

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 - DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Gabriela França de Lima
241908**

Mitigação da compactação de solos cultivados sob Plantio Direto em regiões tropicais e subtropicais

PORTO ALEGRE, Setembro de 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

**Mitigação da compactação de solos cultivados sob Plantio Direto em regiões
tropicais e subtropicais**

Gabriela França de Lima

241908

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Engenheiro
Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Eng. Agr. Dr. José Eloir Denardin

Orientador Acadêmico do Estágio: Eng. Agr. PhD. Elemar Antonino Cassol

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Profa. Lúcia Brandão Franke Departamento de Plantas Forrageiras
e Agrometeorologia (Coordenadora)

Prof. Alexandre de Mello Kessler Departamento de Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli Departamento de Fitossanidade

Profa. Magnólia Aparecida Silva da Silva Departamento de Horticultura
e Silvicultura

Prof. Alberto Vasconcellos Inda Junior Departamento de Solos

Prof. Pedro Alberto Selbach Departamento de Solos

Profa. Carla Andrea Delatorre Departamento de Plantas de Lavoura

Profa. Catarine Markus Departamento de Plantas de Lavoura

PORTO ALEGRE, Setembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões e me acompanharam em todos os momentos da minha vida. Amo muito vocês.

Ao meu supervisor de estágio, José Eloir Denadin, que me fez amar ainda mais a área de Manejo e Conservação do Solo.

Ao meu orientador, Elemar Antonino Cassol, por toda ajuda durante o decorrer deste trabalho.

À todos meus amigos da Agronomia, que fizeram esses cinco anos de curso serem incríveis.

RESUMO

O estágio foi realizado na Embrapa Trigo, localizada no município de Passo Fundo/RS, no período de oito de janeiro a dois de março do ano de 2018. O objetivo do trabalho consistiu em analisar os fatores responsáveis pela falha da adoção do Plantio Direto e avaliar alternativas para mitigação da compactação do solo em lavouras anuais. Foram realizadas determinações de taxas de infiltração de água no solo, utilizando Infiltrômetro de Cornell. No primeiro experimento utilizaram-se diferentes níveis de aporte de biomassa (elevado, médio e baixo) e ação biológica da tecnologia Microgeo, e, no segundo, diferentes aportes de biomassa e duas intervenções mecânicas (haste sulcadora de ação rasa e haste sulcadora de ação profunda acopladas à semeadora). O uso de adubo biológico não foi eficiente para aumentar a taxa de infiltração de água no solo. A utilização de uma haste sulcadora de ação profunda mostrou-se eficiente em romper a camada compactada do solo, aumentando a taxa de infiltração. Em ambos os experimentos, um alto aporte de biomassa adicionado por ano no solo obteve os melhores resultados, concluindo que o Sistema Plantio Direto atua como ferramenta indispensável para manutenção da qualidade do solo.

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|---------------|
| 1. Valores médios de taxa constante de infiltração (TCI) de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e presença ou ausência de adubo biológico Microgeo..... | 23 |
| 2. Valores médios de taxa constante de infiltração (TCI) de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e intervenções mecânicas | 25 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| 1. Infiltrômetro de Cornell construído na Embrapa Trigo | 14 |
| 2. Vista esquemática de perfil do infiltrômetro de Cornell | 15 |
| 3. Haste sulcadora acoplada à semeadora de Plantio Direto | 18 |
| 4. Processo de determinação de carbono na biomassa microbiana. a) Fumigação; b) Retirada de solução sobrenadante de solo (após agitação com K_2SO_4) com posterior filtragem e c) Amostras preparadas para realização de leitura colorimétrica..... | 20 |
| 5. Destilador de Kjeldahl utilizado para análise de nitrato e amônio | 21 |
| 6. Efeitos sobre raiz de soja a) na ausência de haste sulcadora e b) quando utilizada haste sulcadora de ação profunda | 27 |
| 7. Balanço das entradas (k1A) e das perdas de carbono (k2C) como determinantes dos estoques de matéria orgânica no solo (MOS). O k1 representa o C adicionado que é incorporado na MOS e o k2, a taxa de decomposição microbiana do C estocado na MOS..... | 28 |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|---------------|
| 1. Introdução | 8 |
| 2. Caracterização do meio físico e socioeconômico da região de Passo Fundo | 8 |
| 2.1 Aspectos socioeconômicos | 8 |
| 2.2 Clima | 9 |
| 2.3 Solo | 9 |
| 3. Caracterização da instituição de realização do trabalho | 9 |
| 4. Referencial teórico | 10 |
| 5. Atividades realizadas | 14 |
| 5.1 Experimentos de campo | 14 |
| 5.1.1 Avaliação da taxa de infiltração de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e adubo biológico | 16 |
| 5.1.2 Avaliação da taxa de infiltração de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e intervenções mecânicas | 17 |
| 5.2 Atividades de laboratório | 18 |
| 5.2.1 Determinação do carbono na biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração | 18 |
| 5.2.2 Análise de nitrato e amônio no solo | 20 |
| 5.3 Participação em dias de campo | 21 |
| 6. Resultados e discussão | 22 |
| 6.1 Avaliação da taxa de infiltração de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e adubo biológico | 22 |
| 6.2 Avaliação da taxa de infiltração de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e intervenções mecânicas | 25 |
| 6.3 Determinação do carbono na biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração | 27 |
| 7. Considerações finais | 29 |
| Referências bibliográficas | 30 |

1. INTRODUÇÃO

A introdução do método de preparo de solo denominado Plantio Direto (PD) ocorreu no Brasil no início da década de setenta, objetivando o controle da erosão nas lavouras cultivadas com a sucessão das culturas trigo e soja (KOCHHANN & DENARDIN, 2000). Tal tecnologia foi importada de regiões de clima temperado, seguindo as premissas de restrição da mobilização do solo à linha de semeadura e manutenção da palhada na superfície. Contudo, a partir do final da década de oitenta, constatou-se que o PD não contemplava preceitos conservacionistas em suficiência para manter o solo com estrutura adequada em regiões de clima tropical e subtropical (SALTON et al., 1998).

Dessa forma, fez-se necessária a adaptação da tecnologia, introduzindo práticas conservacionistas de solo, as quais resultaram no Sistema Plantio Direto (SPD). Esse inclui, além das premissas anteriores, a diversificação de culturas (DENARDIN et al., 2012). Sendo assim, mostra-se eficiente para redução da erosão do solo, bem como ao aumento do rendimento das culturas, promovendo uma maior competitividade dos sistemas agropecuários. Segundo estimativas, em 1998 a área cultivada com o SPD no Brasil foi maior que oito milhões de hectares (SALTON et al., 1998).

