

MARCOS FELIPE LEAL MARTINS

VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO DA FITOMASSA DO CRAMBE EM LATOSSOLO
ARGILOSO SOB SISTEMAS DE MANEJO

CASCATEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2016

MARCOS FELIPE LEAL MARTINS

VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO DA FITOMASSA DO CRAMBE EM LATOSSOLO
ARGILOSO SOB SISTEMAS DE MANEJO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia.

Orientador: Deonir Secco

Coorientador: Luiz Antônio Zanão Junior

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2016

MARCOS FELIPE LEAL MARTINS

**“VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO DA FITOMASSA DO CRAMBE
EM LATOSSOLO ARGILOSO SOB SISTEMAS DE MANEJO”**

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

Orientador:



Prof. Dr. Deonir Secco

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Profa. Dra. Luciene Kazue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Ronaldo Hissayuki Hojo

Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR/Santa Tereza

Cascavel, 26 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Erondina Leal e Joaquim Martins, os quais sempre me apoiaram, bem como a toda minha família que me incentiva e reconhece meus esforços.

À minha esposa Kamyla Katsue Kawashita, sempre companheira e dedicada, incentivando-me a cada momento pelo qual eu passei, ajudando-me sempre a superá-los.

Ao professor orientador Dr. Deonir Secco, pela oportunidade, consideração, orientação, apoio, amizade e confiança. Assim como aos demais professores do Programa de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura pela paciência e conhecimento repassado nesses dois anos de mestrado.

Ao grupo de pesquisa do Laboratório de Física do Solo – LAFIS – pelo convívio e pelas inúmeras vezes as quais me ajudaram no campo experimental e/ou no laboratório.

Ao grupo de técnicos e pesquisadores do IAPAR que contribuíram em muito na condução do presente trabalho, em especial ao Luiz Carlos de Oliveira pela amizade e conhecimentos repassados.

À Unioeste, por oferecer o programa de mestrado, com toda sua estrutura à disposição.

Ao PPGEA, por me acolher e contribuir com minha formação.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa.

Agradeço enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui com a distribuição das parcelas experimentais.	16
Figura 2 - Média mensal da precipitação pluviométrica, temperatura média para o período de 26 anos (média histórica) da região de Santa Tereza do Oeste – PR. Temperatura máxima, mínima e média no período de março/2015 a dezembro/2015.....	18
Figura 3 – Gráfico de tendência exponencial de decomposição dos resíduos culturais do crambe decorridos 120 dias de experimento.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de safra dos últimos 4 anos da área experimental	17
Tabela 2 - Caracterização química do solo no ano de 2010	17
Tabela 3 - Identificação dos tratamentos, plantas de coberturas e estação de semeadura.....	19
Tabela 4 - Descrição das culturas utilizadas, densidade de semeadura, espaçamento entre linhas e densidade de semeadura.....	21
Tabela 5 - Valores médios de atributos químicos do solo no início das avaliações do presente estudo em março de 2014, nas quatro camadas avaliadas	24
Tabela 6 - Produção total de fitomassa seca da cultura do crambe, fitomassa decomposta e remanescente após 120 dias e taxa de decomposição.....	28
Tabela 7 - Coeficientes da equação de regressão da decomposição dos resíduos culturais $X = X_0 \exp^{-kt}$ (Wieder e Lang, 1982), coeficiente de determinação (R^2) e meia-vida dos materiais $T(1/2) = 0,693/k$ dos resíduos culturais do crambe.	31
Tabela 8 - Anova da avaliação da constante de decomposição (k)	43
Tabela 9 - Anova da avaliação da fitomassa produzida e remanescente	43
Tabela 10 – Anova da taxa de decomposição em $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$	43

MARTINS, Marcos Felipe Leal. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro 2016.
Velocidade de decomposição da fitomassa do crambe em Latossolo argiloso sob sistemas de manejo. Orientador: Dr. Deonir Secco. Coorientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Junior

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a velocidade de decomposição da palha em cobertura da espécie do crambe em diferentes usos e manejos do solo com base no sistema plantio direto. Buscou-se aproximar da prática adotada pelos produtores rurais da região oeste paranaense. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, pólo regional de Santa Tereza do Oeste, Paraná, Brasil. Os tratamentos foram constituídos de quatro sistemas de manejo do solo, sendo estes: Sistema Plantio Direto Tradicional - SPDT -, Sistema Plantio Direto Escarificado - SPDE -, Sistema Plantio Direto Gessado - SPDG -, e Sistema Plantio Direto com Qualidade - SPDQ. Os tratamentos foram distribuídos de modo inteiramente casualizados em parcelas subdivididas no tempo com quinze macro-parcelas de 20 m x 25 m. As avaliações no tempo ocorreram aos 0 (zero), 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após colheita do crambe. A determinação da decomposição seguiu-se de forma quantitativa, por meio da análise da taxa de decomposição dos resíduos culturais com o uso de "litter bags". A perda média de fitomassa da cultura do crambe foi significativamente diferente ($p > 0,05$) principalmente para o manejo SPDE e SDPG, a qual tiveram reduções respectivamente de 0,63 % dia⁻¹ e 0,71 % dia⁻¹. Para o tempo de meia vida o maior tempo constatado foi no sistema tratamento que continha como manejo o consórcio composto de Aveia preta cabocla + Tremoço branco, com 66 dias, já o menor tempo de meia vida foi observado para o sistema SPDE, com 45 dias. O sistema de manejo influenciou no tempo de meia-vida dos resíduos reduzindo em até 21 dias.

PALAVRAS-CHAVE: *Crambe abyssinica*, matéria orgânica, *litter bags*, tempo de meia vida.

MARTINS, Marcos Felipe Leal. State University of Western Paraná. February 2016. **Rate of decomposition of crambe phytomass on oxisol under soil management practices.**

Advisor: Dr. Deonir Secco. Co-Advisor: Dr. Luiz Antônio Zanão Junior

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the rate of decomposition of straw on crambe cover crop based on no-tillage system under different soil management practices and usages. We attempt to approach the practice adopted by farmers in the western region of Paraná. The experiment was conducted in the experimental area of the Agronomic Institute of Paraná - IAPAR, regional center of Santa Tereza do Oeste, Paraná, Brazil. The experiment consisted of four soil management practices: Traditional Tillage System - SPDT - Scarified Tillage System - SPDE - Gypsum Agricultural Tillage System - SPDG - and Tillage System with Quality - SPDQ. The treatments were distributed in randomized order on portions subdivided on time with fifteen macro-plots of 20 m x 25 m. The assessments took place on 0 (zero), 7, 15, 30, 60, 90, and 120 days after the harvest of crambe. Decomposition was determined quantitatively by the analysis of the rate of decomposition of crop residues using litterbags. The average loss of phytomass of crambe crop was significantly different ($p > 0,05$), specially for SPDE and SDPG, which had reduction of around $0,63\% \text{ day}^{-1}$ and $0,71\% \text{ day}^{-1}$, respectively. The longest half-life period was observed on system SPDQ-12, with 66 days. The shortest half-life period was observed on system SPDE, with 45 days.

KEY-WORDS: *Crambe abyssinica*, organic matter, litterbags, half-life.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT).....	5
2.2. Sistema Plantio Direto Escarificado.....	8
2.3. Sistema Plantio Direto Gessado	9
2.4. Sistema Plantio Direto com Qualidade	11
2.5. Dinâmica de decomposição da matéria orgânica	12
2.6. A cultura do Crambe	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Localização e descrição da área de estudo	16
3.2. Avaliações climatológicas.....	17
3.3. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	18
3.4. Detalhamento da condução das culturas estudadas	20
3.5. Avaliações e determinações analíticas	21
3.6. Análise estatística	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1. Determinação químicas do solo	24
4.2. Produção de fitomassa seca e dinâmica da decomposição dos resíduos culturais do crambe.....	27
4.3. Meia vida dos resíduos culturais do crambe.....	30
5. CONCLUSÕES.....	33
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	34
7. ANEXOS.....	43

1. INTRODUÇÃO

As alterações provocadas nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos intensamente utilizados para fins agrícolas podem, e não raramente, causar impactos negativos ao equilíbrio natural deste ecossistema. O desequilíbrio, por sua vez, afeta a decomposição dos materiais orgânicos e a ciclagem de nutrientes contidos no solo.

O grau de impacto gerado no ecossistema solo está diretamente relacionado com o manejo e as práticas adotadas na produção agrícola. Assim, a escolha do modo de preparo do solo é fator preponderante na decisão de manutenção e estruturação desse ecossistema. Tal afirmação encontra base em estudos realizados em diversos solos, em que pesquisadores atribuem como elemento essencial à sua manutenção da matéria orgânica. Isso ocorre por esta aprimorar inúmeros fatores, tais como, a agregação do solo e de suas características físicas e, notadamente, a permeabilidade e porosidade do mesmo. Além do mais, contribui para a elevação da capacidade de trocas catiônicas e da retenção de água, como também, para a ciclagem de nutrientes e melhora da fertilidade, devido ao aumento dos estoques de carbono orgânico total no solo (KONG et al., 2005; AMADO et al., 2006; BAYER et al., 2006; CALEGARI et al., 2008; SÁ; LAL, 2009; CHIORDEROLI, et al., 2010).

A manutenção da matéria orgânica do solo (MOS) é de grande importância para sua estruturação (CALEGARI et al., 2006). Já a decomposição dos resíduos culturais e sua dinâmica é fundamental para a compreensão do processo de manutenção da qualidade do solo (KLIEMANN; BRAZ e SILVEIRA, 2006). Nesse sentido, a proteção da MOS deve se basear na correta escolha de um conjunto de processos que permitam sua manutenção e a proteção ao solo. Dentre esses processos, o que merece maior atenção é o método a ser utilizado no cultivo.

Sistemas de semeadura, como a convencional, por exemplo, onde se utilizam de práticas mecanizadas com maior intensidade para o preparo do solo, destroem os agregados do solo; o que acaba por expor a MOS à maiores taxas oxidativas, visto que o revolvimento do solo rompe os agregados do solo, aumentando, assim, a área superficial específica de contato com a MO. Dessa forma, contribui para maior ataque microbiano e enzimático (GONÇALVEZ et al., 2010) e estimula um menor aporte da matéria orgânica pela maior velocidade de decomposição.

Pelo fato da semeadura convencional preconizar o revolvimento do solo e a utilização de altas quantidades de insumos agrícolas, fica comprometida a qualidade da MO existente no solo, pois esse método contribui para uma maior velocidade de decomposição da matéria

orgânica (XAVIER et al., 2006). O que acaba por conduzi-la a um processo de degradação tanto física, como química, além de reduzir as atividades biológicas do solo a longo prazo. Por estes motivos, a escolha pelo sistema convencional de semeadura tem se mostrado uma técnica que acaba por reduzir a produtividade do solo, devido ao seu inadequado manejo que propicia a contínua redução da MOS (EMBRAPA, 2008).

Como alternativa a técnica convencional, a mais de 40 anos estuda-se o método da semeadura direta e suas variantes. A referida técnica surgiu da necessidade de solucionar os problemas advindos do preparo convencional (BORDIN et al., 2008). A semeadura direta, também conhecida por Sistema Plantio Direto (SPD), tem por premissa a manutenção de resíduos culturais sob a superfície do solo (TEIXEIRA et al., 2009). O menor revolvimento e o correto manejo da palhada no SPD visam manter a proteção ao solo contra processos degradatórios e aumentar sua concentração e duração, o que, por conseguinte, aumenta a MOS em função do menor ataque microbiano e menores taxas oxidativas.

Uma das variantes do SPD que se mostra potencialmente benéfica ao ecossistema solo é a que se utiliza de plantas conhecidas como “recuperadoras de estrutura”, ou ainda, plantas de cobertura. Há, também, bibliografias que nomeiam esse sistema de cultivo como de adubação verde. Tal sistema baseia-se na prática de cultivo de plantas com elevado potencial de produção de biomassa vegetal e com sistema radicular agressivo, capaz de romper camadas compactadas, e ainda, com potencial de recuperar e promover a ciclagem de nutrientes. Pode se conceituar a adubação verde como a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, incorporadas ao solo ou deixadas na superfície, visando a proteção superficial, bem como a manutenção e melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, inclusive a profundidades significativas (BARRETO; FERNANDES, 2001).

Conjuntamente com o método escolhido de manejo do solo, o tipo de resíduo cultural também exerce grande influência na taxa de decomposição da matéria orgânica. Teixeira et al. (2009) corroboram ao afirmar que plantas do tipo leguminosas apresentam uma maior velocidade de decomposição quando comparadas as culturas do tipo gramíneas. Os mesmos autores discorrem a respeito da decomposição interligando principalmente a relação carbono/nitrogênio (C/N). Afirmam também que, pelas gramíneas possuem uma relação C/N maior que as leguminosas, aquelas têm por característica uma decomposição mais lenta. As mesmas conclusões são encontradas em pesquisas conduzidas por Chioderoli et al. (2010) e

Rossi et al. (2013). Esses autores contribuem ao explicar que materiais com alta relação C/N são decompostos mais lentamente, podendo produzir coberturas mais permanentes no solo, e confirmam em seus estudos os resultados de outros pesquisadores que afirmam que a taxa de decomposição de leguminosas supera a de gramíneas.

