncias húmicas (soma das frações) da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

O melhor entendimento da natureza das substâncias húmicas e dos fatores que governam sua estabilização auxiliará na busca de práticas de manejo que contribuam para sua preservação (SILVA; MENDONÇA, 2007).

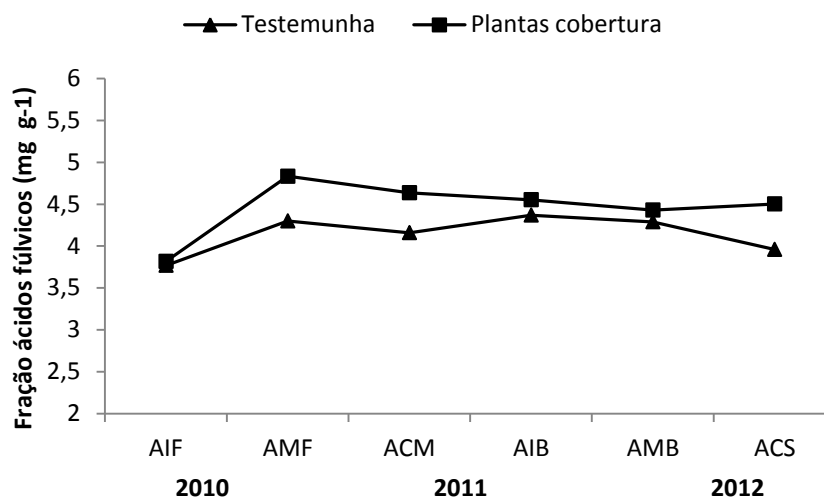


Figura 28 Fração ácidos fúlvicos da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

Das frações estudadas, a fração AF é o grupo de menor peso molecular e, aliado ao fato de apresentar maior densidade de grupamentos carboxílicos, revela maior solubilidade e polaridade que o AH, o que confere aos AF maior mobilidade no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). Esta característica pode favorecer a perda de matéria orgânica do solo, pela lixiviação junto com a água de percolação, o que pode justificar os menores valores no decorrer do experimento, considerando o período após o manejo das fabáceas com o maior valor.

Além disso, mudanças iniciais são esperadas nesta fração, já que esta reflete o primeiro estágio em direção à estabilização da matéria orgânica. O processo de estabilização da matéria orgânica do solo começa com a formação de ácidos fúlvicos e segue em direção a ácidos húmicos e depois humina, então, este carbono pode ter ido em direção à estabilização, observado no maior valor da fração ácidos fúlvicos, principalmente após o manejo da cultura da soja (Figura 29).

Embora o conteúdo da fração humina tenha reduzido no decorrer do experimento (Figura 30), em relação ao período inicial, principalmente nos períodos após a implantação e manejo das brassicáceas, observa-se que as parcelas com plantas de cobertura mantiveram

sempre maiores valores, confirmando a manutenção da matéria orgânica pelo manejo. Além da qualidade e quantidade, a continuidade da adição desses resíduos é fator importante no seu manejo, para que se obtenham os benefícios dele oriundos (SILVA; MENDONÇA, 2007).

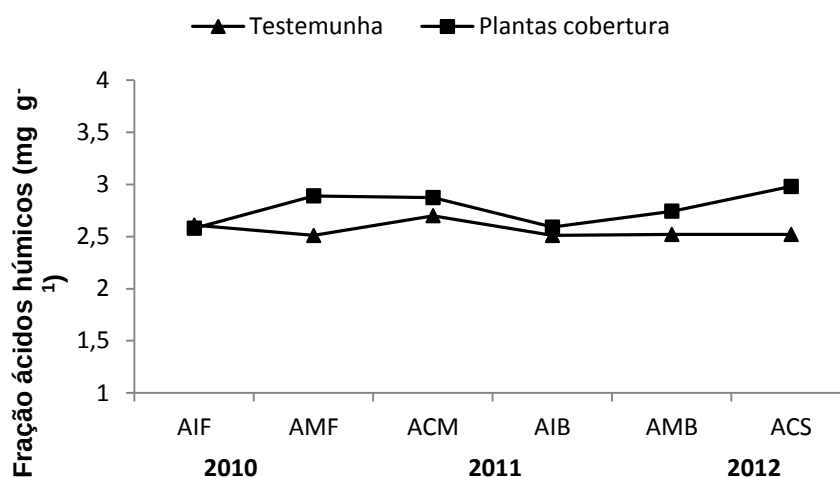


Figura 29 Fração ácidos húmicos da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