Contudo, sistemas de produção de grãos encontram dificuldades para sua diversificação, consistindo, em sua maior parte, em monocultivos. Assim, observa-se que a adoção do PD em detrimento do SPD, tem resultado na compactação, adensamento e degradação dos solos, causando efeitos negativos sobre as raízes, fertilidade e infiltração de água no solo.

Nesse contexto, o estágio foi realizado na Embrapa Trigo, localizada no município de Passo Fundo/RS, no período de oito de janeiro a dois de março do ano de 2018, totalizando 300 horas. O objetivo desse trabalho consiste em analisar os fatores responsáveis pela falha da adoção do sistema plantio direto e avaliar alternativas para mitigação da compactação e adensamento do solo em lavouras anuais.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DA REGIÃO DE PASSO FUNDO/RS

2.1 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O município de Passo Fundo localiza-se no centro-norte do estado do Rio Grande do Sul, sendo o maior do Norte do estado, com uma população absoluta estimada em 198.799 habitantes (IBGE, 2017). A área total ocupada pelo município é de 78.000 ha, sendo 18,1%

ocupados por área urbana e 81,9% pela área rural. Contudo, somente 2,55% da população corresponde à rural, enquanto 97,45% residem na área urbana (BACALTCHUK et al., 2015).

A agropecuária e o comércio concentram a base econômica do município, o qual também possui forte setor na área da saúde e educação. No meio rural, predominam áreas de lavoura, sendo soja e trigo os principais cultivos.

2.2 CLIMA

Conforme classificação de Köppen (1948), Passo Fundo apresenta clima subtropical úmido (Cfa), possuindo, dessa forma, chuvas bem distribuídas durante todo o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. A temperatura média anual é 17,5 °C e não há ocorrência de secas, sendo a precipitação anual total de 1787,8 mm (EMBRAPA, 2018a). Dessa maneira, estresses resultantes de extremos de temperatura e umidade não se mostram frequentes, e as principais culturas de verão apresentam um bom desenvolvimento na região.

2.3 SOLO

O solo predominante no município de Passo Fundo classifica-se como Latossolo Vermelho Distrófico Típico (STRECK et al., 2008). Esses solos caracterizam-se por possuírem ótimas características físicas, sendo profundos e bem drenados. Entretanto, são naturalmente ácidos e apresentam baixa fertilidade, características químicas que podem ser corrigidas a partir da aplicação de calcário e fertilizantes. Dessa forma, resultam em solos de boa aptidão agrícola para lavouras anuais.

Também se encontram na região solos do tipo Nitossolo Vermelho distroférico típico (STRECK et al., 2008), os quais, apesar de possuírem características similares aos latossolos, podem apresentar maior fertilidade natural. Sendo assim, os solos da região de Passo Fundo podem ser utilizados para cultivos de inverno e verão. Não apresentam, quando conservados, limitação por falta de água, pois se encontram em clima úmido, nem por falta de ar, por serem solos bem drenados e porosos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), criada em 1973, é vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), tendo como objetivo o desenvolvimento de conhecimento e tecnologia para a agropecuária brasileira. Quanto à

Unidade Descentralizada Embrapa Trigo, essa foi instalada em 28 de outubro de 1974, em Passo Fundo, visando desenvolver pesquisas destinadas à produção de trigo. A cidade foi escolhida para sediar a unidade por ser um importante centro tritícola do país (EMBRAPA, 2018b).

Atualmente, além de pesquisas centradas na produção de culturas de inverno, como trigo, cevada, triticale, centeio, aveia e canola, a Embrapa Trigo também se responsabiliza por pesquisas em culturas de verão, como a soja e milho. Esse consiste em um dos diferenciais da sede, a qual, desde sua fundação, busca entender o sistema agrícola como um todo, realizando pesquisas em diferentes áreas e contribuindo com a sustentabilidade econômica da agricultura.

Sua atuação tem importância em âmbito nacional, uma vez que, a partir da pesquisa, gera grande quantidade de produtos e serviços para o setor agropecuário, a exemplo do lançamento de novas cultivares e modelos de produção. Dessa forma, estudos realizados pela Embrapa resultam em informações qualificadas, que chegam aos produtores e contribuem para o aumento da competitividade da agricultura brasileira. Assim, os projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação geram benefícios tanto econômicos, quanto de cunho social e ambiental (EMBRAPA, 2018b).

Ademais, a Embrapa atua em todos os continentes, através da cooperação científica entre centros de pesquisa. A atuação no exterior visa transferir e adaptar tecnologias nacionais para a realidade de diferentes países, contribuindo para promover o desenvolvimento do setor agrícola em países emergentes (EMBRAPA, 2018b).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

O preparo do solo destaca-se como uma das operações agrícolas mais importantes no processo de produção das plantas cultivadas (AMARAL et al., 2008). Ao remover a vegetação nativa para introdução de áreas agrícolas, substituem-se sistemas biológicos complexos e estáveis por sistemas simples e instáveis, causando um desequilíbrio no ecossistema e transformando-o, segundo Denardin et al. (2012), em um agroecossistema. Dessa forma, modificam-se as propriedades do solo, sendo a intensidade dessa modificação dependente do clima, bem como do uso, tipo e manejo do solo (TORMENA et al., 2004)

Portanto, torna-se necessária a adoção de práticas que minimizem as modificações nas características do solo, como estrutura, composição e biodiversidade, as quais afetam o sistema produtivo como um todo. Nesse sentido, a agricultura conservacionista baseia-se em

três preceitos fundamentais: redução ou supressão da mobilização do solo; manutenção de resíduos culturais na superfície; e diversificação de espécies, em rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas. Tem por objetivo, além da preservação do ambiente, gerar competitividade para o agronegócio, atender às necessidades socioeconômicas, garantir segurança e qualidade alimentar (DENARDIN et al., 2012).

O Plantio Direto, importado da Inglaterra e Estados Unidos e introduzido em 1969 no Brasil, surgiu da necessidade de redução dos custos da lavoura na sucessão trigo e soja, e redução da erosão, a partir de um método alternativo de preparo de solo. O termo plantio direto, segundo Denardin et al. (2012), refere-se apenas a ausência da mobilização do solo por aração ou escarificação e gradagem, e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo. Conforme vários autores (SILVA et al., 2000; WENDLING et al., 2005; ARATANI et al., 2009) tal manejo resulta na maior agregação do solo devido ao acúmulo de matéria orgânica ao longo dos anos, em virtude do não revolvimento do solo.