Nesse sentido, o emprego de plantas de cobertura é de suma importância na escolha do manejo e práticas agrícolas de qualidade. A rotação de cultura na lavoura com o emprego de cultivos que produzam biomassa suficientemente grandes, com quantidades mínimas acima de 6 Mg ha^{-1} de massa seca, é recomendada quando se tem por objetivo uma manutenção mais correta do agro-ecossistema solo por meio da decomposição e ciclagem de nutrientes contidas na fitomassa vegetativa (NUNES et al., 2006).

A fim de realizar um manejo que contribua para a máxima proteção do solo, bem como para o acúmulo de carbono e o aproveitamento de nutrientes reciclados pela sucessão de culturas, o planejamento do sistema de cultivos fica intrinsecamente relacionado a escolha das melhores sucessões de plantas de cobertura. A eficácia no processo de condicionamento de qualidade ao solo fica atrelada, também, ao conhecimento do processo de decomposição e ciclagem dos nutrientes provenientes dos resíduos culturais.

Assim, a presente pesquisa foi idealizada na premissa que diferentes espécies de cobertura, tanto de inverno como de verão, apresentam taxas de decomposição em função dos manejos de solos com utilização de plantas de cobertura, contribuindo de modos distintos ao incremento de carbono no solo e de melhoria na qualidade da matéria orgânica do mesmo. Tem-se como objetivo principal compreender a dinâmica de decomposição da fitomassa da cultura do crame bem como a influência do sistema de manejo a partir da determinação da taxa de decomposição da fitomassa seca desta cultura, e poder assim, contribuir para o fornecimento de dados que possam ser de valia para produtores rurais, técnicos e demais profissionais da área para a tomada de decisão quanto a escolha do melhor manejo a ser considerado por eles.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com os problemas advindos da intensa exploração do solo, a partir da técnica conhecida por sistema plantio convencional, surgiu na região sul do Brasil, na década de 1970, em especial no Paraná e Rio Grande do Sul, o estudo e desenvolvimento de manejos capazes de dar sustentação a estrutura do solo e reduzir a sua degradação e depauperamento (CRUZ et al., 2001).

Com iniciativa de reduzir os danos econômicos e ambientais, órgãos e instituições, públicas e privadas, investiram em pesquisas e técnicas conservacionistas do solo (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LHANILLO, 2008). O objetivo era desenvolver uma prática que acarretasse em menor impacto possível ao meio ambiente e que reconduzisse o solo novamente a uma alta produtividade (FREITAS; LANDERS, 2014; BUSARI et al., 2015). Como resultado dos estudos de métodos de cultivo desenvolveu-se o que veio a ser conhecido como Sistema Plantio Direto (SPD), sendo esta técnica conservacionista mais aceita e difundida no Brasil hoje, com mais de 35 milhões de hectares plantados, representando aproximadamente 85% da área semeada no país (FEBRAPDP, 2014). Para o Estado do Paraná, segundo dados de evolução do SPD emitidos pelo Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) em conjunto com a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP), no ano de 2014 a escolha pelo SPD atingiu 91,65% da área total de cultivo do Estado, com 5.319.966 hectares.

A técnica do SPD consiste na movimentação mínima do solo, com semeadura em solo não revolvido, no qual as sementes e fertilizantes são dispostos em sulcos ou covas em profundidades suficientes para a cobertura e contato com o solo. É preconizado, ainda, que exista a manutenção de uma cobertura permanente de palha sobre o solo e de preferência a adoção da rotação de culturas (BOLLIGER et al., 2006).

Após 45 anos do desenvolvimento e utilização da referida técnica os problemas de escoamento superficial, erosão, camadas subsuperficiais compactadas e redução do percentual de matéria orgânica, tornam-se barreiras a serem superadas novamente (NETO et al., 2012; FREITAS & LANDERS, 2014). Isso decorre, principalmente, pela técnica passar a ser entendida e utilizada de modo errôneo, como será tratado no tópico "Sistema Plantio Direto Tradicional", no qual será elucidado os moldes da técnica como ela é empregada pelo produtor rural atualmente e, posteriormente, abordadas as técnicas que surgiram como remediações aos problemas novamente recorrentes nos sistemas de cultivos agrícolas. Por fim será tratado da

técnica de semeadura considerada a mais adequada e que traz resultados promissores quando utilizada de modo correto.

2.1. Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT)

O Sistema Plantio Direto (SPD) fundamenta-se na interação dos diversos usos e manejos associados aos sistemas de cultivos. Um dos preliminares desenvolvimentos do sistema foi a redução, ou em determinadas situações, a eliminação do uso dos equipamentos e implementos agrícola, ou ainda, o aperfeiçoamento destes para as novas exigências locais e regionais da técnica (ERENSTEIN et al., 2008). Pode-se dizer que a principal adoção do SPD ocorreu pelo fato da eliminação do preparo do solo a partir da aração e gradagem, o que tornou possível a manutenção da estabilidade de agregados, favorecendo uma melhor estruturação do solo (PLAZA-BONILLA et al., 2013). Desse modo, possibilita a formação de uma rede de poros no solo, restabelecendo a taxa de infiltração da água de chuvas e a manutenção da umidade do solo. Podemos citar, ainda, que tal medida melhora a oxigenação e as atividades biológicas do solo e também para a manutenção da matéria orgânica (LINGLING et al., 2014).

Outro fator principal adotado pelo SPD foi a manutenção da cobertura morta após os cultivos sobre o solo. Tal medida favorece a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuvas, reduzindo o escoamento superficial e por consequência a erosão. Soma-se também que o adequado volume de palha sobre o solo contribui para a proteção contra a radiação solar e assim reduz a evaporação da água do solo e ampara a manutenção do equilíbrio térmico do mesmo (GÓMEZ-PACCARD et al., 2015). Além desses fatores, a manutenção da palha no solo atua no incremento de matéria orgânica a este, possibilitando um aumento da atividade microbiana, que por sua vez permite uma maior eficiência na reciclagem de nutrientes. Ademais, a manutenção da palha no campo contribui também para o controle de plantas daninhas, seja pela supressão ou pelo efeito alelopático (BABUJIA et al., 2010; PASTORELLI et al., 2013; JABRAN et al., 2015).

Apesar de todos esses fatores positivos, anos de agricultura intensiva sem a devida preocupação com os modelos de rotação de culturas, ou ainda, com o baixo volume de palha produzida pelos cultivos, levou o SPD a sofrer uma redução da concentração de matéria orgânica contida no solo e ao ressurgimento dos problemas advindos da erosão antes reduzidos ou sanados pelo uso deste sistema (FREITAS & LANDERS, 2014).

Para além destes equívocos, outra complicação que se soma a má prática do manejo advém da falta de informação e assistência técnica capacitada. Atualmente os produtores tem reduzido o uso das boas práticas conservacionistas, em especial: a falta de manutenção de terraços, que passaram a ser retirados para adaptar o terreno aos maquinários e implementos cada vez maiores e mais pesados; a falta de sementeira em nível, que passaram a ser deixadas de lado pelo maior trabalho a ser realizados sendo, em algumas propriedades rurais, adotado o sistema de sementeira acompanhando o desnível do terreno, aliado ao reduzido volume de palha. Tais ações aumentam muito o potencial de erosão do solo devido a compactação provocada pelo tráfego nas áreas agrícolas, contribuindo assim, para o acelerado depauperamento do solo, o que tem refletido negativamente nas produções a cada ano, especialmente em anos com pequenas estiagens.

O emprego deste sistema de manejo, como foi tratado, Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT), não só trouxe novamente as dificuldades antes superadas (erosão) como também contribui para o decaimento da aceitação da técnica por parte dos produtores, que passaram a afirmar que o SPD ao modo usual tem por resultado a compactação do solo ao longo do tempo (PASSINI, 2006).

Esse resultado de descrédito da técnica pode ser explicado segundo Wendling et al. (2005) pelo fato de o uso intensivo do solo, sem a devida preocupação com a matéria orgânica, causar redução da estabilidade dos agregados, deixando-os mais suscetíveis aos processos erosivos. Para um mesmo solo, diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente suas características, incluindo os processos de agregação, o que, por efeito, pode originar uma redução nos estoques de carbono orgânico de modo prejudicial (AMADO et al. 2001). Em conformidade Thierfelder e Wall (2009) corroboram ao explicar que manejos que mantêm o solo com pouca cobertura ou descoberto comprometem a estabilidade dos agregados, podendo a vir ter por consequência o selamento superficial, a redução de infiltração da água e a indução de enxurrada e erosão do solo.

Dessa maneira, a escolha equivocada do manejo adotado, somado ao pensamento errôneo de rotação de cultura por parte dos produtores rurais, pressionados muitas vezes pelos setores comerciais que se baseiam principalmente em apenas dois cultivos comerciais, soja e milho, aliado a inserção de uma terceira cultura comercial no período do inverno, geralmente aveia ou trigo, ou ainda o pousio, leva ao desequilíbrio no sistema de cultivo (SIQUEIRA; CASÃO JÚNIOR, 2006). Tal situação acaba por gerar, dentre outras consequências, a seleção

de pragas e doenças (LAHMAR, 2010; VÁŇOVÁ et al., 2011), que por sua vez, aliada a falta de percepção e atenção ao erro, promove a necessidade de aumentar a quantidade de defensivos agrícolas a serem aplicados nos cultivos. Como complicações principais desse sistema pode-se citar duas situações. Primeiro, a utilização de máquinas e implementos de modo mais recorrente, que contribui para a compactação do solo na superfície e subsuperfície (TAVARES FILHO; TESSIER, 2010), principalmente entre 0,15 m a 0,30 m. Segundo, a aplicação de maiores quantidades dos defensivos agrícola, que leva a redução da atividade biológica, acentuando os efeitos deletérios aos solos (BABUJIA et al., 2010).

Não obstante, a escolha equivocada pela sequência de monocultivos conduz ao menor aporte de carbono no solo a longo prazo, uma vez que a cultura da soja e do milho, principal escolha comercial, produzem uma biomassa insuficiente à manutenção ideal de palha sobre o solo, tendendo assim, a provocar sua degradação física, química e biológica. De acordo com a bibliografia, a produção de biomassa seca da soja fica em torno dos 2 a 3 Mg ha⁻¹ (HERZOG; LEVIEN & TREIN, 2004; TEODORO et al., 2015), enquanto que para o milho a produção de biomassa seca fica em torno dos 3 a 6 Mg ha⁻¹ (SANGOI et al., 2005). Tais valores encontram-se abaixo do recomendado para uma boa qualidade de palha sobre o solo, a qual é preconizado valores acima dos 6 a 12 Mg ha⁻¹ciclo⁻¹ para o aporte de carbono (CHIODEROLI et al., 2010).

Outra informação encontrada na bibliografia é que o inadequado manejo de inverno associado ao uso de monocultivo no verão podem limitar o aporte de resíduos vegetais ao solo e reduzir os estoques de matéria orgânica pela baixa produção de palha e fácil decomposição em climas de regiões tropicais (NICOLOSO et al., 2008). Deste modo com o volume de palha insuficiente, ocorre um desequilíbrio no ecossistema solo sob uso intensivo do SPD, comprometendo a qualidade estrutural do solo (PLAZA-BONILLA et al., 2013). Bayer et al. (2006), ao estudar o sequestro de carbono pela cultura da soja e milho, em sistema de rotação apenas desta, constatou que o potencial de produção de palha nesse sistema de rotação foi apenas de 4,0 a 4,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a pesquisa conduzida por seis anos consecutivos.

Tais resultados demonstram que o desempenho do SPD está diretamente associado, dentre outros fatores, à quantidade e à qualidade dos resíduos aportados ao solo (KLIEMANN; BRAZ; SILVEIRA, 2006). Sendo assim, a escolha pelo SPDT, como aqui exemplificado, nos mostra potencial para um possível depauperamento do solo, que gera um reflexo negativo em produtividade por área plantada.

2.2. Sistema Plantio Direto Escarificado

A adoção da técnica do SPDT, nos moldes como vimos, evidencia que algumas desvantagens a longo-prazo podem se fazer presentes. Uma das limitações para o SPDT está relacionada à compactação superficial do solo, originada do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas (SECCO et al., 2004; COLLARES et al., 2008). Assim, se faz necessário novas soluções a essas possíveis limitações físicas do solo.

De acordo com Tormena et al. (2004), a compactação do solo modifica a distribuição de tamanho de poros, refletindo negativamente na qualidade física do solo para crescimento e produtividade das culturas. Deste modo, uma alternativa de remediação aos problemas de compactação atuais no SPDT é a utilização de escarificadores na técnica aqui denominada Sistema Plantio Direto Escarificado (SPDE).