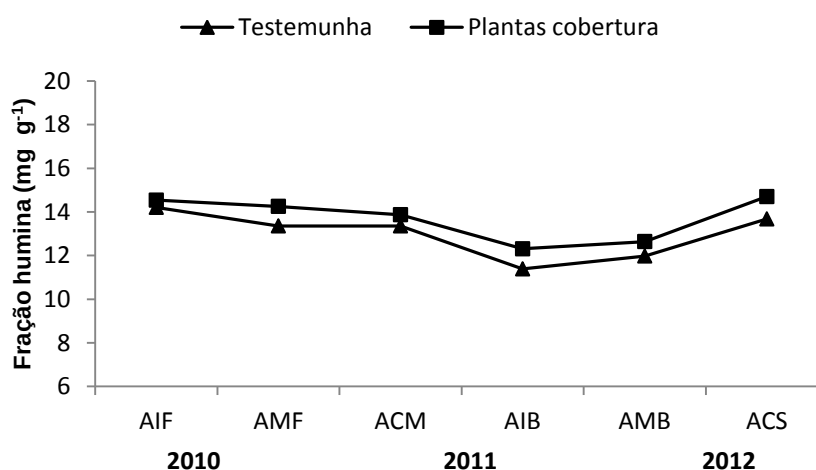


Figura 30 Fração humina da matéria orgânica do solo antes da implantação das fabáceas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura fabáceas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012.

De acordo com Silva e Mendonça (2007), maiores diferenças entre plantio convencional e a testemunha foram observadas na fração ácidos húmicos, com aumento de 18% no final do experimento. A fração ácidos fúlvicos foi 13% e a fração humina 7% maior que a testemunha. Assumindo qualquer das possibilidades para o processo de estabilização dos compostos orgânicos no solo, os ácidos húmicos representam a fração intermediária entre a estabilização dos compostos pela interação com a matéria mineral e a ocorrência de ácidos orgânicos oxidados livres na solução do solo (ácidos fúlvicos livres ou associados). No processo de transformação da MOS, dá-se origem às substâncias orgânicas mais humificadas, no sentido AF-AH-HU.

Os ácidos húmicos são, portanto, marcadores da direção do processo de humificação e refletem, como tal, tanto a condição de gênese como do manejo do solo (CANELLAS *et al.*, 2003). Assim, para manutenção da matéria orgânica do solo, em formas protegidas do ataque microbiano, o sistema de manejo deve favorecer a formação de ácidos húmicos.

Para que a MOS seja mantida, é necessária a organização dos elementos desse solo, a fim de que os agregados protejam fisicamente a MO por formar uma barreira física aos micro-organismos e suas enzimas, fenômeno conhecido como agregação (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Em geral, nos dois anos de cultivo, observou-se que as propriedades químicas do solo apresentaram alterações, porém, na maioria dos casos foram acompanhadas pela testemunha, o que permite inferir que estas sofreram pouca influência do manejo. Considerando as propriedades físicas do solo, pode-se dizer que, em geral, estas não foram afetadas pelo manejo empregado, já que as modificações ocorridas foram acompanhadas pelo tratamento testemunha, assim, podem estar relacionadas às mudanças edafoclimáticas e a variações do teor de água do solo no momento da coleta. A MO, tanto total como das substâncias húmicas, foi influenciada pelo experimento em questão, visto que as parcelas com plantas de cobertura apresentaram maiores valores em relação à testemunha nos períodos posteriores à implantação do trabalho.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cabe destacar que a eficácia da rotação de culturas na agricultura é comprovada por resultados de várias pesquisas, sendo viável e fundamental para a sustentabilidade da produção. Os benefícios envolvem melhorias das qualidades químicas, físicas e biológicas do solo e a redução da ocorrência de pragas, doenças e invasoras, a melhoria da produtividade das culturas é consequência. Sendo assim, os agricultores precisam encarar a rotação de culturas como investimento e que haverá retorno a médio e longo prazos. Neste trabalho, embora a rotação proposta tenha apresentado vantagens, o objetivo principal do produtor, que é o aumento da produtividade, ainda não foi alcançado, necessitando de mais tempo para o manejo se consolidar.

Ressalta-se a necessidade de sistemas de rotação de culturas validados de forma regionalizada, de acordo com as diferentes condições edafoclimáticas do estado do Paraná, a fim de aumentar a estabilidade da produção quando ocorrerem variações climáticas, principalmente pela cobertura do solo e a consequente melhoria de suas condições. Ainda, é preciso encontrar sistemas de produção que possam além de trazer as melhorias já mencionadas, possibilitar a diversificação da renda ao produtor.

Neste trabalho, deve-se considerar o experimento de curta duração, sendo pouco o tempo para que as plantas de cobertura expressassem seu potencial, principalmente relacionado às características físicas do solo. Porém, observaram-se alterações positivas, principalmente em relação ao aumento do teor de matéria orgânica do solo, que influencia as propriedades químicas e físicas e, no controle de plantas invasoras, que reduz o controle químico. Ainda, deve-se considerar a característica de manutenção proporcionada pelas plantas de cobertura, evitando perdas de nutrientes e carbono.