Entretanto, observa-se que o plantio direto mostra-se eficiente apenas em condições de clima temperado (Inglaterra e Estados Unidos). Já para condições de solo e clima das regiões subtropical e tropical do Brasil (altas temperaturas, radiação e precipitação), que resultam em uma elevada taxa de decomposição da matéria orgânica e elevado grau de intemperismo dos solos, esses preceitos são insuficientes para garantirem o conservacionismo em agroecossistemas. Isso ocorre em razão de não promoverem uma diversificação de espécies, cobertura permanente de solo e nem quantidade, qualidade e frequência do aporte de resíduos orgânicos requeridos pela atividade biológica do solo (DENARDIN et al., 2012). Para as regiões subtropical e tropical do Brasil, a matéria seca necessária para atender a demanda biológica do solo é de 8.000 a 12.000 kg/ha por ano agrícola (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Somente assim o solo consegue manter sua estrutura e fertilidade.

Nesse sentido, percebeu-se a necessidade da utilização de um conjunto mais amplo de preceitos referentes à agricultura conservacionista nas regiões tropicais e subtropicais, e não apenas a supressão da mobilização do solo e a manutenção de resíduos culturais na superfície. Sendo assim, surgiu em meados dos anos 1980 o Sistema Plantio Direto (SPD), o qual, conforme Denardin et al. (2012), atende pelo menos seis preceitos da agricultura conservacionista, sendo eles:

- Mobilização do solo apenas na linha ou cova de semeadura ou de plantio;
- Manutenção de resíduos culturais na superfície do solo;

- Ampliação da biodiversidade, a partir da diversificação de espécies em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas;
- Redução ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura;
- Manutenção da cobertura permanente do solo; e
- Aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo.

Dessa forma, o SPD consegue reproduzir, mesmo em um sistema agrícola produtivo, fluxos de aporte e mineralização de fitomassa semelhantes aos observados nos ecossistemas (HERNANI & DENARDIN, 2018). Assim, melhora as condições químicas, físicas e biológicas do solo, mostrando-se eficiente na redução da erosão e aumentando o teor de matéria orgânica do solo.

Contudo, as áreas agrícolas brasileiras vêm sendo cultivadas, em sua maioria, apenas sob “plantio direto”, e não sob “sistema plantio direto”. Tal fato fundamenta-se em dados da produção agropecuária (IBGE, 2014) do Rio Grande do Sul, os quais mostram que menos de um quarto das áreas agrícolas cultivadas na safra de verão com soja e milho, é também cultivada na safra de inverno com culturas como trigo, aveia, cevada e centeio.

O plantio direto não consolidado em sistema, conforme estudos de Vieira & Muzilli (1984) e Stone & Silveira (1999), aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade total do mesmo. Isso ocorre devido à rápida decomposição do material orgânico decorrente do clima tropical e a inexistência de cobertura vegetal que estabiliza os agregados. Dessa forma, um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores em diversas regiões é a compactação do solo (RALISCH et al., 2008).

A camada compactada, resultante do manejo agrícola inadequado, normalmente situa-se entre 5 a 20 cm da superfície do solo (DENARDIN et al., 2012) e pode ter origem mecânica, provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e acomodação natural das partículas sólidas (STRECK et al., 2004), reduzindo sua porosidade. Ainda, segundo Kochhann & Denardin (2000) pode ter origem biológica, resultante da produção de fitomassa abaixo da requerida pelo solo, que promove desestabilização dos agregados, e em decorrência, dispersão das argilas. Por fim, pode ter origem química, devido à calagem apenas na superfície de solos cultivados sob plantio direto. A elevação do pH acima de sete apenas na superfície, visto que o calcário não consegue penetrar no solo devido a má estruturação do mesmo em PD, provoca a dispersão da argila, a qual é levada pela água para o interior dos poros do solo, obstruindo-os e gerando adensamento do solo.

Segundo Johnson et al. (1990), a compactação do solo pode apresentar correlação negativa com a produtividade. Isso ocorre, conforme Soane & Ouwerkerk (1994), pelo fato da compactação resultar no aumento da resistência do solo, redução da porosidade, restringir o crescimento radicular e limitar a disponibilidade de nutrientes e água para as plantas. A quantidade de água disponível para as plantas é menor, justamente porque há redução dos macro e microporos, o que dificulta o aproveitamento de água pelas raízes e promove perdas de produtividade por déficit hídrico mesmo em curtos períodos de estiagem (DENARDIN et al., 2012).

Ademais, a compactação aumenta a erosão do solo (SOANE & OUWERKERK, 1994; STONE & SILVEIRA, 2001), uma vez que há redução da seção transversal para o fluxo de água e, conseqüentemente, diminuição da taxa de infiltração de água no solo (SOUZA & ALVES, 2003), levando ao escoamento superficial. Conforme Beutler et al. (2003), preparos de solo conservacionistas mostram-se mais eficazes em preservar propriedades do solo como densidade de solo e porosidade, evitando a formação de crostas superficiais e aumentando a velocidade e volume de água infiltrada no solo (STONE & SILVEIRA, 1999).

Sendo assim, concordando com Alves & Cabeda (1999) e Leonardo (2003), a infiltração de água é uma das avaliações que melhor refletem as condições físicas do solo, uma vez que uma boa estruturação leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo. Além disso, a infiltração depende de fatores relacionados à superfície, preparo e manejo do solo, os quais determinam porosidade do solo. Dessa forma, o SPD resulta em valores mais elevados de taxa de infiltração de água, quando comparado a outros sistemas (ALVES & CABEDA, 1999).

Para determinar a capacidade de infiltração de água no solo pode-se utilizar métodos como infiltrômetro de anel, simuladores de chuva, e, mais recentemente, infiltrômetro de Cornell. Esse consiste em um simulador de chuva portátil, fixado sobre um cilindro e com um sistema de regulagem de entrada de ar, o qual permite simular diferentes intensidades de chuva (ZWIRTES et al., 2013). Segundo Santi (2007), o infiltrômetro de Cornell possui vantagem em relação ao infiltrômetro duplo anel devido à baixa necessidade de mão de obra para operar o equipamento, além do menor tempo de realização do teste e menor consumo de água.

Nota-se que apesar dos benefícios observados pelo sistema plantio direto, sua implantação de maneira errônea resulta na ocorrência da compactação da camada superficial do solo, o que pode limitar a disponibilidade de água para as plantas, acarretando em redução

da produtividade (DIAS JUNIOR & ESTANISLAU, 1999). Dessa maneira, torna-se necessário buscar por alternativas que promovam a descompactação do solo. Nesse contexto, o SPD atua como ferramenta fundamental para a conservação do solo (DENARDIN et al., 2017).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

5.1 EXPERIMENTOS DE CAMPO

Durante o período de estágio, foram realizadas atividades em experimentos pertencentes ao projeto “Aprimoramento, inovação e desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias em Sistema Plantio Direto para o agronegócio brasileiro”, liderado pela Embrapa Trigo, tendo início em 2013 e encerramento em 2018.