A utilização do SPDE tem por base a adoção esporádica, normalmente a cada três anos, da descompactação do solo a partir do uso de implementos de hastes escarificadoras (CAMARA; KLEIN, 2005). Com isso, a camada arável do solo entre 0,15 e 0,30 m é rompida, produzindo superfícies mais rugosas. Processo que tem como resultado o aumento da porosidade e a diminuição da densidade do solo (TAVARES FILHO et al., 2006; KLEIN; CAMARA, 2007; SILVA JUNIOR et al., 2010). Por conseguinte, com o rompimento das camadas subsuperficiais compactadas há um incremento na taxa de infiltração e na de drenagem do solo, o que auxilia na redução dos problemas hídricos de escoamento superficial e contribui para o armazenamento de água no solo (CAMARA; KLEIN, 2005). Soma-se ainda ao processo que, com o rompimento das camadas compactadas, ocorre a redução da resistência mecânica à penetração das raízes, permitindo às plantas um maior volume explorado de solo. Tal fator contribui para um melhor desenvolvimento da planta e possivelmente reflete de maneira positiva na produção agrícola (VEIGA et al., 2007; COLET et al., 2009; SECCO et al., 2009).

Entretanto são relatados em pesquisas que a adoção da técnica pode não ser tão promissora como observado, isso se deve a efeitos imediatos de produtividade devido à quebra da camada compactada. De acordo com Drescher et al., (2011) o período de duração da técnica é efêmera não excedendo três anos de duração e que a mitigação dos efeitos da compactação são mínimos frente aos transtornos que esta pode causar. Se por um lado o uso da técnica pode trazer resultados imediatos por outro devido sua baixa eficiência e pequeno tempo de duração o uso da técnica pode se tornar recorrente ao produtor, por mascarar resultados iniciais e

prejudicar o solo a longo-prazo. De acordo com estudos desenvolvidos por Secco et al. (2005), que corrobora a autora supra citada, esse tipo de manejo do solo, não perdura 3 anos e que o mesmo não acarreta em resultados diferentes de produtividade bem como não melhora as características do solo quando comparado ao SPD, desta forma tal escolha vai em descontra com os objetivos da semeadura direta que preconiza a manutenção da estrutura do solo, devendo o produtor reavaliar seus benefícios e equívocos antes de adota-la em sua propriedade.

De acordo com as recomendações do boletim técnico da FEBRAPDP (2014), que cita os pesquisadores Assis e Lanças (2010), é evidenciado que quanto maior for o intervalo entre um preparo e outro do solo melhor será sua qualidade estrutural. Entretanto, com a quebra e redução dos agregados a MOS fica exposta a maiores taxas oxidativas, elevando assim, a decomposição do material vegetal, o que se torna uma pratica ambientalmente indesejável por também reduzir o aporte de carbono no solo, contribuindo para o aumento do volume de CO₂ na atmosfera.

Outro aspecto negativo da escarificação é que essa torna o solo mais susceptível a compactação e por consequência a maior erodibilidade, uma vez que com a redução da proteção do solo, pela palha em cobertura, esse acaba por receber o impacto da gota de chuva diretamente, possibilitando uma maior quebra dos agregados do solo. Tal sequência de eventos pode ser desastrosa por possibilitar o aumento do selamento superficial, que por sua vez aumenta a erosão do solo que quando somado a redução e/ou eliminação dos terraços acaba por carrear a camada com maior fertilidade do solo reduzindo quimicamente a qualidade deste solo (LIMA et al., 2000).

Pauletti et al. (2014) relata em experimento de longa duração que o SPD obteve maiores rendimentos em produtividade da soja e milho quando comparado ao SPDE. Resultados como estes comprovam que a adoção da referida técnica pode não ser a melhor opção como remediação aos problemas advindos da compactação, mais sim um potencial acelerador da degradação do solo.

2.3. Sistema Plantio Direto Gessado

O manejo de áreas em SPDT por vários anos pode apresentar impedimentos físicos, devido ao trafego de máquinas, aos agentes químicos, à redução de matéria orgânica e, conseqüentemente, de ácidos orgânicos, para a complexação de elementos tóxicos, tornando

limitada a capacidade de aprofundamento do sistema radicular das culturas (RAMPIM et al., 2011). Dessa forma, a aplicação de gesso agrícola se mostra como alternativa para a melhoria em profundidade do solo e melhor desenvolvimento das culturas, reduzindo assim os reflexos negativos da compactação em períodos de estiagem (ZANDONÁ et al., 2015).

A aplicação do gesso agrícola possibilita a neutralização de elementos tóxicos, como o Al^{3+} , e, portanto, prejudicial ao desenvolvimento das culturas (SORATTO e CRUSCIOL, 2008). De acordo com Hartwig et al. (2007), se por sua vez a compactação dos solos pode restringir o desenvolvimento radicular, a acidez pode impedir o desenvolvimento das raízes, se tornando este o fator limitante ao desenvolvimento das culturas em regiões tropicais. Ainda, para os mesmos autores, a neutralização da toxicidade do solo pode ser solucionada por meio da calagem, com aplicação de calcário. Entretanto, tal técnica de correção pode muitas vezes se mostrar insuficiente, por sua ação ficar restrita a superfície do solo, contribuindo apenas para o desenvolvimento radicular nas camadas superficiais. Para contornar esta situação e possibilitar um maior desenvolvimento radicular, a aplicação do gesso pós calagem, se mostra como técnica promissora (CARDUCCI et al., 2015).

Tal condição se deve pelo fato do gesso agrícola ($\text{Ca.SO}_4.2\text{H}_2\text{O}$) se dissociar e os sulfatos de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ serem carreados a profundidades maiores na subsuperfície, neutralizando assim o Al^{3+} nessa camada (RAMPIM et al., 2011). Desse modo as culturas conseguem se desenvolver melhor, aumentando o volume radicular em profundidade para uma maior exploração do volume de solo. Com o maior volume de solo explorado as culturas não só se tornam capazes de buscar água em maiores profundidades, como também de captar maiores quantidades de nutrientes disponíveis no solo, refletindo positivamente no seu desenvolvimento e produtividade (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Entretanto maiores atenções devem ser dadas a essa técnica, pois o uso incorreto desta pode trazer desequilíbrio químico ao ecossistema solo proporcionando prejuízos de longo prazo. De acordo com estudos desenvolvidos por Pauletti et al. (2014) o uso de gesso pode carrear nutrientes essenciais ao desenvolvimento de culturas, além disso, dependendo das condições climáticas, esse pode refletir positivamente ou negativamente na produtividade das culturas.

2.4. Sistema Plantio Direto com Qualidade

Notadamente, o uso da técnica ao modo do SPDT tem contribuído significativamente para as alterações do ecossistema solo, distintamente, pelo mau uso dos recursos do solo e da água. Entretanto, o desenvolvimento de técnicas, por meio de pesquisas científicas, tem gerado conhecimentos técnico-científico que podem contribuir na redução dos danos causados em áreas cultivadas nesse sistema ou, quando bem geridos, até mesmo reverter a situação danosa.

Nos estudos da situação do SPD no Brasil, realizados por Bolliger et al. (2006), os autores relatam que a grande parte dos agricultores brasileiros não se utiliza da prática do SPD de modo ideal, sendo que o modelo adequado é menos seguido conforme a faixa de renda dos produtores diminui. Os mesmos autores sugerem que as razões que levam os produtores a não realizarem o manejo de forma correta é a incapacidade de custear as culturas de coberturas e os insumos necessários, bem como a necessidade de explorar culturas que gerem retorno econômico. Outras razões elencadas também são a dissociação das consultorias agronômicas às questões de sustentabilidade rural, sendo o foco das consultorias apenas comercial, e ainda, o fato das questões política da agricultura não considerarem as externalidades do SPD a cada situação regional.

Em contraponto a esta realidade, a conscientização ambiental e a busca por menor degradação ao meio ambiente tem sido temas de grande destaque na atual sociedade (FREITAS & LANDERS, 2014). Na agricultura, essa questão é destacada pela escolha por usos e manejos do solo que busquem preservar ou melhorar o solo, seja por pesquisadores, técnico, produtores, cooperativas ou instituições. Diante dessa preocupação, o incentivo e o cuidado em identificar pontos críticos no desenvolvimento de pesquisas que levem a metodologias racionais de conservação e manejo do solo são de suma importância para afirmação da técnica como solução aos novos problemas do setor. O uso correto da adubação verde, com plantas recuperadoras de estrutura do solo ou culturas capazes de produzir grandes quantidades de biomassa seca e recuperar o potencial de matéria orgânica, pode se caracterizar um marco para os sistemas agrícolas, pois a utilização de uma técnica de semeadura direta com qualidade une o viés sustentável com o incremento de produtividade (BASSEGIO et al., 2015).

É nesse sentido que um método que tenha como base a permanência de cobertura sobre o solo, bem como a ausência de revolvimento deste; que aprimore um sistema de rotação de culturas otimizado e eficiente e que se utilize de um conjunto de práticas próprias às condições

locais de solo e ainda cumpra com as expectativas do setor é necessário (FREITAS & LANDERS, 2014). Em virtude dessa oportunidade, identificar Sistemas de Plantio Direto com Qualidade - SPDQ - que utilizem adubos verdes com o objetivo de aumentar, preservar ou restaurar a qualidade química, física e biológica dos solos é um projeto de sentido muito promissor (BAKER; SAXTON; RITCHIE, 1996; BAYER et al., 2006).

2.5. Dinâmica de decomposição da matéria orgânica

Constata-se que todos os temas ligados a sistemas de cultivos, sejam eles realizados do modo ideal ou não, sempre têm por ponto chave o manejo da matéria orgânica (MO). A compreensão do ciclo biogeoquímico da MO e sua influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo volta a restituir sua importância, uma vez que a preocupação pela sustentabilidade no tripé ambiental, social e econômico recai no meio agrícola, seja pela pressão da degradação ambiental, que o meio rural vem sofrendo, ou pela pressão social por produtos mais sustentáveis. A compreensão do ciclo do carbono, e por consequência da MO, por meio do estudo da taxa de decomposição dos resíduos culturais frente aos diferentes manejos adotados é necessária para a compreensão dos processos que determinam este ciclo, a fim de encontrar soluções para mitigar as perdas de MO, e assim sugerir as melhores práticas de manejo (DAWSON & SMITH, 2007).

A adição de carbono ao solo é realizada a partir do sequestro do carbono contido na atmosfera via fotossíntese das plantas, que transforma o carbono em MOS. Esta transformação sofre influência do clima, das estações do ano e da variedade de planta. A adição de MOS, por sua vez, ocorre pela decomposição das estruturas do material vegetal. Jones e Donnelly (2004) nos explicam que o processo de transformação e decomposição dos resíduos culturais é realizado pela macro e microbiologia do solo. A desintegração dos resíduos culturais ocorre primeiramente pela ação mecânica de implementos agrícola e pela ação da mesofauna, e durante e após esse processo, pela ação de microorganismos, por meio da qual o material é decomposto a partir da ação química de enzimas (REIS et al., 2007; ZENG et al., 2010; KONG et al., 2011).

Os fatores que determinam o aporte de carbono orgânico ao solo estão relacionados a: (i) a taxa de entrada de MO; (ii) a decomposição dos materiais orgânicos, em particular os de mais fácil degradação; (iii) a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos materiais vegetais. Por sua vez, cada um desses fatores sofre a influência de: (i) a escolha do uso e manejo do solo; (ii) a

temperatura, umidade e aeração; (iii) a escolha das culturas que fazem parte do sistema de manejo escolhido. Cada um desses fatores, ambientais ou não, podem apresentar restrições ou afetar as taxas das reações de decomposição, direta ou indiretamente, podendo diminuir as concentrações de substrato em locais com alta ação biológica (DAVIDSON; JANSSENS, 2006).

A quantidade e a qualidade dos resíduos culturais determinam o aporte de carbono no solo. De modo geral, maiores aportes de carbono têm sido visualizados em áreas sob SPD com cultivos que adotam plantas de cobertura que produzam alto volume de palha e que tenham sistema radicular agressivo. Uma analogia que pode exprimir a qualidade dos resíduos é a relação entre o carbono e nitrogênio (C/N), que interfere na capacidade dos organismos realizarem a decomposição do material. Quanto maior a relação C/N, mais recalcitrante é o material, ou seja, mais difícil é sua degradação (BAYER et al., 2006; DAWSON; SMITH, 2007). Ocorre ainda que a escolha de manejos que contribuam ao aporte de MO no solo tem por consequência a elevação da interação físico-química entre a MOS e os constituintes minerais do solo, sendo este o mecanismo responsável pela formação e estabilidade dos agregados do solo, como também, da própria MO, reduzindo a velocidade de sua decomposição (LAWRENCE et al., 2015).