Estudos relacionados às brassicáceas como plantas de cobertura são mais escassos em relação aos estudos com fabáceas, pois a utilização de biocombustíveis pode ser considerada recente, em comparação à conhecida capacidade de fixação biológica de nitrogênio e outros efeitos, que conferem sucesso ao uso de fabáceas (leguminosas) como plantas de cobertura.

7 CONCLUSÕES

A importância da utilização de plantas de cobertura em rotação de coberturas com plantas comerciais foi atestada, visto que apresentam vantagens que melhoram o sistema como um todo, desde os atributos do solo até as características dos cultivos comerciais, além do controle de plantas invasoras. Considerando as plantas estudadas, tanto cultivadas como de cobertura, indica-se para uso na região Oeste do Paraná, as espécies mucuna anã, feijão guandu anão, crotalária juncea e nabo forrageiro, considerados os aspectos de adaptabilidade à região e influência sobre o cultivo principal.

REFERÊNCIAS

AGROSOFT. **Brasil é referência mundial em plantio direto**. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/99939.htm>. Acesso em: 7 out. 2010.

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELLO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, SBCS, 2009, p. 381-448.

ALMEIDA F. S. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. (Circular Técnica, 53).

ALMEIDA, G. D.; ZUCOLOTO, M.; ZETUN, M. C.; COELHO, I.; SOBREIR, F. M. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 61, n. 1, p. 4237-4247, 2008.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; ANTARELLA, H.; SETO, R.; MENDES, P.C.D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G.M.B.; SCHAMMAS, E.A.; JUNIOR, I.A.; FOLTRAN, D.E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, Potafos, n. 112, p.1-16, 2005.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; MURAOKA, T. Nitrogen mineralization in soils amended with sunnhemp, velvet bean and common bean residues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 133-13, 2003.

ANDRADE, R. S.; L. F.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v. 13, n. 4, p.411–418, 2009.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. 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, n. 1, p. 109-115, 2008.

ARANTES, E.; CREMON, C.; LUIZ, M. Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes coberturas vegetais. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 47-54, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; TEIXEIRA, G. M.; CAMPOS, A. X.; SILVA, F. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ ou uréia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 284-289, 2005.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13600: **Solo**. Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C. Rio de Janeiro, 1996. 2 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>. Acesso em: 26 jan. 2009.

BAEZ, O. **Crambe**: a grande aposta das pesquisas em Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/crambe-grande-aposta-pesquisas-mato-grosso-sul.htm>. Acesso em: 22 set. 2010.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on SOM in a sandy clay loam Acrisol from Sutherm Brazil monitored by EPR and NMR. **Soil Tillage**, v. 53, n. 2, p. 95-104, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 23-28, 1998.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 469-475, 2003.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa, 2003, 7 p. (Comunicado Técnico 16).

BERGAMIN, M.; CANCIAN, M. A. E.; CASTRO, P. R. C. In: CASTRO, P. R. C.; KLUNGE, A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**: trigo, milho, soja, arroz e mandioca. São Paulo: Nobel, 1999. p.

BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 379-386, 2005.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.155-163, 2004.

BORKERT, C.M.; AUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, R.; JUNIOR, A.O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p.143-153, 2003.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

BRASI, L. A. C. S.; DENUCCI, S.; PORTAS, A. A. **Nabo**: adubo verde, forragem e bioenergia. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/nabo/index.htm. Acesso em: 30 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 365 p.

BROWMIK, P. C.; INDERJIT. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. **Crop Protection**, v. 22, p. 661-671, 2003.

BURLE, M. L.; MIELNICZUC, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping on soil chemical characteristics with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, Copenhagen, v. 190, n. 2, p. 309-316, 1997.

CÁCERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). **Revista STAB**, Piracicaba, v.13, n.5, p.16-20, 1995.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1995. 117 p.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. In: FANCELLI, A. L. **Milho**: nutrição e adubação. Piracicaba, ESALQ/USP/LPV, 204 p., 2008. p. 142-163.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006, p. 55-73.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D., TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 1013–1019, 2008.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.C.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **Adubo verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: ASPTA, 1992. 346 p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255 p.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 242-249, 2010.

CAMARGO, F. P.; VAZQUEZ, G. H.; FERREIRA, R. B.; LAZARINI, E. **Produtividade de Crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) em diferentes doses de adubação fosfatada**. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29. Disponível em: <http://www.fertbio2010.com/TRABALHOS/535.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2010.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. F. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S.G.; SIVA, M. B.; SANTOS, G. A. Fração da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 133-143, 2000.

CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; CAUME, D. J. O uso e o manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia. . In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G.A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**, UENF, Rio de Janeiro, 2005, p. 244-267.

CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 233-240, 2004.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A.. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944 2003.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V.M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F. L.; SANTOS, G. A.; BRAZ-FILHO, R. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane. **Terra**, Chapingo, v. 20, n.1, p. 371-381, 2002.

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, J. A. A.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 53-61, 2004.