A principal atividade consistiu em avaliar a taxa de infiltração de água no solo, como medida para comparar níveis de compactação, em dois experimentos localizados em parcelas distintas de uma mesma área pertencente à Embrapa Trigo. Utilizou-se infiltrômetros de Cornell contruídos na Embrapa Trigo (Figura 1) para avaliação da taxa de infiltração de água. Esse equipamento mostra-se eficiente uma vez que não permite a formação de lâmina de água no solo, pois a água excedente é escoada para fora do sistema. Assim, permite a saída de ar do solo para entrada de água, simulando condições naturais.

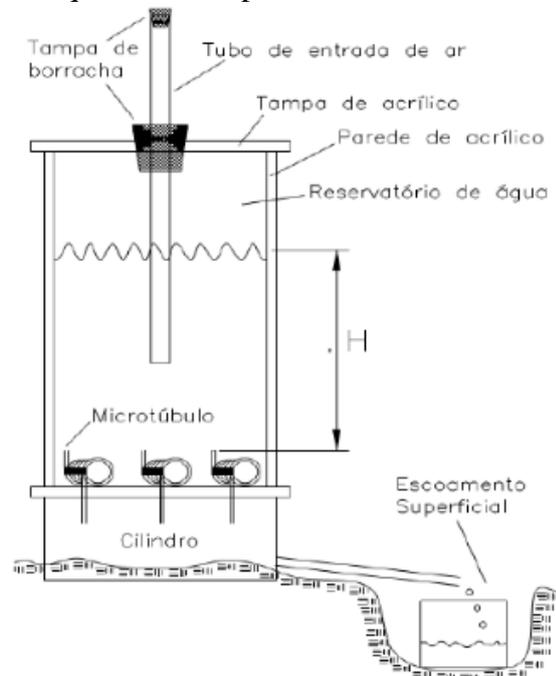
Figura 1. Infiltrômetro de Cornell construído na Embrapa Trigo.



Foto: Arquivo Pessoal

O infiltrômetro possui um reservatório de 35 litros e 121 microtubulos em sua parte inferior, por onde a água cai simulando uma chuva. O reservatório é sobreposto a um cilindro de 24,4 cm de diâmetro, o qual possui uma mangueira fixada que deve permanecer rente ao solo, permitindo o escoamento superficial da água excedente em direção a um becker. Pode-se controlar a intensidade da chuva que será aplicada sobre o solo a partir da regulagem da altura de um tubo que está disposto internamente ao reservatório, sendo que quanto mais para cima, maior a intensidade. Além disso, há uma régua disposta verticalmente ao cilindro, onde se pode ler o nível de água no reservatório. Na Figura 2 são apresentadas as partes que compõem o infiltrômetro de Cornell.

Figura 2. Vista esquemática de perfil do infiltrômetro de Cornell.



Fonte: ZWIRTES, A. L. et al. (2013), adaptado de Ogden, Van Es e Schindelbeck (1997).

Quanto à instalação, o cilindro deve ser disposto na parcela desejada e então é cravado no solo, sem alterar sua estrutura, a fim de que a saída da mangueira fique nivelada com o solo. Dessa maneira, não há formação de lâmina d'água, e quando o solo satura, a água excedente escoar. Coloca-se um telado dentro do cilindro, rente ao solo, para que a palhada solta no solo não obstrua a saída da mangueira. Em frente ao infiltrômetro, abre-se uma trincheira para colocação de um becker, o qual recebe a água que escoar pela mangueira. Enche-se o reservatório com água, coloca-se o tubo de entrada de ar, vedado ao reservatório com tampa de borracha, e então se coloca o reservatório sobre o cilindro, nivelando-o. Lê-se o valor na régua nesse momento, que irá corresponder à quantidade de água no tempo zero.

A partir desse momento, pode-se iniciar a medição da infiltração da água no solo. Retira-se a vedação do tubo de entrada de ar, e então a chuva sobre o solo tem início. A cada dois minutos anota-se a altura em que a água do reservatório encontra-se na régua, sendo utilizada uma intensidade média de chuva de 300 mm/h, conforme recomendado pela metodologia. Quando iniciado o escoamento, concomitantemente a leitura na régua mede-se a saída de água do sistema, coletando também a cada dois minutos a água presente no becker e medindo em proveta sua quantidade. Desse modo, a quantidade de chuva incidente (entrada de água) é determinada a partir das leituras do volume de água no reservatório, e, o escoamento superficial (saída de água), através das leituras na proveta. Conforme metodologia descrita por Es e Schindelbeck (2003), cada teste teve duração de aproximadamente 60 minutos.

5.1.1 AVALIAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES APORTES DE BIOMASSA E ADUBO BIOLÓGICO MICROGEO

As medições da taxa de infiltração foram realizadas com Infiltrômetro de Cornell em experimento instalado na Embrapa Trigo há quatro anos, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, utilizando diferentes níveis de aporte de biomassa, e ação biológica da tecnologia denominada Microgeo.

Conforme a empresa fabricante do produto Microgeo, o mesmo condiciona as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, resultando em benefícios tanto na reestruturação, quanto na redução da compactação e erosão e aumento da infiltração e retenção de água no solo (MICROGEO, 2018). A produção do adubo ocorre na propriedade rural pelo próprio agricultor, a partir da instalação de uma biofábrica de compostagem líquida contínua, na qual 15% do volume do tanque devem ser preenchidos por esterco, 5% com Microgeo e o restante com água limpa não clorada (AGROLINK, 2018). A mistura deve ser agitada duas vezes por semana, e após quinze dias o adubo biológico estará pronto para ser aplicado via pulverização ou fertirrigação. Foi realizada uma aplicação do produto por cultivo com a dose de 150 l ha⁻¹, totalizando 300 l ha⁻¹ ano⁻¹, quantidade recomendada para uso.

As parcelas (3,6 m x 6 m) avaliadas receberam diferentes aportes de biomassa, obtidos pelas combinações das seguintes culturas: 1) rotação de culturas milho/braquiária-aveia, sojanabo, milho/sorgo-centeio, soja-trigo, resultando em um elevado aporte de biomassa (>12 t ha⁻¹ ano⁻¹) e seguindo os preceitos do SPD; 2) sucessão soja-trigo, resultando em médio aporte

($\pm 6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); e 3) monocultivo soja no verão e pousio no inverno, obtendo um baixo aporte de biomassa ($3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Dessa forma, os tratamentos avaliados foram: T₁, baixo aporte de biomassa, sem Microgeo; T₂, médio aporte de biomassa, sem microgeo; T₃, elevado aporte de biomassa, sem Microgeo; T₄, baixo aporte de biomassa, com Microgeo; T₅, médio aporte de biomassa, com Microgeo; e T₆, elevado aporte de biomassa, com Microgeo.