Do mesmo modo, o ciclo biogeoquímico do carbono e sua decomposição é fortemente influenciado pela ação conjunta e a interação de fatores como a temperatura, a precipitação e umidade, bem como pelo oxigênio disponível. Elevadas temperaturas do solo conduzem a uma maior taxa de decomposição dos resíduos vegetais e a maiores perdas de carbono do solo (SMITH et al., 2006). Davidson e Janssens (2006) explicam que para temperaturas mais elevadas maiores são as taxas de difusão dos substratos e de enzimas extracelulares, entretanto, as limitações de umidade e oxigênio podem crescer ou decrescer a taxa de decomposição da MO.

Outro fator que influencia na velocidade e taxa de decomposição da MO é a proteção física dos macros e microagregados do solo, onde a ação de enzima destes fica limitada apenas à MOS exposta, e onde a concentração de oxigênio é mais baixa (SIX et al., 2002). Ocorre ainda que a MOS pode ter uma proteção química pelo fato dela ser adsorvida aos minerais do solo em ligações covalentes, o que pode auxiliar na proteção desta contra a decomposição de microorganismos (DAVIDSON; JANSSENS, 2006).

Ademais, podemos citar ainda que a redução da umidade do solo inibe a difusão extracelular das enzimas e substratos orgânicos solúveis, tornando mais lenta as reações em materiais de fácil decomposição. Por outro lado, em situações de capacidade de campo, onde os macros e microporos estão preenchidos com água, ocorre menor difusão de oxigênio, e assim irrompem as reações de anaerobiose, que são mais lentas em relação a decomposição por aerobiose (MASTO et al., 2008).

2.6. A cultura do Crambe

Os primeiros estudos com a cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) foram realizados nas primeiras décadas do século XX. De acordo com Cornelius e Simmons (1969), as investigações sobre a utilização do seu óleo iniciaram-se na extinta União Soviética (URSS) a partir de 1930, com um programa que visava identificar os potenciais usos domésticos e industriais com finalidade de redução de custos frente aos produtos derivados do petróleo logo após a crise energética da época.

Entretanto foi a partir dos anos de 1960 que o crambe, enquanto produto agrícola, passou a ser difundido pelo mundo. Com a possibilidade da exploração comercial da cultura, países, principalmente do hemisfério norte, iniciaram seus primeiros investimentos na cultura (McGREGOR; PLESSERS; CRAIG, 1961). No Brasil, os primeiros estudos são relatados a partir da década de 1990, no Mato Grosso do Sul com pouca exploração no sul e sudeste (PITOL, 2010).

O grande motivador da produção do crambe foi sua alta concentração de ácido erúico. Tal ácido graxo pode ser utilizado para a produção de uma grande gama de produtos e subprodutos, dentre eles os lubrificantes, isolantes, tintas, resinas, surfactantes (GONZALES; CIHACEK, 1991; REGITANO d'ARCE, 2008). Assim, de base no seu grande potencial, inúmeras pesquisas foram passaram a desenvolvidas, entretanto, nos anos de 1960, o óleo do crambe perdeu força frente aos produtos e subprodutos do petróleo que passaram a ser novamente mais econômicos. De acordo com Lazzeri et al., (1994) mesmo os produtos do crambe tendo a biodegradabilidade a seu favor estes não se tornaram competitivos economicamente em relação aos produtos derivados do petróleo.

Atualmente com a nova perspectiva, principalmente ambiental, por novas fontes energéticas, como os biocombustíveis, o crambe volta ao cenário devido ao seu grande potencial de produção de óleo com boas características comerciais, principalmente no Brasil.

Entre as plantas oleaginosas o crambe se mostra como uma das culturas anuais não alimentícias mais promissoras a compor o quadro de culturas comerciais no setor agropecuário. A planta da família *Brassicaceae* é uma angiosperma e possui similaridade com as culturas da mostarda, nabo forrageiro e canola. Típica da região do mediterrâneo, é única do gênero *abysinica* a ser cultivada. Em sua forma rústica cresce como planta invasora entre as árvores (CORNELIUS; SIMMONS, 1969). Típica de uma região de transição entre o clima temperado e quente, com precipitações regulares o crambe adaptou-se a diversas condições edafoclimáticas em diferentes regiões do mundo a partir do melhoramento genético (MASTEBROEK; WALLENBURG; VAN SOEST, 1993).

No Brasil o crambe caracteriza-se como uma cultura de safrinha, após a colheita da cultura do verão, por ser mais adaptada as estações do outono e do inverno. A principal característica que permite a inclusão do crambe como cultura comercial é sua precocidade. Seu ciclo completo varia entre 80 a 100 dias, dependendo da variedade, época de semeadura e condições edafoclimáticas (ONOVEROLI, 2012).

Outra característica interessante é a sua capacidade de suportar períodos de estiagem e de geadas. Além disso, o crambe é capaz de suportar temperaturas baixas em determinadas fases de desenvolvimento sem que ocorram grandes prejuízos (LUNELLI, 2012). De acordo com Falasca et al., (2010) o crambe apresenta poucas exigências nutricionais e este se desenvolve melhor em regiões úmidas e com temperaturas médias de 15°C a 25°C (FALASCA, et. al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área de estudo

O presente trabalho, é parte de um experimento de longa duração em sistemas de manejo do solo que está sendo conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR - polo regional de Santa Tereza do Oeste, Paraná, Brasil. Localizado no terceiro planalto paranaense, o polo regional encontra-se situado geograficamente na latitude 25,08' (S) e longitude 53°58' (W), com altitude média de 750 m acima do nível do mar (GOOGLE EARTH, 2015).

A característica climática da região, segundo classificação de Köppen, é o mesotérmico subtropical úmido, Cfa, com média no mês mais quente superior a 22 °C e no mês mais frio inferior a 18 °C, sem estação de seca definida, verão quente e geadas menos frequentes. As chuvas são abundantes e bem distribuídas ao longo de todo o ano, com médias anuais entre 1.800 a 2.000 mm e umidade relativa do ar entre 75 % a 80 % (IAPAR, 2000).

O relevo local é suavemente ondulado com declividade média de 3 %, no sentido sudoeste-nordeste, e 8%, no sentido sudeste-noroeste em relação ao norte geográfico, conforme Figura 1. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa (EMBRAPA, 2009).



Figura 1 - Croqui com a distribuição das parcelas experimentais.

As avaliações do presente estudo foram realizadas em área de ensaios experimentais do instituto, anteriormente utilizada para cultivos agrícolas, no sistema de plantio direto, a pelo menos 18 anos. O experimento planejado para ser de longa duração foi instalado em março de 2014. No ano de 2011 foi realizado a última calagem na área, sendo utilizado 3 ton ha⁻¹ de calcário. Na Tabela 1 são apresentados dados referentes aos últimos 3 anos de safras e culturas.

As determinações químicas do solo para o ano de 2010 são apresentadas na Tabela 2. Para a observação destas, foram coletadas sete amostras por hectare logo após a cultura do feijão.

Tabela 1 - Histórico de safra dos últimos 4 anos da área experimental

Safra	Cultura de Verão	Cultura de Inverno
2010	Soja e Feijão	Aveia
2011	Milho	Aveia
2012	Soja e Feijão	Trigo e Aveia
2013	Soja	Aveia e Centeio

Fonte: IAPAR 2015

Tabela 2 - Caracterização química do solo no ano de 2010

Ph	P	C	Al ⁺³	H+Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	S*	T*	V*	Al*
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³ de solo							%	
4,70	23,6	32,72	0,32	9,00	4,20	3,00	0,44	7,64	16,64	45,91	4,02

Fonte: IAPAR 2015

S* - Soma de bases - T* - Capacidade de troca de cátions - V* - Saturação por bases - Al* - Saturação por alumínio.

3.2. Avaliações climatológicas

Para avaliações climatológicas locais, durante o período de duração do experimento (março/2015 a dezembro/2015), foram avaliados diariamente a temperatura média, máxima e mínima, bem como a precipitação. Para determinação das temperaturas foi utilizado termômetro de bulbo seco, já para a precipitação a determinação foi realizada utilizando pluviômetro de campo. Os resultados coletados foram comparados com os dados históricos para a região conforme dados das cartas climáticas do IAPAR (2000).

Na Figura 2, são apresentados os dados históricos da precipitação pluviométrica e temperatura média para a região de Santa Tereza do Oeste – PR, ao longo de 26 anos (1972-1998), bem como os resultados climatológicos, onde é incluído, para o período de estudo, a média mensal da precipitação pluviométrica, a temperatura máxima, mínima e a média para o período do experimento.

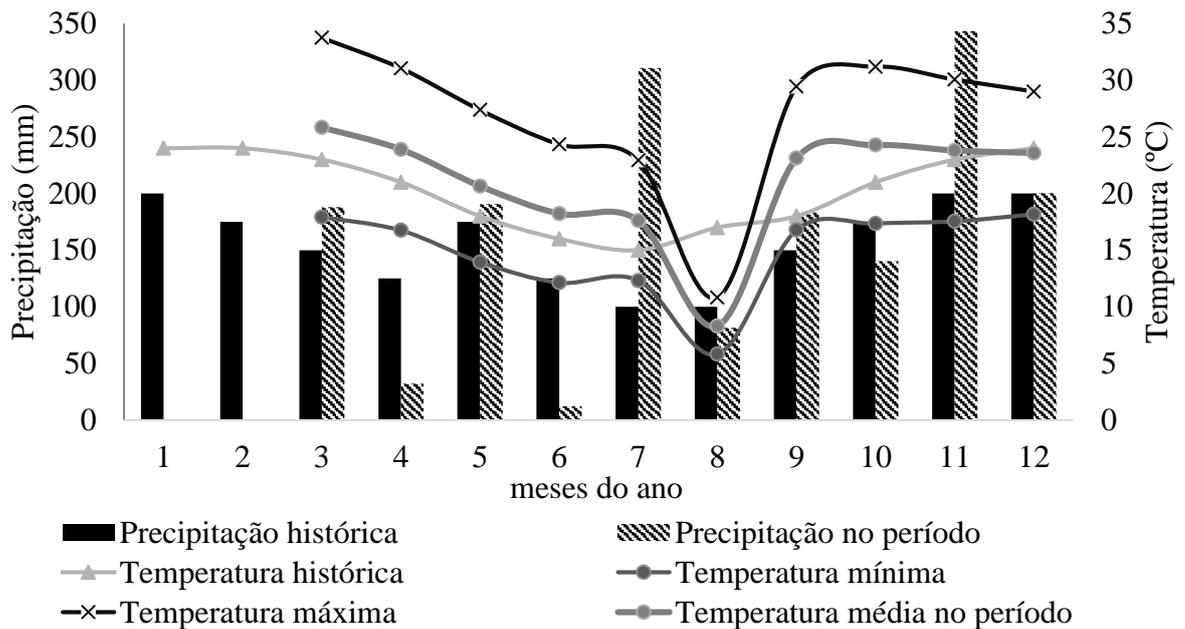


Figura 2 - Média mensal da precipitação pluviométrica, temperatura média para o período de 26 anos (média histórica) da região de Santa Tereza do Oeste – PR. Fonte: IAPAR 2000. Temperatura máxima, mínima e média no período de março/2015 a dezembro/2015. Fonte: Próprio autor.

Percebe-se que o que chama mais atenção são os resultados de precipitação pluviométrica para a região, que nos meses de julho, novembro e dezembro ultrapassam as médias históricas para a região. De acordo com o boletim técnico do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2015) para o ano de 2015 a média pluviométrica do mês de novembro superou a precipitação histórica dos últimos dez anos, a qual atingiu 343 mm acumulados na estação. Ademais a temperatura média no decorrer do experimento também se situou acima da média histórica.

3.3. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, constituído a partir de quatro sistemas de manejo do solo, sendo estes: Sistema Plantio Direto Tradicional (SPDT), Sistema Plantio Direto Escarificado (SPDE), Sistema Plantio Direto Gessado (SPDG), e Sistema Plantio Direto com Qualidade (SPDQ). Os tratamentos foram distribuídos em parcelas subdivididas no tempo com quinze macro-parcelas de 20 m x 25 m, dentre as quais doze tratamentos compõem o tratamento SPDQ.

Os doze tratamentos SPDQ são constituídos de culturas de cobertura de inverno e verão no período de entressafra das culturas comerciais. O sistema plantio direto tradicional (SPDT) foi utilizado como testemunha no qual empregou-se ações de uso e de manejo de cultivos normalmente utilizado pelos produtores da região, a qual deixam a área em pousio pós cultivo de verão. Para o sistema plantio direto escarificado (SPDE), foi realizada a escarificação da parcela a profundidade de até 0,30 m, e por fim, para o tratamento sistema plantio direto gessado (SPDG), foi realizado a aplicação de 3 ton ha⁻¹ de gesso agrícola um mês após início do experimento.

Na Tabela 3 são apresentados os tratamentos estudados. Anteriormente a implementação do experimento a cultura que estava no estande experimental era a soja, após a sucessão de culturas, dos tratamentos, foram as seguintes:

- a) Tratamentos do ciclo de verão:
 - Coberturas de verão / pousio / soja / coberturas de verão / soja;
- b) Tratamentos do ciclo de inverno:
 - Pousio / coberturas de inverno / soja / crambe / soja;
- c) SPDE, SPDG e SPDT:
 - Pousio / soja / crambe / soja.