CARLSSON, A. S. Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – A short survey of potential oil crop platforms. **Biochimie**, v. 91, n. 6, p. 665–670, 2009.

CARVALHO, G.J.; FONTANÉTTI, A.; CANÇADO, C.T. Potencial alelopático do feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) e mucuna-preta (*Stilozobium aterrimum*) no controle da tiririca (*Cyperus rotandus*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 3, p. 647-651, 2002.

CARVALHO, I. Q.; SILVA, M. J. S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V.; POSSAMAI, J. C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p.179-184, 2007.

CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004a.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O. SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004b.

CAVALCANTI, V. S.; SANTOS, V. R.; SANTOS NETO, A. L.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; COSTA, L.C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 5, p. 521-528, 2012.

CERETA, C. A.; AITA, A.; BRAIDA, J. A.; PAVINATO, R. L. SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão por sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 215-220, 1994.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. 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. 48-54, 2002.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p.17–27, 2011.

CHERR, C. M.; SCHOLBERG, J. M. S.; MCSORLEY, R. Green manure as nitrogen source for sweet corn in a warm-temperate environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n. 5, p. 1173-1180, 2006.

CHIKOYE, D.; EKELEME, F.; LUM, A. F.; SCHULZ, S. Legume-maize rotation and nitrogen effects on weed performance in the humid and subhumid tropics of West África. **Crop Protection**, v. 27, n. 3-5, p. 638-647, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **12º Levantamento de grãos 2010**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>. Acesso em: 30 set. 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**. Agosto 2012. Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2012a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Preço pago ao produtor**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_14_10_08_41_soja_-_32a_semana_-06_a_10-08-2012.pdf. Acesso em: ago. 2012b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Produção agropecuária**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_20_10_36_42_0508_mandioca_e_milho..pdf. Acesso em: 22 set. 2011.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C. C.; JOÃO MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, n. 5, p.777-788, 2005.

CONCENÇO, G. **Solo coberto, invasoras ausentes**. Disponível em: <http://www.cpao.embrapa.br/portal/noticias/noticiacapa.php>. Acesso em: 7 nov. 2012.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA - CIB. **Milho: A aplicação da biotecnologia na cultura**. São Paulo: CIB, 2007. 4 p. (Boletim Informativo).

COOPAVEL COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL - COOPAVEL. Paraná quer retomar técnicas corretas ao plantio direto. **Jornal da Coopavel**, Cascavel, n. 330, p. 8, 2009.

CORDEIRO, F. C.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Influência dos ácidos húmicos no metabolismo vegetal pode ser considerada uma resposta auxínica? **Revista de Ciência Vida**, Seropédica, v. 30, n. 2, 111-131, 2010.

COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. G. P.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 810–815, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do milho**. Embrapa: Sete Lagoas, 2006, 12 p. (Circular técnica 87).

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

CUNHA, T. F.; CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RIBEIRO, L. P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Rio de Janeiro: UENF, 2005. p. 54-80.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta. **Instituição local**. 2008, 20 p. (Circular técnica 63).

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 327-354.

DERAL - Departamento de Economia Rural. **Produtividade média da soja na região de Cascavel em 2011**. Informação telefônica, fevereiro 2012.

DHIMA, K. V.; VASILAKOGLU, I. B.; GATSIS, T. D.; PANOU-PHILOTHEOU, E.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Effects of aromatic plants incorporated as green manure on weed and maize development. **Field Crops Research**, v. 110, p. 235–241, 2009.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., (ed.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p. 55-94.

DICK, D. P.; BAYER, E. H. N.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELLO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-68.

DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M.; RAMOS, L. P. **Processo de etanolise em meio alcalino do óleo bruto de nabo forrageiro**. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/producao/NaboForrageiro18.pdf>. Acesso em: 6 out. 2010.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 35, p. 3-22, 1994.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. **Proceedings of American Society of Horticultural Science**, Alexandria, 1958. v.71, n.2, p.428-434.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **A soja no Brasil**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>. Acesso em: 27 set. 2012a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 221 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economia.htm>. Acesso em: 26 jan. 2012b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/index.htm>. Acesso em: 22 maio 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Definição e histórico de canola**. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/definicao.htm>. Acesso em: 30 set. 2010a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: DF: Embrapa Informação tecnológica, 2009, 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Políticas de estímulo**. 2002. Disponível em: <http://www.embrapa.br/plantiodireto/PoliticaEstimulo/politicativas3texto4> Acesso em: 10 jul. 2010b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006, 306 p.

ENGEL, F.L., BERTOL, I., RITTER, S.R., PAZ GONZÁLEZ, A., PÁZ-FERREIRO, J., VIDAL VÁZQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 103, p. 216-221, 2009.