Os tratamentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados e foram realizadas três repetições para cada, totalizando 18 leituras. A taxa de infiltração de água no solo foi calculada pela diferença entre a chuva incidente no solo e o escoamento superficial e os resultados foram analisados estatisticamente a partir do programa SASM – Agri (CANTERI et al., 2001).

5.1.2 AVALIAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES APORTES DE BIOMASSA E INTERVENÇÕES MECÂNICAS

O experimento consistiu em avaliar a taxa de infiltração de água utilizando infiltrômetro de Cornell, em solo submetido durante cinco anos a três aportes de biomassa (elevado, médio e baixo) e duas intervenções mecânicas (haste sulcadora de ação rasa e haste sulcadora de ação profunda acopladas à semeadora).

Utilizou-se rotação de culturas milho/sorgo-aveia, soja-centeio, milho-trigo e soja-centeio, para elevado aporte ($> 12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); soja-aveia e milho-trigo para médio aporte ($6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); e soja-pousio para baixo aporte de biomassa ($3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Já a intervenção mecânica foi realizada através de hastes sulcadoras acopladas à semeadora, conforme mostra a Figura 3, tendo o sulcador raso atuação de 0,1 m de profundidade e o sulcador profundo atuação de 0,15 m de profundidade.

Sendo assim, os tratamentos foram: T₁, elevado aporte de biomassa e sulcador profundo; T₂, médio aporte de biomassa e sulcador profundo; T₃, baixo aporte de biomassa e sulcador profundo; T₄, elevado aporte de biomassa e sulcador raso; T₅, médio aporte de biomassa e sulcador raso; e T₆, baixo aporte de biomassa e sulcador raso. Os tratamentos foram conduzidos em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições cada.

Figura 3. Haste sulcadora acoplada à semeadora de Plantio Direto.



Foto: Arquivo Pessoal

As avaliações de taxa de infiltração de água no solo foram realizadas utilizando aplicação de chuva com intensidade média de 300 mm h^{-1} e duração das avaliações de aproximadamente 60 minutos, sendo realizadas leituras de precipitação e escoamento a cada dois minutos. Calculou-se a taxa de infiltração através da diferença entre a chuva incidente no solo e o escoamento superficial de água. Os resultados foram analisados estatisticamente a partir do programa SASM – Agri (CANTERI et al., 2001) e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade de erro.

5.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

5.2.1 DETERMINAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA MICROBIANA PELO MÉTODO DE FUMIGAÇÃO-EXTRAÇÃO

Segundo Nielsen & Winding (2002), a variação da biomassa microbiana mostra-se eficiente para detectar alterações na dinâmica natural da comunidade de microrganismos do solo decorrentes de diferentes manejos. Dessa forma, determinou-se o teor de carbono da biomassa microbiana de um solo submetido a diferentes sistemas (baixo aporte de matéria seca adicionado por ano no solo, médio aporte e elevado aporte), acrescido ou não de tratamento com adubação biológica, a partir do método da fumigação-extração (VANCE et al.

1987), seguido por quantificação do carbono por colorimetria (BARTLETT & ROSS, 1988). Durante o estágio foi realizado o processo de determinação da biomassa microbiana de apenas algumas amostras desse experimento, não havendo, portanto, resultados a serem apresentados.

O processo inicia com a correção de umidade das amostras para padronização, deixando-as em repouso por seis dias. Para cada amostra são realizadas duas repetições pelo processo de fumigação seguido de extração, enquanto outras duas sofrem apenas extração. A fumigação é realizada em capela, colocando-se dentro de dessecador de vidro as amostras de solo, juntamente com indicadores de vidro azuis e 25 mL de clorofórmio em placa de Petri, o qual irá provocar a morte dos microrganismos. Deixa-se fumigar por 24 h (Figura 4a), ligando bomba de vácuo até o clorofórmio começar a ferver. No dia seguinte, adiciona-se mais 10 mL de clorofórmio e fumiga-se novamente, pois se houver algum vazamento nas primeiras 24 horas, um período maior de fumigação compensa o problema.

No dia seguinte, realiza-se a extração do carbono da biomassa microbiana, que inicia com adição de 50 mL de sulfato de potássio ($K_2SO_4 - 0,5 \text{ mol L}^{-1}$) em cada amostra de solo, o qual se ligará com a matéria orgânica, formando um extrato. Em seguida, as amostras são submetidas à agitação horizontal (110 rpm) por uma hora e posterior filtragem. Após a agitação, a solução permanece em descanso e há formação de solução sobrenadante, da qual se retira 20-30 mL com pipeta para ser filtrada, como pode ser observado na Figura 4b.

Após a filtragem, preparam-se as amostras fumigadas e não fumigadas para determinação do carbono por colorimetria. Prepara-se solução de trabalho em balão volumétrico, contendo 200 mL de H_2O , e adicionando 300 mL de pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7 - 0,1 \text{ M}$), 46 mL de ácido sulfúrico ($H_2SO_4 - 0,5 \text{ M}$), 20 mL de permanganato de potássio ($KMnO_4 - 0,1 \text{ M}$) e 80 mL de sulfato de manganês mono-hidratado ($MnSO_4 \cdot H_2O - 0,1 \text{ M}$), completando o volume para 1000 mL. Também se prepara a solução estoque de carbono (solução padrão), que será utilizada para preparar a curva padrão de C.

Para determinação do carbono, deve-se pipetar 2 mL do extrato filtrado e adicionar 3 mL de água deionizada, 2,5 mL da solução de trabalho e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (Figura 4c). Agita-se e deixa-se em repouso por duas horas, e então, pode-se ler a absorbância da curva padrão. A coloração clara indica uma maior quantidade de carbono na solução. As leituras não foram realizadas durante o período de estágio, sendo feito somente o preparo das amostras. A diferença entre a quantidade de carbono em solo fumigado e a quantidade de carbono em solo não fumigado de uma mesma amostra representa a quantidade

de carbono proveniente da biomassa microbiana extraída com K_2SO_4 após a fumigação (REIS JUNIOR & MENDES, 2007).

Figura 4. Processo de determinação de carbono na biomassa microbiana. a) Fumigação; b) Retirada de solução sobrenadante de solo (após agitação com K_2SO_4) com posterior filtragem e c) Amostras preparadas para realização de leitura colorimétrica.



Foto: Arquivo Pessoal

5.2.2 ANÁLISE DE NITRATO E AMÔNIO NO SOLO

Análises referentes à quantidade de nitrato e de amônio presentes no solo são realizadas como atividade de rotina no setor de solos da Embrapa Trigo. As análises foram realizadas seguindo o método Kjeldahl, iniciando com a extração do nitrato e do amônio, seguida pelo processo de destilação, e por fim, titulação (SILVA et al., 2010).