Tabela 3 - Identificação dos tratamentos, plantas de coberturas e estação de semeadura

Parcela	Tratamento	Sigla	Planta de Cobertura	Estação
1	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-1	Milheto	Verão
2	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-2	Aveia branca gaúderia	Inverno
3	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-3	Guandu anão	Verão
4	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-4	Aveia preta cabocla	Inverno
5	Sistema Plantio Direto Escarificado	SPDE-5	Pousio	Inverno
6	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-6	Centeio IPR89	Inverno
7	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-7	Aveia preta cabocla + Nabo forrageiro	Inverno
8	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-8	<i>Crotalaria juncea</i>	Verão

(...) continuação da Tabela 3

Parcela	Tratamento	Sigla	Planta de Cobertura	Estação
9	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-9	Feijão guandu	Verão
10	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-10	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Verão
11	Sistema Plantio Direto Gessado	SPDG-11	<i>Pousio</i>	Inverno
12	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-12	Aveia preta cabocla + Tremoço branco	Inverno
13	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-13	Mucuna preta	Verão
14	Sistema Plantio Direto com Qualidade	SPDQ-14	Aveia preta cabocla + Ervilha forrageira IAPAR83	Inverno
15	Sistema Plantio Direto Tradicional	SPDT-15	Pousio	Inverno

3.4. Detalhamento da condução das culturas estudadas

Em novembro de 2014 foi realizada a semeadura da cultura da soja em toda a área experimental. A cultivar utilizada foi a Vmax RR - NK7059, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 16 sementes por metro linear. A adubação utilizada foi a NPK 02-20-20, com 300 kg ha⁻¹. Em março de 2015 foi colhida a soja e realizada a semeadura das espécies de cobertura do ciclo de verão para os respectivos tratamentos, já para os tratamentos de inverno, SPDE, SPDG e SPDT, foi semeada a cultura do Crambe. Para todos os tratamentos a quantidade de semente em kg ha⁻¹ foi corrigida segundo a taxa de germinação obtida previamente. A semeadura pós cultivo da soja foi realizada sem nenhuma adubação para qualquer um dos tratamentos.

O manejo das culturas de cobertura, rolagem e dessecação, ocorreram no estágio de pleno florescimento das culturas. Já para as culturas comerciais, foi aguardado o ciclo completo das culturas para realização das determinações analíticas. Em 17 de agosto de 2015 foi realizada a colheita do crambe e iniciado as avaliações da presente pesquisa.

Os sistemas de manejo e de semeadura das espécies estudadas pós cultivos comerciais, bem como a densidade de sementes e espaçamento entre linhas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição das culturas utilizadas, densidade de sementeira, espaçamento entre linhas e densidade de sementeira

Tratamento	Espécie	Quantidade de sementes (kg ha ⁻¹)	Espaçamento	
			entre linhas (m)	sementes/m
Verão	<i>Crotalaria juncea</i>	25	0,17	14
	<i>Crotalaria spectabilis</i>	15	0,17	24
	Guandú anão	30	0,45	27
	Feijão guandú	50	0,45	33
	Mucuna preta	70	0,45	8
	Milheto	20	0,17	81
Inverno	Aveia branca	70	0,17	52
	Aveia preta	40	0,17	80
	Centeio	70	0,17	42
	Ervilha forrageira + Aveia Preta	30 40	0,17 0,17	11 80
	Tremoço Branco + Aveia Preta	90 40	0,45 0,17	10 80
	Nabo + Aveia Preta	4	0,34	24
		40	0,17	80
	SPDT			
SPDG	Crambe	12	0,34	113
SPDE				

3.5. Avaliações e determinações analíticas

A determinação da decomposição seguiu-se de forma quantitativa, por meio da análise da taxa de decomposição dos resíduos culturais em sete épocas, com cinco repetições por época de coleta, durante a decomposição destes.

No estágio de pleno florescimento da cultura do crambe, foi determinada a produção biomassa de matéria seca (MS) em cada parcela do experimento que continha a cultura. Para cada tratamento foram coletadas quatro amostras em 1 m², totalizando 4 m² por tratamento. A coleta das amostras se deu com o corte da parte área vegetal a 1 cm do solo.

Após coleta, o material foi encaminhado ao Laboratório de Física do Solo - LAFIS - da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, onde os materiais foram limpos em água corrente, seguido de água destilada e depois secos em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. Posteriormente, o material foi pesado para determinação da MS.

A decomposição dos resíduos culturais do crambe foi avaliada seguindo o método proposto por Thomas e Asakawa (1993), utilizando-se de bolsas de náilon ("*litter bags*") confeccionadas com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 15 x 15 cm. Para cada tratamento foram distribuídas 30 bolsas contendo os respectivos resíduos culturais da parcela. A quantidade de resíduos culturais, em gramas, foi proporcional a biomassa de matéria seca produzida no estande do tratamento. Os "*litter bags*" foram dispostos aleatoriamente sobre a superfície do solo de cada estande e as coletas realizadas nos períodos de 0 (zero), 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias a partir da data de colheita do crambe.

Retiradas as amostras de cada época de avaliação, as mesmas foram encaminhadas ao LAFIS onde realizou-se a limpeza das sujidades excedentes (solos e outras vegetações que não compunha as avaliações pretendidas) e, posteriormente, a secagem da fitomassa restante nos "*litter bags*", em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. As respectivas determinações analíticas ocorreram para cada época de amostragem quantificando-se a biomassa seca remanescente das espécies.

Para descrever a taxa de decomposição dos resíduos vegetais aplicou-se o modelo matemático exponencial $X = X_0 e^{-kt}$, descrito por Wieder e Lang (1982), ajustado por Thomas e Asakawa (1993). No qual X é a quantidade de massa seca (kg ha^{-1}) existente no tempo t, em dias; X_0 é a fração de massa seca potencialmente decomponível e k é a constante de decomposição do resíduo ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$).

De acordo com o modelo proposto é possível fazer a análise de regressão da decomposição dos resíduos bem como determinar a constante de decomposição (k) aplicando o logaritmo neperiano (ln) em: $k = \ln(X / X_0) / t$. Com o valor obtido de k calcula-se o tempo de meia-vida ($T(1/2)$) da massa seca e dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais remanescentes, ou seja, o tempo necessário para que 50% da massa seca seja decomposta e os nutrientes liberados. Para calcular a meia-vida decomposta da biomassa utilizou-se uma fórmula matemática proposta por Paul e Clark (1989), na qual: $T(1/2) = \ln(2)/k$, em que $T(1/2)$ é o tempo de meia-vida para decomposição da biomassa ou liberação de nutrientes e k é a constante de decomposição da biomassa.

Para caracterização inicial dos nutrientes contidos no solo as amostragens ocorreram em triplicatas na camada de 0,00 a 0,05, 0,05 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 metros em cada estande experimental, ao final do ciclo das culturas comerciais. As determinações das características químicas do solo foram realizadas tendo por base a metodologia propostas por

Pava et al. (1992), sendo realizado as seguintes determinações analíticas: pH, carbono (C), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e calculado os valores de: soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (Al).

3.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F para identificar as diferenças entre médias de tratamentos, através do Microsoft Office Excel 2010[®]. São apresentados no item ANEXOS as tabelas de ANOVA para cada teste realizado. Para os efeitos significativos foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo suplemento Action 2.9[®]. As análises de regressão relativas à decomposição da massa seca foram realizadas com o uso do Microsoft Office Excel 2010[®] com base nas formulações de Thomas e Asakawa (1993).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação químicas do solo

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios dos atributos químicos por camadas para os tratamentos estudados.

Tabela 5 - Valores médios de atributos químicos do solo no início das avaliações do presente estudo em março de 2014, nas quatro camadas avaliadas

Parcela	Camada	Ph	C	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	*S	*T	*V	*Al
				mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----							----- % -----	
SPDQ 2	0,00-0,05	5,13	26,75	38,13	0,56	6,97	3,39	0,01	6,52	10,92	17,44	62,72	0,13
	0,05-0,10	4,93	25,97	25,13	0,42	5,84	2,70	0,08	7,80	8,96	16,77	53,56	1,11
	0,10-0,20	4,43	24,41	16,83	0,30	3,55	1,70	1,37	11,19	5,55	16,74	33,37	29,72
	0,20-0,40	4,20	23,89	3,10	0,23	2,52	1,42	1,52	12,33	4,17	16,49	25,57	35,11
SPDQ 4	0,00-0,05	5,17	24,93	17,80	0,56	6,07	3,38	0,03	6,12	10,01	16,13	61,35	0,32
	0,05-0,10	4,87	22,85	21,40	0,47	4,67	2,34	0,13	7,50	7,48	14,98	49,51	2,43
	0,10-0,20	4,60	21,81	9,80	0,38	3,74	1,96	0,37	8,93	6,08	15,01	40,51	7,51
	0,20-0,40	4,17	15,58	1,43	0,23	1,67	1,05	1,08	10,50	2,94	13,44	21,84	29,33
SPDE	0,00-0,05	4,97	25,71	29,93	0,52	6,10	2,53	0,01	7,03	9,15	16,18	56,56	0,11
	0,05-0,10	4,83	25,45	17,73	0,43	5,05	2,23	0,08	7,88	7,71	15,59	49,36	1,23
	0,10-0,20	4,77	18,96	3,83	0,35	3,97	1,93	0,13	7,88	6,25	14,13	44,02	2,86
	0,20-0,40	4,50	15,06	0,47	0,22	2,03	1,16	0,26	7,97	3,41	11,40	26,65	7,40
SPDQ 6	0,00-0,05	4,63	17,01	21,50	0,28	3,00	1,55	0,19	7,93	4,83	12,77	35,34	5,13
	0,05-0,10	4,77	22,85	23,67	0,43	4,83	1,97	0,08	8,18	7,23	15,41	46,84	1,19
	0,10-0,20	4,37	21,55	8,43	0,31	2,65	1,32	0,46	10,20	4,28	14,48	29,55	9,67
	0,20-0,40	4,27	16,10	1,10	0,22	1,75	0,87	0,76	9,53	2,84	12,38	23,23	20,59
SPDQ 7	0,00-0,05	5,20	26,23	9,20	0,36	6,20	2,65	-	5,77	9,21	14,97	61,48	-
	0,05-0,10	5,00	20,77	3,73	0,28	4,90	2,24	0,08	6,24	7,42	13,65	54,18	1,59
	0,10-0,20	4,83	17,40	1,13	0,24	3,37	1,60	0,17	6,79	5,20	11,99	42,92	4,71
	0,20-0,40	4,73	11,42	0,33	0,18	2,12	1,08	0,28	6,61	3,39	9,99	33,88	10,28
SPDQ 12	0,00-0,05	5,03	25,71	22,40	0,39	5,33	2,68	0,06	5,58	8,40	15,12	55,59	0,92
	0,05-0,10	4,80	19,48	10,10	0,31	3,89	1,94	0,22	7,78	6,14	13,91	44,26	5,06
	0,10-0,20	4,30	15,58	2,10	0,21	1,99	1,03	0,51	8,30	3,23	11,53	28,35	16,37
	0,20-0,40	4,40	11,42	1,20	0,15	1,58	0,46	0,42	7,39	2,20	9,59	22,76	17,64
SPDQ 12	0,00-0,05	4,90	27,53	20,60	0,47	5,60	3,40	0,08	8,11	9,47	17,58	53,86	1,04
	0,05-0,10	4,53	27,27	18,80	0,32	4,52	2,36	0,24	9,72	7,20	16,91	42,24	3,79
	0,10-0,20	4,20	25,45	17,87	0,24	2,70	1,40	1,01	12,14	4,34	16,48	26,29	19,33
	0,20-0,40	4,03	21,29	2,20	0,18	1,55	0,89	1,56	12,75	2,61	15,36	16,96	36,90

S* - Soma de bases - T* - Capacidade de troca de cátions - V* - Saturação por bases - Al* - Saturação por alumínio.

(...) continuação Tabela 5

Parcela	Camada	Ph	C	P Mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	*S	*T	*V	*Al
								cmol _c dm ⁻³				%	
SPDQ 14	0,00-0,05	5,03	28,57	23,47	0,43	6,03	3,17	0,02	7,05	9,63	16,68	57,51	0,22
	0,05-0,10	4,73	25,97	13,47	0,35	4,83	1,83	0,08	8,67	7,01	15,68	45,01	1,14
	0,10-0,20	4,30	19,22	3,90	0,22	2,10	0,88	0,79	10,69	3,20	13,89	23,56	20,90
	0,20-0,40	4,20	15,84	0,90	0,17	1,29	0,60	0,95	10,42	2,07	12,49	17,44	31,64
SPDT	0,00-0,05	4,67	27,79	17,13	0,34	4,65	2,14	0,22	9,05	7,13	16,18	44,20	3,80
	0,05-0,10	4,27	23,11	19,23	0,25	2,45	0,98	0,80	10,76	3,69	14,44	25,64	18,55
	0,10-0,20	4,10	21,04	8,63	0,18	1,52	0,50	1,17	11,41	2,19	13,60	16,55	34,26
	0,20-0,40	4,03	16,10	1,13	0,12	0,97	0,44	1,14	54,65	1,53	12,85	12,08	41,76

S* - Soma de bases - T* - Capacidade de troca de cátions - V* - Saturação por bases - Al* - Saturação por alumínio.