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; KLEIN, V. A.; CERINI, J. B.; MACHADO, M. E. Toxidez de manganês em soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 95, p. 28-37, 2006.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; ABBOUD, A. C. S. **Adubação verde com leguminosas**. Embrapa Agrobiologia, Brasília, DF: Embrapa, 2005, 49 p.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. **Adubação verde**: estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: Embrapa-Agrobiologia/ Embrapa-CNPAB, 1997. 20 p. (Documentos, 42).

ESPINOZA, Y.; LOZANO, Z.; VELÁSQUEZ, L. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. **Interciencia**, Caracas, v. 32, n. 8, p. 554-559, 2007.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 2, n.1, p. 6-16, 1998.

FALKER. **Automação agrícola**. Disponível em: <http://www.falker.com.br/datasheet.php?Id=4>. Acesso em: 7 out. 2010.

FANCELLI, A. L. Fisiologia das plantas de milho em condições de safrinha. In: SHIOGA, P. S.; BARROS, A. S. R. **A cultura do milho safrinha**. IAPAR, Londrina, 2001. p. 11-31.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 360 p., 2000.

FAVERO C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L.M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 36, n.11, 1355-1362, 2001.

FAVERO, C. ; SILVA, A. G. ; CASTRO, D. M. ; DIAS, L. E. . Produção de biomassa de raízes e de parte aérea de plantas espontâneas e de leguminosas submetidas a substrato compactado.. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4, 2000, Blumenau. SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4. **Resumos...** Blumenau: Sobrade, 2000. v. único. 1 CD-ROM.

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, Edição especial, p. 175-204, 2000.

FERREIRA, D. F. **Sistemas para análise de variância para dados balanceados**. SISVAR versão 5.1. Lavras: UFLA, 2007. (Software).

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FERREIRA, T.N.; SCHWARZ, R.A.; STRECK, E.V. **Solos**: manejo integrado e ecológico - elementos básicos. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 95 p.

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T; TANCREDI, F.D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 1, p. 23-31, 2003.

FISCHLER, M.; WORTMANN, B.; FEIL, B. Crotalaria (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, n. 2, p. 97-107, 1999.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular de soja e de plantas de cobertura com camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n.1, p. 49-57, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um latossolo vermelho no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001, 122 p.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009, 39 p. (Documentos, 314).

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, 1999.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 52 p. (Documentos, 327).

FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracaju: Fundação MS, 2010. 60 p.

FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O. Recomendação da adubação nitrogenada na cultura do milho com base na leitura de clorofila ICF. CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. Londrina, 2008. **Anais...** Londrina, 2008.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 748-763, 2011.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 751-762, 2004.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 307-313, 1999.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 153-159, 2000.

GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO, C. A.; FRANCHINI, J. C.; GLERANI, P. R.; GARCIA, A. **Rotação de culturas**. Londrina: EMBRAPA, 2007, 10 p. (Circular Técnica, 45).

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Journal soils research**, Australia, v. 43, p. 189-202, 2005.

HARAMOTO, E. R.; GALLANDT, E. R. Brassica cover cropping for weed management: a review. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 19, n. 4, p. 187-198, 2004.

HECKLER, J. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília: Embrapa-Agropecuária Oeste, 1998. p. 38-49.

HEINRICHS, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M.; FANCELLI, A. L.; CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa v. 29, n. 1, p. 71-79, 2005.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S. M.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1549-1555, 2011.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J.C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p. (Documentos, 4).

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Procedimentos e determinações gerais. In: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, 1020 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Mucuna anã**. 2006. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/MucunaAna/MucunaAna.htm>. Acesso em: 18 out. 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1998.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. (Circular Técnica, 68). 270 p.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010.

KARAM, D.; OLIVEIRA, M. F. Milho: critério no controle. **Cultivar Grandes culturas**. Ano X, n. 105, p. 17-19, 2008.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979, 263 p.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Degaspari, 2010, 248 p.

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

LABRADOR MORENO, J. **La matéria orgánica en los agrosistemas**. Madri: Ministéria Agricultura, 1996, 176 p.

- LAZZERI, L.; LEONI, O.; CONTE, L. S.; PALMIERI, S. Some technological characteristics and potential uses of *Crambe abyssinica* products. **Industrial Crops and Products**, v. 3, p. 103-112, 1994.
- LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 1995. 177p.
- LOPES, R. A. P.; PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A. L.; SOUZA, E. G. Efeito de diferentes coberturas vegetais e sistemas de preparo do solo na produção da cultura da soja. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 507-515, 2007.
- LOPES, S. A.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2004. 110 p.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 26, n. 1, p. 57-69, 2006.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. D.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23 p. (Circular Técnica, 22).
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980, 215 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638 p.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MARCOS FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade de sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p.
- MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Testes de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 2, p. 421-426, 2001.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995, 889 p.
- MARTENS, D. A. Identification of phenolic acid composition of alkali-extracted plants and soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 66, p.1240–1248, 2002.
- MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 539-542, 2004.
- MAULI, M. M.; NÓBREGA, L. H. P.; ROSA, D. M.; LIMA, G. P.; RALISH, R. Variation on the amount of winter cover crops residues on weeds incidence and soil seed bank during an

agricultural year. **Brazilian Archives Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 4, p. 683-690, 2011.