Para tanto, adiciona-se 50 mL de cloreto de potássio (KCl) 2 mol L^{-1} em snap-caps numerados sequencialmente, pois o KCl auxilia na dispersão do solo e na extração do amônio e do nitrato. Após, em cada snap-cap também se adiciona 10 g de solo coletado recentemente. Em seguida, agita-se a mistura por 30 minutos, em agitador horizontal, seguido por descanso de 30 minutos. Assim, será formada uma solução sobrenadante, da qual se deve retirar em torno de 20 mL de cada amostra, com seringa de vidro, colocando em tubos de digestão.

Na sequência realiza-se a destilação (Figura 5). Para análise de amônio necessita-se adicionar 5 g de óxido de magnésio (MgO) em cada tubo de digestão com a solução de solo. Encaixa-se o tubo no aparelho e então a destilação inicia. Deve-se colocar um erlenmeyer com indicador de ácido bórico, o qual irá receber o nitrogênio liberado pela destilação e atuará como indicador na posterior titulação. Após a destilação para determinação do amônio, o mesmo processo é realizado no tubo de digestão utilizado anteriormente para a determinação de nitrato, porém adiciona-se liga de Devarda ao tubo de digestão, para redução

do NO_3 a NH_4 . Após realiza-se a titulação manual das amostras, utilizando solução de ácido sulfúrico até a viragem ou mudança de cor da solução.

Figura 5. Destilador de Kjeldahl utilizado para análise de nitrato e amônio.



Foto: Arquivo Pessoal

5.3 PARTICIPAÇÃO EM DIAS DE CAMPO

Durante o período de estágio, participou-se de uma tarde de campo promovida pela EMATER, em Mormaço/RS, e de um dia de campo promovido pela cooperativa C.Vale, em Cruz Alta/RS.

Em ambos, no espaço de exposição da Embrapa Trigo, foram discutidos os problemas da má implantação do SPD, não seguindo os preceitos de manter um alto aporte de biomassa no solo e diversificação de culturas. Nota-se que apenas o PD (manutenção de palha na superfície e ausência de revolvimento do solo) não tem se mostrado eficiente em evitar a compactação, e, por isso, atualmente esse é um dos principais problemas enfrentados pela agricultura brasileira.

Antigamente pensava-se que a compactação era proveniente apenas do tráfego de máquinas e animais sobre o solo. Contudo, hoje sabe-se que existem outros fatores, como a dispersão de argila, que contribuem para o adensamento do solo. Quando se realiza calagem em superfície em área onde não se pratica o SPD, o calcário não penetra no solo, sendo mantido apenas nos primeiros centímetros do mesmo. Assim, há um aumento do pH acima de 7,0 nessa fração, deixando as cargas do solo livres e havendo dispersão de argila, que se

deposita nos poros do solo, causando adensamento e aumento da massa do solo. A infiltração de água também é prejudicada, causando erosão em períodos de excesso hídrico, devido a saturação e ao escoamento superficial, e ainda falta de água para as plantas em períodos de seca, devido a não infiltração da água na camada compactada.

Dentre as medidas sugeridas aos agricultores para remover a camada compactada do solo, a partir de pesquisas da Embrapa, está a escarificação do solo, seguida da reintrodução do SPD. Vieira & Klein (2007) observaram elevação da taxa de infiltração de água no solo em área manejada sob “plantio direto”, após a prática de escarificação mecânica. Contudo, tem sido avaliado como efêmero o efeito dessa prática nesse tipo de solo, uma vez que persiste por menos de um ano (NICOLOSO et al., 2008; GIRARDELLO et al., 2011; SILVA et al., 2012), além de contrapor os preceitos do não revolvimento de solo, e de aumentar o tráfego de máquinas e equipamentos na lavoura e elevar o custo de produção.

Dessa forma, para que o efeito da escarificação possa persistir, recomenda-se que após a prática ocorra a semeadura imediata de uma cultura com sistema radicular abundante e profundo, para que a porosidade deixada no solo pela escarificação seja preenchida. Em áreas do sul do país, após a colheita da soja, pode-se realizar escarificação do solo e semeadura imediata de uma cultura de verão, como milho, milheto, braquiária e capim sudão, objetivando apenas a melhoria da qualidade do solo.

Assim, serão formados agregados de solo, e, após a morte das plantas, as raízes irão gerar matéria orgânica e canais para infiltração de água e nutrientes. Além disso, deve-se manter o solo sempre coberto com uma cultura. No inverno, deve-se semear uma gramínea para manter tanto a cobertura quanto a estrutura do solo. Tais relatos corroboram com resultados obtidos por Nicoloso et al. (2008), os quais observaram que o efeito da escarificação em Latossolo foi mais prolongado quando utilizadas plantas de cobertura após a prática, sendo esse fato atribuído à presença de raízes no solo escarificado.

Já em áreas em que também se observam problemas de estratificação química, recomenda-se adicionar a quantidade de calcário e nutrientes necessários ao solo, e, somente após, revolver com arado e grade para mistura em profundidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 AVALIAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES APORTES DE BIOMASSA E ADUBO BIOLÓGICO MICROGEO

Os tratamentos com adição do adubo biológico ao solo não apresentaram efeito significativo na taxa de infiltração de água no solo, em relação a tratamentos com mesmo aporte de biomassa sem o uso do adubo. Contudo, houve diferenças significativas entre os diferentes aportes de biomassa, sendo que os tratamentos com elevado aporte de biomassa foram os que resultaram na maior taxa de infiltração de água no solo. Os tratamentos com médio aporte de biomassa não apresentaram diferença significativa quando comparados aos tratamentos com elevado e baixo aporte de biomassa adicionada por ano no solo. Já o tratamento com elevado aporte de biomassa sem o uso do adubo biológico proporcionou a maior infiltração de água no solo entre os tratamentos, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de taxa constante de infiltração (TCI) de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e presença ou ausência de adubo biológico Microgeo.

| Tratamento | TCI (mm h⁻¹) |
|--|------------------------------------|
| Elevado aporte de biomassa sem microgeo | 169 a |
| Elevado aporte de biomassa com microgeo | 111 ab |
| Médio aporte de biomassa sem microgeo | 90 ab |
| Médio aporte de biomassa com microgeo | 86 ab |
| Baixo aporte de biomassa sem microgeo | 57 b |
| Baixo aporte de biomassa com microgeo | 31 b |
| CV (%) | 33,50 |

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Sendo assim, conclui-se que o uso do adubo biológico não promoveu a descompactação do solo, uma vez que não proporcionou maior infiltração de água no mesmo. Ribeiro & Francisco (2018) observaram o efeito positivo do Adubo Biológico Microgeo na degradação da palhada de cana, deixada sobre o solo em áreas de colheita mecanizada. O aporte de palha deixado pela cultura da cana varia entre 10 e 30 t ha⁻¹ ano⁻¹, o que representa quantidade expressiva de carbono e a possibilidade de ciclagem de nutrientes no sistema (YAMAGUCHI et al., 2017). Como a degradação dessa palhada consiste em um processo lento, o adubo biológico, por atuar no aumento da atividade microbiana, pode acelerar a degradação e proporcionar a reestruturação física do solo, aumentando sua macroporosidade e reduzindo sua densidade. Dessa forma, Pereira et al. (2018) concluíram que em área de cana-

de-açúcar a aplicação de Microgeo proporcionou menor densidade do solo do que em áreas sem sua aplicação.