Podemos observar que a fertilidade do solo se encontra em uma faixa considerada, no geral, elevada. Quando comparados os resultados com o Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo (FUENTES, 1989), podemos perceber primeiramente que os valores de pH encontram-se abaixo ou por vezes muito abaixo do recomendado, que preconiza bons valores de pH entre 5,50 a 6,50. Cabe lembrar que a última realização de calagem na área experimental foi em 2011 e que a média geral da área experimental já se situava em 4,70. O maior valor de pH é de 5,20, observado no tratamento SPDQ-7, a qual contém a consorciação de plantas de cobertura Aveia preta cabocla + Nabo forrageiro, já o valor de pH mais baixo observado foi o de 4,03 no tratamento SPDQ-12 a qual contém a consorciação Aveia preta cabocla + Tremoço. A média geral do pH para todos os tratamentos foi de 4,61. Para Janecitz et al. (2010), o pH para a cultura do crambe deve se situar entre 5,8 e 6,2 para um boa produção, o que não é constatado nos tratamento que obtiveram uma média de pH na profundidade de 0,00 a 0,20 m de 4,34 a 5,01. Os mesmos autores ainda colocam que o valor de saturação por bases deve ser maior que 60% e de preferência menor que 80%, entretanto a presente pesquisa demonstra que no tratamento que obteve a menor saturação por bases (SPDT) foi a que obteve a melhor produção de fitomassa seca.

Ao analisar os valores de carbono, podemos observar que o solo da área experimental possui valores de médio a alto nível de carbono, e que, principalmente, o valor de carbono na camada estudada possui valores considerados elevados, de acordo com o manual de manejo que coloca valores entre 20 g dm⁻³ e 35 g dm⁻³ como valores altos. Podemos constatar tais informações ao observarmos que o valor mais baixo de carbono de 11,42 g dm⁻³, encontra-se na camada de 0,20 – 0,40 m. Podemos ainda perceber, que na camada de 0,00 a 0,10, onde se concentra o maior volume de raiz, os valores para carbono classificados como muito altos, com

valores que vão de 17,01 g dm⁻³ a 28,57 g dm⁻³. Segundo estudos de Pitol, Broch e Roscoe (2010), os autores constataram acréscimo de produtividade da cultura do crambe em função da alta disponibilidade de nitrogênio no solo ligando está a concentração de matéria orgânica contida no solo.

Os valores de macro nutrientes encontram-se na faixa de médio a muito alto, conforme o manual supracitado. Podemos observar que o fósforo possui sua maior concentração nas primeiras camadas, em especial de 0,00 a 0,10, com valores classificados como muito alto. O maior valor para o elemento fósforo de 38,13 mg dm⁻³, é observado no tratamento SPDQ-2, na camada 0,00 – 0,05 m, com o cultivo de Aveia branca gauderia. Por outro lado, o menor valor observado foi o de 0,33 mg dm⁻³, constatado no tratamento SPDQ-7 na profundidade de 0,20 – 0,40 m. Silva, Lavagnoli e Nola (2011), relacionam em seus estudos o incremento de desenvolvimento da parte área e produtividade final da cultura a disponibilidade adequada de fósforo, para os autores quanto maior o fósforo disponível maior o incremento da parte área da cultura. Por sua vez Vazquez et al. (2014), ao estudar diferentes doses de super fosfato simples aplicados na semeadura do crambe, constataram que a melhor concentração para o desenvolvimento da cultura ocorreu para 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Já para o elemento cálcio os valores encontram-se na faixa preconizada como boa a muito alta, com valores que variam de 0,97 cmol_c dm⁻³ na camada 0,20 – 0,40 m a 6,97 cmol_c dm⁻³ constatada na camada 0,00 – 0,05 m. Ao analisarmos o elemento magnésio observamos que o mesmo se encontra com valores muito alto, quando o preconizado, que estima que valores médios devam se situar entre 0,60 a 0,80 cmol_c dm⁻³ e que valores acima de 0,80 cmol_c dm⁻³ são valores considerados muito altos. Os maiores valores de magnésio encontram-se nas primeiras camadas, principalmente de 0,00 – 0,010 m, sendo que o maior valor foi de 3,40 cmol_c dm⁻³ para o tratamento SPDQ-12, com Aveia preta cabocla + Tremoço, e o menor valor foi o de 0,44 cmol_c dm⁻³, para o tratamento SPDT.

Para o elemento potássio, esse se encontra dentro de uma faixa boa, com valores médios próximos a 0,31 cmol_c dm⁻³. Segundo o manual de manejo e conservação do solo os valores são considerados médios a altos. O menor valor é observado no tratamento SPDT, com 0,12 cmol_c dm⁻³, já o maior valor foi encontrado no tratamento SPDQ-2 e SPDQ-4, com 0,56 cmol_c dm⁻³. De acordo com Freitas (2010) e Rosolem e Steiner (2014), poucas foram as respostas do crambe frente a adubação potássica a qual os autores variando as doses de K₂O não constataram aumento de produtividade.

Apesar dos altos valores de fertilidade o que mais chama a atenção é o desequilíbrio na relação entre os elementos cálcio e magnésio, que se situou entre 1,59 a 2,64, em média. Tal razão é considerada prejudicial a cultivos pelo fato destes elementos competirem na absorção pela planta. De acordo com a literatura os valores da relação de cálcio e magnésio devem se situar entre 3:1 a 8:1 (MEDEIROS et al., 2008). O excesso de cálcio inibe a absorção de magnésio e o contrário também é verdadeiro, o que pode refletir negativamente na produtividade. Além disso valores altos de cálcio e magnésio também geram inibição competitiva com o potássio, como também com o fósforo, podendo, deste modo, afetar o desenvolvimento dos cultivos (ROSOLEM; MACHADO; BRINHOLI, 1984).

De acordo com Broch e Roscoe (2010) a cultura do crambe possui sistema radicular sensível ao alumínio, tornando-se necessária a utilização de corretivos de acidez do solo se houver a presença desse elemento. Podemos observar nos estandes experimentais que ocorreu a presença de baixas concentrações de alumínio, sendo o tratamento SDPT o que teve a maior concentração na camada de 0,00 a 0,20 m, não sendo este impeditivo a maior produção de fitomassa alcançada por este tratamento.

4.2. Produção de fitomassa seca e dinâmica da decomposição dos resíduos culturais do crambe

Na Tabela 7 são demonstrados os valores de produção de massa seca do crambe, bem como a taxa de decomposição. Observa-se variação entre os tratamentos na produção de massa seca, o tratamento com melhor produção de fitomassa seca é observado para o tratamento SPDT, com 3.716,46 kg ha⁻¹, a qual se utiliza do sistema de manejo comumente utilizado pelos produtores da região seguido pelos tratamentos SPDQ-14, com produção média de 3.657,45 kg ha⁻¹, na qual se utiliza a consorciação composta por Aveia preta cabocla + Ervilha forrageira e em seguida o tratamento SPDQ-4, com produção estimada em 3.635,16 kg ha⁻¹, com a utilização de Aveia preta cabocla como planta de cobertura. Já os tratamentos que obtiveram as mais baixas produções de fitomassa seca foram o tratamento SPDQ-4 e SPDE, com produção estimada em 2.763,29 kg ha⁻¹ e 2.831,15 kg ha⁻¹, respectivamente.

A produção de matéria seca foi superior à observada por Pitol et al. (2010), Heinz et al. (2011) e Mauad et al. (2013), que obtiveram valores de 1.742 kg ha⁻¹, 2.688 kg ha⁻¹ e 2.837 kg ha⁻¹, respectivamente. Possivelmente a diferença observada pode ser atribuída às condições

climáticas, tipo de solo, às cultivares utilizadas, condições químicas das unidades experimentais, época de semeadura ou, ainda, ao estágio e a forma que as plantas foram manejadas.

Tabela 6 - Produção total de fitomassa seca da cultura do crambe, fitomassa decomposta e remanescente após 120 dias e taxa de decomposição.

Tratamento	Fitomassa			Taxa de decomposição	
	Produzida [†]	Decompоста (%)	Remanescente	kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	% dia ^{-1†}
	----- kg ha ⁻¹ -----				
SPDQ-2	2.763,29 ^c (± 272)	2.155,92 (78%)	607,36 ^{ab}	17,97 ^e	0,65 $\pm 0,01$
SPDQ-4	3.635,16 ^a (± 351)	3.039,84 (84%)	595,33 ^{ab}	25,33 ^b	0,70 $\pm 0,01$
SPDE	2.831,15 ^{bc} (± 80)	2.422,16 (86%)	408,99 ^b	20,18 ^d	0,71 $\pm 0,01$
SPDQ-6	3.517,26 ^a (± 85)	2.862,78 (81%)	654,48 ^{ab}	23,86 ^b	0,68 $\pm 0,02$
SPDQ-7	3.497,59 ^a (± 409)	2.837,23 (81%)	660,36 ^{ab}	23,64 ^b	0,68 $\pm 0,01$
SPDG	3.446,89 ^{ab} (± 172)	2.588,77 (75%)	858,12 ^a	21,57 ^c	0,63 $\pm 0,02$
SPDQ-12	3.300,42 ^{abc} (± 340)	2.606,90 (79%)	596,06 ^{ab}	20,72 ^d	0,66 $\pm 0,01$
SPDQ-14	3.657,45 ^a (± 370)	3.061,39 (84%)	596,06 ^{ab}	25,51 ^a	0,70 $\pm 0,00$
SPDT	3.719,46 ^a (± 180)	2.902,28 (78%)	817,19 ^a	24,19 ^b	0,65 $\pm 0,02$

[†] - Desvio Padrão da média (\pm). Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A taxa de decomposição dos resíduos culturais do crambe variou conforme o tratamento utilizado, isso possivelmente esteja associado ao volume de resíduo gerado, bem como a localização topográfica da parcela e ainda ao sistema de manejo adotado na parcela. A maior taxa de decomposição é constatada para o tratamento SPDE, com 0,71 % dia⁻¹, entretanto este tratamento teve uma das mais baixas médias de perda de massa por dia, com 20,18 kg ha⁻¹ dia⁻¹, isso decorre pelo fato da fitomassa seca inicial ser baixa, como o reduzido volume de palha este obteve uma baixa perda diária quando comparado, por exemplo com o tratamento SPDQ-14, que reduziu sua fitomassa na ordem de 25,51 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Ao final dos 120 dias de experimento o tratamento SPDE decompôs 86 % da massa seca produzido, sendo este o tratamento que obteve a maior taxa percentual de decomposição. Os motivos que podem explicar a baixa produtividade e o acelerado processo de degradação da palha em cobertura, é que no presente tratamento foi realizado a escarificação do solo, como em tal condição o material vegetal fica em contato direto com o solo, devido ao baixo volume de proteção bem como por este solo já ter decomposto a matéria orgânica antes nele contida, tornando assim,

este material mais susceptível ao ataque microbiano presente no solo e mais exposto aos agentes de decomposição (Tabela 7).

Comportamento semelhante ao tratamento SPDE é observado para os tratamentos SPDQ-4 e SPDQ-14, que obtiveram uma taxa de decomposição de 25,33 e 25,51 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, o que representa uma taxa de aproximadamente 0,70 % dia⁻¹ da massa seca produzida. Tais tratamentos decompuseram ao final dos 120 dias uma média de 81 % da massa seca inicial produzida. Se por um lado as maiores taxas foram observadas para os tratamentos SPDE, SPDQ-4 e SPDQ-14 por outro as mais baixas taxas de decomposição foram constatadas para o tratamento SPDG, seguido dos tratamentos SDPQ-2 e SDPT. Além da escolha do sistema de manejos tais taxas se devem também pelas culturas adotadas na sucessão, as quais possivelmente devam ter contribuído de diferentes modos no ecossistema solo local reduzindo ou aumentando a velocidade de decomposição das culturas sucessoras.

Para o tratamento SPDG, tratamento este que foi apenas aplicado o gesso, podemos observar uma taxa de decomposição próxima de 21,57 kg ha⁻¹ dia⁻¹, o que representa uma taxa de decomposição aproximada de 0,63 % dia⁻¹. Após 120 dias de o tratamento SPDG reduziu sua massa inicial de palha em cobertura em aproximadamente 75 %. Já para os tratamentos SPDQ-2 e SPDT, a qual se utiliza do consórcio com aveia branca gauderia e manejo com pousio, a taxa de decomposição foi respectivamente de 17,97 e 24,19 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

A taxa de decomposição do tratamento SPDQ-2 foi a mais baixa observada para o período estudado. Os tratamentos SPDQ-2 e SPDT tiveram uma taxa de perda diária de 0,65 % dia⁻¹ da massa seca inicial do crambe, decompondo no total 78 % dos volumes iniciais produzidos (Tabela 7).