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A. Rotação de culturas. *In: Sistema plantio direto com qualidade*. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006, 200 p.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo**: métodos de análises. Viçosa, UFV: 2005. 107 p.

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.

MESCHEDE, D. K. Relações entre o uso de herbicidas e sustentabilidade. *In: Manejo sustentável na agricultura é discutido em Workshop na Esalq*. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, Potafos, n. 116, 2006.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. *In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, R. D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. *In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo*. Porto Alegre: Evangraf, 2010, 266 p.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 905-916, 2007.

MIYASAKA, S.; NAGAI, K.; SAKITA, M. N.; MIYASAKA, N. S. **Manejo da biomassa e de solo visando à sustentabilidade da agricultura brasileira**. São Paulo: FUNDAG, 2008. 192 p.

MORAES, P.V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; BRANDOLT, R. R.; TIRONI, S. P.; OLIVEIRA, C.; MARKUS, C. Efeito alelopático de plantas de cobertura, na superfície ou incorporadas ao solo, no controle de picão-preto. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 17, n. 1, p. 51-67, 2010.

MORAES, P.V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; GALON, L.; OLIVEIRA, C.; MAGRO, T. D. Potencial alelopático de extratos aquosos de culturas de cobertura de solo na germinação e desenvolvimento inicial de *Bidens pilosa*. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1299-1314, 2012.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. C.; MARTIN NETO, L.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p.121-136, 2006.

MOREIRA, V. F.; PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; GUEDES, R. E.; COSTA, J. R. **Produção de biomassa de guandu em função de diferentes densidades e espaçamentos entre sulcos de plantio**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 5 p. 2003. (Comunicado Técnico, 57).

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

MORRIS, N. L.; MILLER, P. C. H.; ORSON, J. H.; FROUD-WILLIAM, R. J. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment - A review. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 1-15, 2010.

MUNKHOLM, L.J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil and Tillage Research**, *in press*, 2012.

MURAOKA, T.; AMBROSANO, E. J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, M.; MARTINS, A. L. M.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; SCIVITTARO, W. B. Eficiência de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicado solos o juntamente, como fuentes de n para el cultivo de arroz. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 20, n. 1, p. 17-23, 2002.

MUZILLI, O. **Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto**: a experiência no estado do Paraná. 2003. Disponível em: <http://www.ppifar.org/ppiweb/pbrazil.nsf>. Acesso em: out. 2012.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, Potafos, n. 100, p. 6-10, 2002.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. *In*: **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeitos de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, 825-831, 2005.

NÓBREGA, L. H. N.; PICCOLO DE LIMA, G.; MARTINS, G. I. M.; MENEGHETTI, A. M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 3, p. 461-465, 2009.

NORSWORTHY, J. K. Allelopathic potencial of wild radish (*Raphanus raphanistrum*). **Weed Technology**, v. 17, n. 2, p. 307-313, 2003.

NOZAKI, M. H.; VENDRÚSCOLO, M. Características químicas e densidade global de um latossolo vermelho eutrófico cultivado com plantas de cobertura em Toledo-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1245-1252, 2010.

NUNES, U. R.; SANTOS, N. F.; FARNEZI, M. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; PEREIRA, G. D. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em plantio direto sobre diferentes coberturas de plantas em Diamantina MG. **Ciência e Agrotecologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1737-1743, 2007.

OLIVEIRA, M. L.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

ORTIZ-CEBALLOS A. A.; FRAGOSO B. C.; BROWN, G. Synergistic effect of a tropical earthworm *Balanteodrilus pearsei* and velvetbean *Mucuna pruriens* var. utilis on maize growth and crop production. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 2, p. 356-362, 2007.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná - SEAB. **Área e produção**: principais culturas do Paraná. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/>. Acesso em: 22 dez. 2008.

PAULUS, G.; MÜLLER, A. M.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada**: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica. EMATER/RS: Porto Alegre, RS, 2000.

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.

PEDROTTI, A.; MÉLLO JUNIOR, A. V. **Avanços em ciência do solo**: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora UFS; Aracaju: Fapitec, 2009, 212 p.

PENTEADO, S. R. **Adubação verde e produção de biomassa**: melhoria e recuperação dos solos. Campinas – SP: Via Orgânica, 2007. 164 p.

PEREIRA, F. S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F. S.; OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; FALQUETO, R. J.; MARTINS, A. L. S. Qualidade física de um latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 87-95, 2011.

PEREIRA, F. S.; ITAMAR ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; ALMEIDA, C. X.; PEREIRA, F. S. Physical quality of an oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the precropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 211-218, 2010.