Contudo, a ineficiência do adubo biológico nos sistemas de culturas apresentados, deve-se, provavelmente, à ausência de biomassa suficiente para que o Microgeo pudesse atuar aumentando a velocidade de sua decomposição e proporcionando os benefícios desejados.

Ainda, segundo estudo realizado por Silva et al. (2014) em um Latossolo Vermelho Distrófico, a aplicação de adubo biológico foi eficiente apenas em aumentar a porosidade no solo e diminuir sua densidade na camada de 0-7 cm, em duas de três áreas avaliadas, sendo que no restante das profundidades de solo avaliadas (entre 7-20 cm) não foram observadas diferenças entre o uso e o não uso da tecnologia. A partir do conhecimento de que a camada compactada dos solos situa-se abaixo dos cinco a sete centímetros, percebe-se que o uso do produto não se mostrou eficiente para sua descompactação.

Já o uso de diferentes aportes de biomassa no solo resultou em distintas taxas de infiltração, sendo que quanto mais material vegetal adicionado como cobertura do solo, maior a taxa de infiltração de água. Tais resultados corroboram aos de Alves et al. (2007), os quais também encontraram maiores valores de infiltração em área com cobertura vegetal. Esses resultados devem-se, provavelmente, à influência tanto da rotação de culturas quanto da cobertura vegetal sobre as propriedades físicas do solo.

O tratamento que provia um elevado aporte de biomassa ao solo segue os preceitos do SPD, pois realiza a diversificação de espécies a partir da rotação de culturas (milho/braquiária, aveia, soja, nabo, milho/sorgo, centeio, soja e trigo), manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, manutenção da cobertura permanente do solo e adiciona um aporte de material orgânico na quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo. Assim, permite que as raízes explorem diferentes sítios do solo e proporcionem um efeito cimentante, que resulta na agregação do solo e restringe a compactação. Após a colheita, essas raízes decompõem-se e contribuem com a formação de canais, que irão auxiliar na infiltração de água no solo. Além disso, a parte aérea das plantas, bem como a cobertura vegetal após a colheita, impedem o impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo.

Já os tratamentos 1 e 4, referentes ao monocultivo da soja no verão e pousio no inverno, os quais representam um baixo aporte de biomassa (3 t ha^{-1}) adicionado ao solo por ano, foram cultivados apenas sob PD, e não como SPD, uma vez que não foi realizada rotação de culturas, utilizou-se apenas uma espécie na área, a cobertura do solo não foi mantida e não

se realizou o processo colher-semear. Apenas não foi realizado o revolvimento do solo e os resíduos foram mantidos na superfície. As menores taxas constantes de infiltração observadas nesses tratamentos provavelmente ocorreram devido ao processo de degradação da estrutura do solo, associado à ausência de cobertura vegetal. Quando ocorre essa degradação, há modificações no arranjo das partículas do solo, provocando diminuição no tamanho dos poros, o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, afetando, com isso, o processo de infiltração (SOUZA & ALVES, 2003), e caracterizando a compactação do solo.

6.2 AVALIAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES APORTES DE BIOMASSA E INTERVENÇÕES MECÂNICAS

Os tratamentos 1 e 4, que consistiram na adição de elevado aporte de biomassa por ano, proporcionaram as maiores taxas de infiltração de água no solo, independente da haste sulcadora utilizada. Já os tratamentos com médio e baixo aporte de biomassa obtiveram bons resultados para taxa de infiltração quando utilizadas hastes sulcadoras de ação profunda (tratamentos 3 e 2), não diferindo estatisticamente dos tratamentos com elevado aporte de biomassa. Quando utilizadas hastes sulcadoras de ação rasa, os tratamentos com médio e baixo aporte de biomassa adicionado por ano ao solo resultaram nos piores resultados para taxa de infiltração de água, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de taxa constante de infiltração (TCI) de água em solo submetido a diferentes aportes de biomassa e intervenções mecânicas.

| Tratamento | TCI (mm h⁻¹) |
|---|------------------------------------|
| Elevado aporte de biomassa e sulcador raso | 183 a |
| Elevado aporte de biomassa e sulcador profundo | 176 a |
| Baixo aporte de biomassa e sulcador profundo | 125 ab |
| Médio aporte de biomassa e sulcador profundo | 115 abc |
| Médio aporte de biomassa e sulcador raso | 64 bc |
| Baixo aporte de biomassa e sulcador raso | 47 c |
| CV (%) | 33,34 |

Médias na coluna seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

A inexistência de diferença estatística entre os solos com elevado aporte de biomassa, independente da haste sulcadora utilizada, pode ser explicada pela boa estruturação do solo proporcionada por esse modelo de produção. Conforme Prando et al. (2010), a adoção de sistemas de rotação com diferentes espécies e o manejo diferenciado do solo podem resultar em melhorias no armazenamento e na disponibilidade de água às plantas. Assim, os tratamentos que incluíram uma rotação de culturas com maior diversidade de espécies, resultando em um elevado aporte de biomassa adicionado ao solo, possuíam espécies com sistemas radiculares capazes de melhorar a infiltração de água no solo, através da maior quantidade e tamanho de poros.

Já a maior eficiência da haste sulcadora de ação profunda no aumento da taxa de infiltração de água no solo em relação à haste sulcadora de ação rasa, deve-se, provavelmente, a sua capacidade de romper toda a camada compactada do solo, a qual se situa entre 5 a 20 cm da superfície do solo (DENARDIN et al., 2012).

Resultados obtidos por Drescher (2015) indicam que o uso de uma haste sulcadora rasa não foi suficiente para promover a descompactação além do que foi observado para semeadora com discos duplos, inferindo que para uma maior descompactação necessita-se regular a haste sulcadora para atuar em profundidades maiores que 10 cm. Reis et al. (2006) também concluíram que uso de hastes sulcadoras, ao serem reguladas para atuar em maiores profundidades, rompem a camada compactada do solo e beneficiam o crescimento radicular. Em trabalho de Nunes et al. (2014), o emprego de semeadora/adubadora equipada com haste sulcadora ajustada para operar a 17 cm de profundidade também mostrou-se o mais eficiente em mitigar os problemas de ordem física e química do solo em “plantio direto”.