Os resultados encontrados no presente estudo corroboram aos de Bayer, Mielniczuk e Martin-Neto (2000) que observaram em seus estudos a influência do sistema de manejo na velocidade de decomposição da matéria orgânica. Os autores constataram que a taxa de decomposição do solo foi menor para solos não revolvidos mecanicamente. Ademais, a alta taxa de decomposição encontra justificativa nos estudos desenvolvidos por Doneda et al. (2012) que compreenderam que a utilização de cultivos solteiros acabam por obter uma maior velocidade de decomposição em função da composição química dos resíduos e da relação C/N.

Cabe lembrar que no período estudado ocorreram eventos climatológicos atípicos. Com o alto volume de chuvas o material esteve em constante umidade, o que pode ter favorecido a elevadas taxas de decomposição. Tais resultados exprimem, ainda, que diferentes

sistemas de manejo, e que principalmente, a utilização do manejo escarificado impactam diretamente no tempo de proteção do solo. Além disso, podemos concluir com os dados que o crambe, como cultivo para proteção do solo, não cumpre perfeitamente seu papel devida a alta taxa de decomposição de sua palha e a produtividade de fitomassa ser em torno de 3 Mg ha⁻¹, quando volumes considerados bons para regiões tropicais devem se situar próximos de 6 a 12 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹ para o aporte de carbono ao solo (CHIODEROLI et al., 2010).

4.3. Meia vida dos resíduos culturais do crambe

Na Tabela 8 são apresentados os coeficientes da equação proposta por Wieder e Lang (1982) e ajustados por Thomas e Asakawa (1993), bem como os coeficientes de determinação da regressão exponencial e o tempo de meia vida dos resíduos culturais.

A cinética de decomposição dos resíduos culturais apresentou um comportamento de decaimento inicial mais acentuado seguido de uma fase mais constante e com um final (T120) voltando a decair levemente. O tempo de meia vida dos materiais (T(1/2)) voltou a reduzir devido as altas precipitações no final da quinzena de novembro e início da quinzena de dezembro, com isso os altos valores de umidade no solo colaboraram para a decomposição e assim a redução do T(1/2). Como T(1/2) é o tempo necessário para que 50% da massa seca remanescente seja decomposta, ou seja o tempo para que a massa seca contida no campo seja desintegrada e os nutrientes sejam liberados, esta seguiu a tendência exponencial coerentemente com valores de 17 a 23 dias para o tempo de 7 dias após instalação do experimento. Após 120 dias de experimento os valores do T(1/2) entre 42 a 63 dias.

Tal ocorrência pode ser explicada pela forte influência da relação carbono e nitrogênio (C/N) das espécies. No início da decomposição os nutrientes potássio, fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio são rapidamente liberados, restando uma maior concentração de carbono, o que faz com que o material se torne recalcitrante e por tanto passe a resistir mais tempo para decompor os resíduos restantes. Soma-se ainda que de acordo com os pesquisadores Rheinheimer et al. (1998), além da razão C/N, a composição química dos resíduos vegetais também altera o processo de decomposição. Tal confirmação encontra afirmação também nos estudos desenvolvido por SANTOS et al. (2009) que observaram que quanto maior a relação C/N, teor de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis mais lenta é a decomposição da fitomassa.

Tabela 7 - Coeficientes da equação de regressão da decomposição dos resíduos culturais $X = X_0 \exp^{-kt}$ (Wieder e Lang, 1982), coeficiente de determinação (R^2) e meia-vida dos materiais $T(1/2) = 0,693/k$ dos resíduos culturais do crambe.

Tratamento	SPDQ-2	SPDQ-4	SPDE	SPDQ-6	SPDQ-7	SPDG	SPDQ-12	SPDQ-14	SPDT	
X_0	2.190,40	2.920,10	2.309,40	2.954,10	2.752,50	3.026,70	2.920,80	3.128,70	3.275,10	
R^2	0,93	0,94	0,96	0,98	0,94	0,97	0,97	0,97	0,98	
T7	K	0,042 ^a	0,039 ^{abc}	0,042 ^{ab}	0,035 ^{abc}	0,042 ^a	0,032 ^{bc}	0,030 ^c	0,039 ^{abc}	0,030 ^c
	$T(1/2)$	16	18	17	20	17	22	23	18	23
T15	K	0,035 ^a	0,032 ^{abc}	0,030 ^{abc}	0,031 ^{abc}	0,034 ^{ab}	0,027 ^{bc}	0,026 ^c	0,034 ^{ab}	0,028 ^{abc}
	$T(1/2)$	20	21	23	23	20	25	27	21	25
T30	K	0,021 ^{ab}	0,020 ^{ab}	0,028 ^a	0,020 ^b	0,022 ^{ab}	0,018 ^b	0,017 ^b	0,022 ^{ab}	0,018 ^b
	$T(1/2)$	33	34	25	34	31	40	41	32	38
T60	K	0,017 ^{ab}	0,018 ^a	0,018 ^a	0,016 ^{ab}	0,017 ^a	0,014 ^{bc}	0,012 ^c	0,018 ^a	0,014 ^{bc}
	$T(1/2)$	42	38	38	43	40	51	58	38	51
T90	K	0,012 ^{cde}	0,013 ^{bcde}	0,015 ^a	0,014 ^{abc}	0,013 ^{bcd}	0,011 ^{de}	0,011 ^e	0,014 ^{ab}	0,013 ^{bcde}
	$T(1/2)$	59	55	45	50	53	62	66	49	54
T120	K	0,013 ^{cde}	0,013 ^{cd}	0,016 ^a	0,014 ^{bc}	0,014 ^{bc}	0,012 ^{de}	0,011 ^e	0,015 ^{ab}	0,013 ^{cde}
	$T(1/2)$	55	52	43	49	50	60	62	46	55

Letras minúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

T7 – 7 dias após início do experimento; T15 – 15 dias após; T30 – 30 dias após; T60 – 60 dias após; T90 – 90 dias após; T120 – 120 dias após;

k – coeficiente de decomposição ($\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$);

$T(1/2)$ – tempo de meia vida (dia);

X_0 – massa decomponível inicial (kg ha^{-1}).

Decorridos 60 dias de experimento os valores de decomposição situavam-se na ordem de 51 % a 67 %. As maiores taxas de decomposição aconteceram nos primeiros 15 dias, onde em torno de 37% dos resíduos já havia sido decomposto. A baixa quantidade de palha em cobertura, observada no campo, pouco protegeu o solo, contribuindo para a maior exposição dos resíduos aos agentes de decomposição, conseqüentemente, favorecendo à rápida decomposição dos resíduos vegetais do crambe.

Na Figura 3 são apresentadas as linhas de tendências para cada tratamento decorridos 120 dias após implementação da experimento. Observa-se que os resíduos possuem uma tendência se decompor mais rapidamente logo após os manejos dos restos culturais contidos no campo. Os dados mostram que a perda de massa tende ao equilíbrio decorridos 45 a 60 dias após implementação dos testes de decomposição.

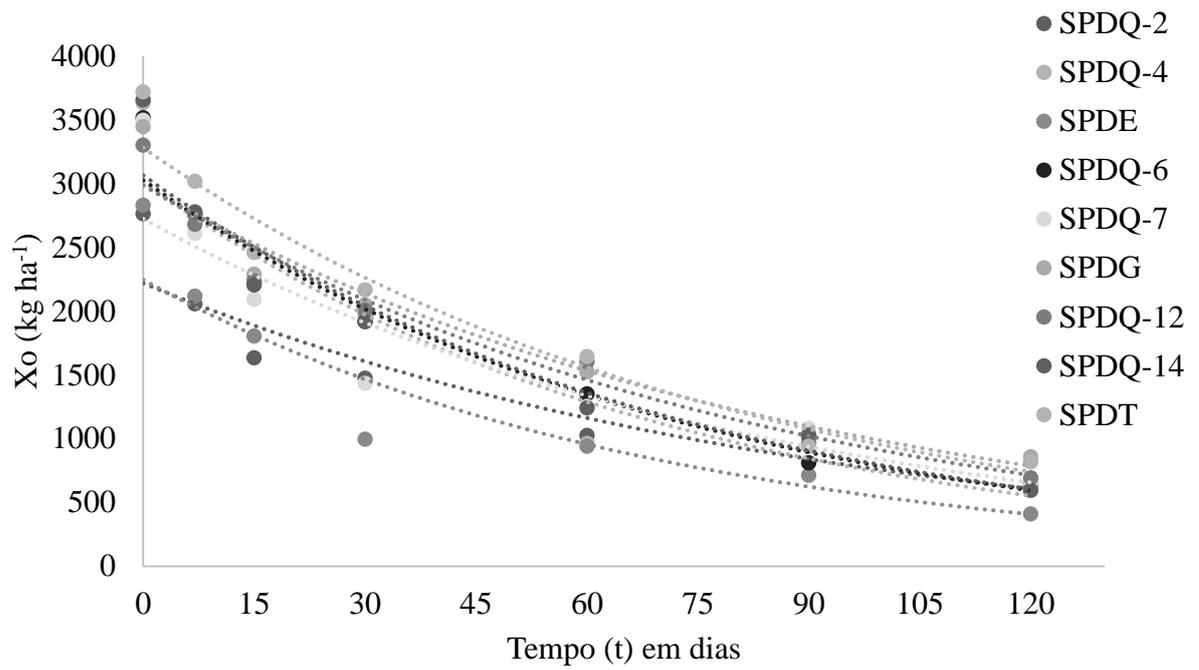


Figura 3 – Gráfico de tendência exponencial de decomposição dos resíduos culturais do crambe decorridos 120 dias de experimento.

5. CONCLUSÕES

1. Observou-se diferença entre os tratamentos utilizados evidenciando que diferentes espécies de cobertura contribuem com variadas taxas de decomposição em função dos manejos de solos.
2. A dinâmica de decomposição da cultura do crambe apresentou diferentes resultados em função do manejo dos tratamentos. A taxa de decomposição dos resíduos culturais do crambe situaram-se entre 0,63 % dia⁻¹ a 0,71 % dia⁻¹ da massa decomponível. Constatando que o sistema de manejo interferiu no processo de decomposição dos resíduos culturais, principalmente no manejo com maior revolvimento do solo.
3. A taxa de decomposição sofreu influência em função do volume de resíduos gerados pela cultura, quanto maior o volume maior foi a taxa de decomposição dos resíduos.
4. A utilização do manejo com gesso contribuiu para uma decomposição mais lenta dos resíduos culturais do crambe, bem como a utilização do consórcio com aveia preta cabocla e tremoço. Por sua vez o revolvimento do solo, no sistema SPDE, elevou a taxa de decomposição.
5. O tempo de meia vida dos resíduos de crambe situaram-se entre 32 a 42 dias, sendo que o maior tempo foi de 66 dias para o manejo SPDQ-12 e o mais baixo tempo foi de 45 dias para o sistema SPDE.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001
- AMADO, T.J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B. H. C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.
- BABUJIA, L.C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 2174-2181, 2010.
- BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. No-tillage Seeding: Science and Practice. **CAB International**, Wallingford, UK, p. 258, 1996.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. **Aracaju: Embrapa**, 2001.
- BASSEGIO, D.; SANTOS, R. F.; SECCO, D.; JUNIOR, L. A. Z.; WERNCKE, I.; SARTO, M. V. M. Short-term effects of crop rotations on soil chemical properties under no-tillage condition. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 1, p. 49, 2015.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and tillage research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; NETO, F. S.; RIBEIRO, M. F. S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEEGARD, A. Taking stock of the brazilian "zero-till revolution": a review of landmark research and farms' practice. **Advances in Agronomy**, v. 91, p. 47-110, 2006.
- BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. D. C.; SANTOS, J. D.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1785-1792, 2008.
- BUSARI, M. A.; KUKAL, S. S.; KAUR, A.; BHATT, R.; DULAZI, A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**. 2015.
- BROCH, D.L.; RANNO, S.K. & ROSCOE, R. **Efeito de dubações de plantio e cobertura sobre a produtividade de crambe cv. FMS Brilhante após soja e milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., João Pessoa, 2010. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p.652-657.

- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.
- CALEGARI, A.; HARGROVE, W.L.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; DANIEL 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**, v. 100, n. 4, p. 1013-1019, 2008.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribute on of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p. 171-180, 2015.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LHANILLO, R. F. Sistema plantio direto no sul do Brasil: fatores que promoveram a evolução e desenvolvimento de máquinas agrícolas. 2008.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. CD
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1101-1109, 2010.
- CORNELIUS, J. A.; SIMMONS, E. A. *Crambe abyssinica* - a new commercial oil seed. **Tropical Science**.v.11, p. 17-23, 1969.
- COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H. SOUZA, Z. M. de. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.
- COLLARES, G. L., REINERT, D. J., REICHERT, J. M., & KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 933-942, 2008.
- CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.
- DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, n. 7081, p. 165-173, 2006.
- DAWSON, J. J.C.; SMITH, P. Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. **Science of the total environment**, v. 382, n. 2, p. 165-190, 2007.
- DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de

cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2011, vol.35, n.5, pp. 1713-1722.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 2006. 2ª Ed. 306p.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2009 e 2010. **Londrina: Embrapa Soja**, 2008. 262 p.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2ª Edição. Brasília, DF. 2009.

ERENSTEIN, O.; Sayre, K.; Wall, P.; Dixon, J.; Hellin, J. Adapting no-tillage agriculture to the conditions of smallholder maize and wheat farmers in the tropics and sub-tropics. **No-till farming systems**, p. 253-278, 2008.

FALASCA, S. L.; LAMAS, M. C.; CARBALLO, S. M.; ANSCHAU, A. Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p.5808-5812, 2010.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. Evolução do sistema plantio direto no Paraná. 2014.

FREITAS, M. E. **Comportamento agrônômico da cultura do crambe (Crambe abyssinica Hoechst) em função do manejo empregado**. 2010, 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The Transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, i. 1, p. 35-46, 2014.

FUENTES R. L. Regionalização do Estado do Paraná. In: SEAB. (Org.). **Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo**. 1ª ed. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 1989, v. 1, p. 41-50.

GÓMEZ-PACCARD, C.; HONTORIA, C.; MARISCAL-SANCHO, I.; PÉREZ, J.; LEÓN, P.; GONZÁLEZ, P.; ESPEJO, R. Soil–water relationships in the upper soil layer in a Mediterranean Paleixerult as affected by no-tillage under excess water conditions – Influence on crop yield. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 303-312, 2015.

GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O. F.; FRANCHINI, J. C.; TORRES, E. Decomposição de resíduos de milho e soja em função do tempo e do manejo do solo. **Londrina: Embrapa-CNPSO**, 2010.

GONZALES, P. B.; CIHACEK, L. J. Crambe fertilization: a literature review. **North Dakota Farm Research**. v. 49, p. 17-19, 1991.

GOOGLE EARTH. Google Earth 7.0. Disponível em: <<http://earth.google.com.br/>> Acesso em: 20 Março 2015.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MAIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.

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

HERZOG, R. L. S.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 771-780, 2004.

INSTITUTO AGRONOMO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

JABRAN, K.; MAHAJAN, G.; SARDANA, V.; CHAUHAN, B. S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, v. 72, p.57-65, 2015.

JANEGITZ, M. C.; SOUZA-SCHLICK, G. D. S.; TROPALDI, L.; CARDOSO, S. M. Influência da saturação por bases no crescimento e produção de crame. **Cultivando o Saber**, v.3, n.4, p.175-182, 2010.

JONES, M. B.; DONNELLY, A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. **New Phytologist**, v. 164, n. 3, p. 423-439, 2004.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ceres. São Paulo. 1985.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31. p. 221-227, 2007.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KONG, A. Y. Y.; SIX, J.; BRYANT, D. C.; DENISON, R. F.; VAN-KESSEL, C. The relationship between carbon input, aggregation and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 4, p. 1078-1085, 2005.

KONG, A. Y. Y.; SCOW, K. M.; CÓRDOVA-KREYLOS, A. L.; HOLMES, W. E.; SIX, J. Microbial community composition and carbon cycling within soil microenvironments of conventional, low-input, and organic cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, i. 1, p. 20-30, 2011.

- LAHMAR, R. Adoption of conservation agriculture in Europe: Lessons of the KASSA project. **Land Use Policy**, v. 27, p. 4-10, 2010.
- 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.
- LAWRENCE, C. R.; HARDEN, J. W.; XU, X.; SCHULZ, M. S.; TRUMBORE, S. E. Long-term controls on soil organic carbon with depth and time: A case study from the Cowlitz River Chrono sequence, WA USA. **Geoderma**, v. 247-248, p. 73-87, 2015.
- LIMA, J. D.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, M. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.531-540, 2010.
- LINGLING, L.; RENZHI, Z.; ZHUZHU, L.; WEILI, L.; JUNHONG, X.; LIQUN, C.; BELLOTTI, B. Evolution of soil and water conservation in rain-fed areas of China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, i. 1, p. 78-90, 2014.
- LUNELLI, I. E.; SECCO, D.; MARINS, A. C.; ROSA, H. A.; SANTOS, R. F.; BORSOIL A.; VELOSO, G.; BARICCATTI, R. A.; SOUZA, S. N. M.; SILVA, T. R. B. Effects of nutritional arrangements of NPK on the yield of grains and Crambe oil cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n.18, p. 2048-2052, 2013.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.
- MASTEBROEK, H. D.; WALLENBURG, S. C.; van SOEST, L. J. M. Variation for agronomic characteristics in crambe (*Crambe abyssinica* Hochst. ex Fries). **Industrial Crops and Products**. v. 2, p. 129-136, 1993.
- MASTO, R. E.; CHHONKAR, P. K.; PURAKAYASTHA, T. J.; PATRA, A. K.; SINGH, D. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. **Land Degradation & Development**, v. 19, n. 5, p. 516-529, 2008.
- MAUADI, M.; GARCIAII, R. A.; VITORINOI, A. C. T.; SILVAIII, R. M. M. F.; GARBIATEI, M. V.; COELHOI, L. C. F. Matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de Crambe. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 771-778, 2013.
- McGREGOR, W.G.; PLESSERS, A.G.; CRAIG, B.M. Species trial with oil plants, I. crambe. **Canadian Journal Plant Science**, v. 41, p. 716-719, 1961.
- MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambiossolo húmico álico. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.
- NETO, J. R.; SILVA, A. S.; JESUS, M. H.; GARBUIO, F. J. Atributos físicos do solo em função dos sistemas de plantio. **Revista Técnico Científica**, v. 3, n. 1, 2012.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do Carbono Orgânico no Sul sob Integração Lavoura-Pecuária no Brasil, D. O. Seção VI-Manejo e Conservação do Solo e da Água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2425-2433, 2008.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.6, p. 943-948, 2006.

ONOREVOLI, B. **Estudo do *Crambe abyssinica* como fonte de matérias primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo**. 2013. 132 f. Tese (Mestrado em Ciência de Materiais). Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2013.

PAUL, E.A., CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press. 1989. 275p.

PASSINI, J. J. Operação de comunicação do plantio direto com qualidade. In CASÃO JR., R. et al. (ed). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. Iapar/Itaipu Binacional, Londrina/Foz do Iguaçu, 2006.

PASTORELLI, R.; VIGNOZZI, N.; LANDI, S.; PICCOLO, R.; ORSINI, R.; SEDDAIU, G.; ROGGERO, P. P.; PAGLIAI, M. Consequence son macroporosity and bacterial diversity of adopting a no-tillage farming system in a clayish soil of Central Italy. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 66, p. 78-93, 2013.

PAULETTI, V.; PIERRI L.; RANZAN T.; BARTH G.; MOTTA A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2014, vol.38, n.2, pp. 495-505. ISSN 0100-0683.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M. AND ZOCOLER, D. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. IAPAR, Londrina, 1992.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracaju: Fundação MS, 2010, 60 p.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Efeito do espaçamento e densidade de plantio sobre a produtividade do crambe cv. FMS Brilhante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 2010, João Pessoa, PB. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p.1339-1344.

PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; VIÑAS, P.; ÁLVARO-FUENTES, J. Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. **Geoderma**, v. 193–194, p. 76-82, 2013.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.1687-1698, 2011.

REGINATO-d'ARCE, M. A. B. Grãos de óleos vegetais: matérias primas, 2008. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/materiasoleaginosas.pdf>>. Acesso em abril 2015.

REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GERLACH, J. R.; CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Decomposição de culturas de cobertura no sistema plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 194-200, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p.713-723, 1998.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

ROSOLEM, C. A.; STEINER, F. Adubação potássica para o crambe. **Bioscience Journal**, v. 30, supplement1, p. 140-146, 2014.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.; GRACIETTI, M.; HORN, D.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; BIANCHIT, P. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 11, p. 25-31, 2005.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP) sobre a fertilidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.4, p.719-727, 2009.

SÁ, J.C.M & R. LAL. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chrono sequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**. v.39, n.1, p.58-64, 2009.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALGO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob

diferentes métodos de preparo para o plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, v.3, n.8, p.111-118, 2010.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. R.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abssynica* Hochst). **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 9, p. 132-135, 2011.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JR, R. In CASÃO JR., R. et al. (ed). Sistema Plantio Direto com Qualidade. **Iapar/Itaipu Binacional**, Londrina/Foz do Iguaçu, 2006.

SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; GRYZE, S.; MORRIS, S. J.; GREGORICH, E. G.; PAUSTIAN, K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil science society of America journal**, v. 66, n. 6, p. 1981-1987, 2002.

SMITH, P.; SMITH, J.; WATTENBACH, M.; MEYER, J.; LINDNER, M.; ZAEHLE, S.; HIEDERER, R.; JONES, R. J. A.; MONTANARELLA, L.; ROUNSEVELL, M.; REGINSTER, I.; KANKAANPÄÄ, S. Projected changes in mineral soil carbon of European forests, 1990-2100. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, p. 159-169, 2006.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 899-906, 2010.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.996-999, 2006.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum**, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; OLIVEIRA, E. P. D.; CORRÊA, C. C. G.; TORRES, F. E. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Bioscience Journal**, p. 161-170, 2015.

THIERFELDER, C.; WALL, P. C. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. **Soil and tillage research**, v. 105, n. 2, p. 217-227, 2009.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

VÁŇOVÁ, M.; MATUŠINSKY, P.; JAVŮREK, M.; VACH, M. Effect of soil tillage practices on severity of selected diseases in winter wheat. **Plant Soil Environ**, v. 57, p. 245-250, 2011.

VASQUEZ, G. H. et al. Produtividade, qualidade fisiológica e composição química de sementes de crambe em diferentes doses de fósforo. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 707-714, 2014.

VEIGA, M. HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Soil compressibility and penetrability of na Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil Tillage Research**, v.92, n.1-2, p.104-113, 2007.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Washington, v.63, n.6, p.1636-1642, 1982.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), v. 1, n. 1, 2015.

ZENG, D. H.; MAO, R.; CHANG, S. X.; LI, L. J.; YANG, D. Carbon mineralization of tree leaf litter and crop residues from poplar-based agroforestry systems in Northeast China: A laboratory study. **Applied Soil Ecology**, v. 44, i. 2, p. 133-137, 2010.

7. ANEXOS

Tabela 8 - Anova da avaliação da constante de decomposição (*k*)

Período		G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	P-valor
T-7	Fator	8	0,001107854	0,000138482	5,778412374	9,35E-05
	Resíduos	36	0,000862753	2,39654E-05		
T-15	Fator	8	0,000448367	5,60458E-05	4,072415707	0,001561
	Resíduos	36	0,000495443	1,37623E-05		
T-30	Fator	8	0,000365073	4,56342E-05	4,386099689	0,001025
	Resíduos	36	0,000353745	1,04043E-05		
T-60	Fator	8	0,000218357	2,72946E-05	12,46415037	3,02E-08
	Resíduos	36	7,66448E-05	2,18985E-06		
T-90	Fator	8	8,45572E-05	1,05696E-05	10,30028597	6,81E-07
	Resíduos	36	3,18107E-05	1,02615E-06		
T-120	Fator	8	9,73978E-05	1,21747E-05	22,35584136	2E-11
	Resíduos	36	1,8516E-05	5,44588E-07		

Tabela 9 - Anova da avaliação da fitomassa produzida e remanescente.

Período		G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	P-valor
T-0	Fator	8	3928287,05	491035,8817	6,75835901	7,2898E-05
	Resíduos	27	1961714,194	72656,08126		
T-7	Fator	8	4092654,499	511581,8	63,38656	6,68E-19
	Resíduos	36	290549,6986	8070,825		
T-15	Fator	8	2623845,793	327980,7	24,879	1,79E-12
	Resíduos	36	474589,1859	13183,03		
T-30	Fator	8	5884067,746	735508,5	5,409458	0,000167
	Resíduos	36	4894816,303	135967,1		
T-60	Fator	8	2928520,076	366065	8,281999	2,72E-06
	Resíduos	36	1591202,864	44200,08		
T-90	Fator	8	543512,9493	67939,12	0,410716	0,906897
	Resíduos	36	5954980,617	165416,1		
T-120	Fator	8	694492,0687	86811,51	2,650596	0,021389
	Resíduos	36	1179060,93	32751,69		

Tabela 10 – Anova da taxa de decomposição em kg ha⁻¹ dia⁻¹.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	P-valor
Fator	8	238,36	29,79472202	108,1919412	6,70472E-22
Resíduos	36	9,3632	0,275387628		