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**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

Pirai sementes. **Adubação verde**. Disponível em: <http://www.pirai.com.br/texto-a5-nossos_produtos.html>. Acesso em: 02 dez 2012.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BÔER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 094-101, 2008.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção**: crambe 2010. Maracaju: Fundação MS, 2010, 60 p.

PLATAFORMA PLANTIO DIRETO. **Histórico do sistema plantio direto**. Disponível em: <http://www22.sede.embrapa.br/plantiodireto/IntroducaoHistorico/index.htm>. Acesso em: 29 set. 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420 p.

RAINS, G. C.; OLSON, D. M.; LEWIS, W. J. Redirecting technology to support sustainable farm management practices. **Agricultural Systems**, v. 104, n. 1, p. 365-370, 2011.

RAMOS, A. C.; MARTINS, M. A.; FAÇANHA, A. R. Atividade atpásica e pirofosfatásica em microsomos de raízes de milho colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 217-213, 2005.

RAMOS, P. N.; NOVO, M. C. S. S.; LAGO, A. A.; MARIN, G. C. Emergência de plântulas e crescimento inicial de cultivares de amendoim sob resíduos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n.1, p. 190-197, 2008.

RATHKE, G.W.; BEHRENS, T.; DIEPENBROCK, W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 117, p. 80–108, 2006.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; COELHO, C. H. M.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; GUERRA, J. G. M.; URQUIAGA, S. **Incorporação de leguminosas para fins de adubação verde em pré-plantio de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 18 p. (Documentos, 124).

RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO, A. E.; PORTELA, S. I. Introduction of cover crops in a maize–soybean rotation of the Humid Pampas: effect on nitrogen and water dynamics. **Field Crops Research**, v. 128, p. 62–70, 2012.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43 - 50, 2011.

RICE, E. L. Allelopathy: an update. **The botanical review**, Bronx, v. 45, p.15-109, 1979.

RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F.; VARGAS, L. Controle de plantas daninhas em milho em função de quantidades de palha de nabo forrageiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 263-270, 2006.

ROSA, D. M. **Supressão de plantas invasoras e características agronômicas da cultura do milho sob resíduos culturais de leguminosas em sistema plantio direto**, 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M. Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1287-1295, 2011a.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M.; COELHO, S. R. M. Action of dwarf mucuna, pigeon pea and stylosanthes on weeds under Field and laboratory conditions. **Interciencia**, Caracas, v. 36, n. 11, p. 841-847, 2011b.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; PICCOLO-LIMA, G. Comportamento da comunidade invasora na cultura do milho consorciado com leguminosas. **Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 99-106, 2012.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica**

dos solos em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil-plant system in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 126, n. 6, p.127–133, 2013.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

RURAL. **Crambe**. Disponível em: <http://www.ruralbioenergia.com.br/crambe.asp>. Acesso em: 30 set. 2010.

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A.; PIMENTEL, J. M.; POTASCHEFF JÚNIOR, J. Instruções para a cultura da crotalária juncea visando à produção de fibras. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. (Boletim, 198).

SALMERÓN, M.; ISLA, R.; CAVERO, J. Effect of winter cover crop species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 123, p. 89–99, 2011.

SANCHES, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno**, 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1171–1178, 2012.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; CRUZ, M. C. P.; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. P.; CENTURION, J.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 183-193, 2008.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. A sinfonia inacabada do plantio direto no Brasil Central. Limites e danos, soluções e perspectivas. **Direto no Cerrado**. Brasília, ano 13, n. 51, p. 8-10, 2008.

SEPROTEC - COMÉRCIO, PRODUÇÃO E TÉCNICA DE SEMENTES LTDA. **Plantas de cobertura de solo:** nabo forrageiro comum. Disponível em: http://www.seprotec.com.br/produtos_cobertura_nabo.asp. Acesso em: 30 set. 2010.

SEPROTEC - COMÉRCIO, PRODUÇÃO E TÉCNICA DE SEMENTES LTDA. **Plantas de cobertura de solo:** feijão guandu anão. Disponível em: <http://www.seprotec.com.br/produtoscoberturafeijaoa.asp>. Acesso em: 18 out. 2007.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 201-204, 2001a.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Efeitos de quantidade de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p.223-228, 2001b.

SHARMA, A. R.; BEHERA, U. K. Green leaf manuring with prunings of *leucaena leucocephala* for nitrogen economy and improved productivity of maize (*Zea mays*) –wheat

(*Triticum aestivum*) cropping system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, p. 39-52, 2010.

SILESHI, G.; MOFONGOYA, P. L.; CHINTU, R.; AKINNIFESI, K. F. Mixed-species legume fallows affect faunal abundance and richness and N cycling compared to single species in maize-fallow rotations. **Soil Biology and Tecnology**, v. 40, n. 12, p. 3065-3075, 2008.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.147-156, 2011a.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

SILVA, G. T. A. **Implantação de banco de dados de espécies vegetais para fins de adubação verde no Brasil**. 2006. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Flortestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - PR, 2006.

SILVA, G. T. A.; OLIVEIRA, W. R. D.; MATOS, L. V.; NÓBREGA, P. O.; KRAINOVIC, P. M.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. **Correlação entre a composição química e a velocidade de decomposição de plantas para adubação verde visando a elaboração de uma base de dados**. Seropédica – RJ: EMBRAPA Agrobiologia, 2007. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017 p.

SILVA, J.; FORTES, A. M. T.; GOMES, F. M. G.; PINTO, T. T. P.; BONAMIGO, T.; BOIAGO, N. P. Alelopatia de *Camelina sativa* Boiss (*Brassicaceae*) sobre a germinação e desenvolvimento inicial de *Bidens pilosa* (L.) e *Glycine max* (L.) Merr. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 24, n. 4, p. 17-24, 2011b.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010, 266 p.

SILVA, P. S. S. Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 65-74, 2012.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 855-860, 2002.

SKORA NETO, F.; PASSINI, T.; RODRIGUES, B. N. Manejo de plantas daninhas. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p. 143-156.

SOUZA NETO, E. L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 255-260, 2008.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. B. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: UFV, 72 p., 2002.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, 2003.

SPERA, S. T.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; DENARDIN, J. E.; KLEIN, V. A.; SANTOS, H. P. Atributos químicos restritivos de latossolo vermelho distrófico e tipos de manejo de solo e rotação de culturas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 14, p. 324-334, 2011.

SPIASSI, A.; FORTES, A. M. T.; PEREIRA, D. C.; SENEM, J.; TOMAZONI, D. Alelopatia de palhadas de coberturas de inverno sobre o crescimento inicial de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 577-582, 2011.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Produtividade do milho (*Zea mays* L.) influenciada pelo preparo do solo e por plantas de cobertura em um latossolo vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 61-65, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEJADA, M.; GONZALES, J. L.; MARTÍNEZ, G.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, Elsevier, n. 99, p. 1758-1767, 2008.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Soil restoration using composted plant residues: effects on soil properties. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2008.

TERRAVIVA. **Safrinha**. Que safrinha? São Paulo. Editora Iua. Ano 1., n. 0., p. 21. 2008.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico vermelho escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 107-114, 1992.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 57-67, 2012.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas Infestantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 379-384, 2006.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Potencial alelopático de coberturas de inverno no desenvolvimento de plântulas de soja. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 19-26, 2002.

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Potencial alelopático de cultivos de cobertura vegetal no desenvolvimento de plântulas de milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 287-292, 2005.

TOMM, G. O. Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4-8, 2006.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).

TRABUCO, M. **Produtividade de milho em plantio direto após plantas de cobertura**, 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2008.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.

UCHINO, H.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; ICHIYAMA, K.; SUGIURA, E.; YUDATEA, T.; NAKAMURA, S.; GOPAL, J. Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system .1. Stability of weed suppression over years and main crops of potato, maize and soybean. **Field Crops Research**, v. 127, p. 9–16, 2012.

UCHINO, H.; IWANA, K.; JITSUYAMA, Y.; YUDATE, T.; NAKAMURA, S. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. **Field crops research**, v. 113, p 342-351, 2009.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E.S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p.969–977, 2012.

VEDANA, U. **Crambe (*Crambe abyssinica*) promissora planta para Biodiesel**. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2007/crambe-crambe-abyssinica-promissora-planta-para-biodiesel/>. Acesso em: 22 set. 2010a.

VEDANA, U. **Crescimento da canola**: produzindo e vendendo. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2010/canola-produzindo-vendendo/>. Acesso: em 22 set. 2010b.

VIEIRA JR, P. A. Milho. In: CASTRO, P. R. C.; KLUNGE, A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**: trigo, milho, soja, arroz e mandioca. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-68.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, Potafos, n. 90, 2000, 16 p..

VOLKOFF, B. La matieri organique des sols ferrallitiques du nordeste du Brésil. **Cahiers ORSTOM**. Série Pédologie, v. 15, n. 3, p. 275-289, 1977.

WAZILEWSKI, W. T.; BARICCATTI, R. A.; MARTINS, G. I.; SECCO, D.; SOUZA, S. N. M.; ROSA, H. A.; CHAVES, L.I. Study of the methyl crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) and

soybean biodiesel oxidative stability. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 207-212, 2013.

WEIH, M.; DIDON U.M.E.; RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, A. C.; BJÖRKMAN, C. Integrated agricultural research and crop breeding: Allelopathic weed control in cereals and long-term productivity in perennial biomass crops. **Agricultural Systems**, v. 97, p. 99-107, 2008.

YANG, Z.; XU, M.; ZHENG, S.; NIE, J.; GAO, J.; LIAO, Y.; XIE, J. Effects of long-term winter planted green manure on physical properties of reddish paddy soil under a double-rice cropping system. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 655-664, 2012.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012.