Ademais, Drescher (2015) concluiu que para a camada de 7 a 15 cm, a utilização de semeadora com haste sulcadora de ação profunda resultou em maior eficiência para romper a camada compactada. No mesmo experimento, a taxa de infiltração de água no solo foi duas vezes e meia maior em área semeada com haste sulcadora de ação profunda, em relação à haste sulcadora de ação rasa.

No campo, a partir de observação visual, notou-se a presença de raízes mais profundas de soja nos tratamentos que utilizaram haste sulcadora de ação profunda, comprovando sua maior eficiência na descompactação do solo, conforme mostra a Figura 6. Sendo assim, o solo resultou em melhores características físicas, favorecendo o desenvolvimento das raízes.

Figura 6. Efeitos sobre raiz de soja a) na ausência de haste sulcadora e b) quando utilizada haste sulcadora de ação profunda.

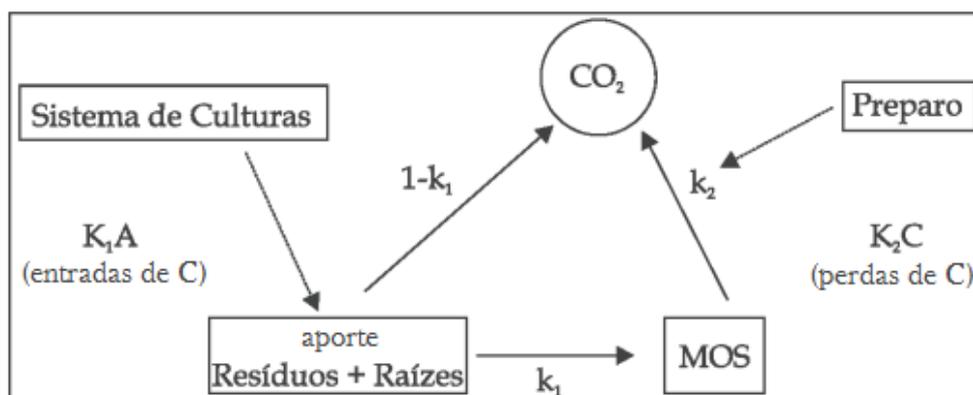


Foto: Arquivo Pessoal

6.3 DETERMINAÇÃO DO CARBONO NA BIOMASSA MICROBIANA PELO MÉTODO DE FUMIGAÇÃO-EXTRAÇÃO

O carbono compõe a maior parte da matéria orgânica do solo. Os estoques dessa matéria orgânica (dC/dt) são determinados pela razão entre as quantidades de carbono adicionadas ao solo, na forma de resíduos vegetais, exsudatos radiculares e raízes ($k_1 A$), e o carbono perdido pelo solo ($k_2 C$) (LOVATO et al., 2004). O uso de culturas com elevada adição de biomassa ao solo, combinadas a sistemas de cultivo com reduzida taxa de decomposição da matéria orgânica, mostram-se eficientes no aumento da quantidade de carbono no solo, uma vez que há um balanço positivo de suas entradas em relação às perdas (BAYER et al., 2015). Sendo assim, a adoção de preceitos do SPD, incluindo o não revolvimento do solo, que reduz a taxa de decomposição da matéria orgânica, e a manutenção de um alto aporte de resíduos no solo no sistema, que representa uma elevada adição de carbono, resultam numa variação positiva dos estoques de carbono no solo, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7. Balanço das entradas (k_1A) e das perdas de carbono (k_2C) como determinantes dos estoques de matéria orgânica no solo (MOS). O k_1 representa o C adicionado que é incorporado na MOS e o k_2 , a taxa de decomposição microbiana do C estocado na MOS.



Fonte: Adaptado de Bayer et al. (2015)

A biomassa microbiana constitui apenas uma pequena parte do carbono no solo. Porém, consegue refletir mudanças na matéria orgânica e é mais eficiente que os próprios teores de carbono orgânico em mostrar as alterações causadas por práticas de cultivo no solo. Dessa forma, é influenciada pelo manejo do solo e, também, pelos resíduos vegetais adicionados ao solo (PEREZ et al., 2004). As diferentes espécies vegetais, por sua vez, determinam a quantidade, a qualidade e a persistência dos resíduos, alterando o crescimento microbiano (VARGAS & SCHOLLES, 2000).

Conforme Mercante et al. (2008), plantas de cobertura, ao protegerem a superfície do solo, promovem acréscimos no conteúdo total de matéria orgânica, favorecendo o desenvolvimento da biomassa microbiana no solo. Segundo o mesmo autor, a presença de resíduos na superfície do solo afeta diretamente a microbiota do solo, influenciando positivamente sua qualidade, quando comparada a uma área sem resíduos. Ademais, trabalhos de Vargas & Scholles (2000) mostram que a maior disponibilidade de carbono orgânico na superfície do solo estimula a biomassa microbiana. Dessa forma, sequências de culturas com alta produção de resíduos possibilitam aumento da biomassa e, conseqüentemente, maior atividade microbiana.

No experimento realizado, é provável que o solo com elevado aporte terá maior atividade microbiana e o com baixo aporte de matéria seca adicionada ao solo terá a menor atividade microbiana. Quanto ao uso do adubo biológico, esse, ao alimentar os microrganismos do conteúdo ruminal (MICROGEO, 2018) e ser aplicado no solo, pode proporcionar uma maior atividade microbiana, porém não há estudos que comprovem essa teoria.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos problemas apresentados referentes à compactação dos solos em regiões tropicais e subtropicais, evidencia-se a necessidade de medidas mitigatórias. Conforme o exposto, o adubo biológico não se mostrou eficiente para o aumento da taxa de infiltração de água no solo, a qual está indiretamente ligada às qualidades físicas do solo. Entretanto, o acoplamento de uma haste sulcadora de ação profunda à semeadora resultou no aumento significativo da taxa de infiltração de água no solo.

Dessa forma, apresenta-se como alternativa para descompactação do solo a identificação da profundidade em que a camada compactada encontra-se, através da abertura de uma trincheira no solo, e o acoplamento à semeadora de uma haste sulcadora de maior comprimento do que essa camada compactada. Assim, durante a semeadura a camada compactada é fragmentada, e, após a germinação, as raízes encontram espaço para se desenvolverem e a água para infiltrar e manter a umidade do solo.

Contudo, a haste sulcadora é eficiente apenas em descompactar o solo em sua área de atuação. Por isso, a escarificação do solo e a reintrodução do SPD podem ser medidas efetivas para retornar a qualidade física e química do solo em toda área, desde que, após a prática, seja semeada imediatamente uma cultura com sistema radicular abundante e profundo, para que a porosidade deixada no solo pela escarificação seja preenchida e mantida.

Por fim, conclui-se que áreas cultivadas seguindo os preceitos do SPD, mantendo uma diversidade de culturas no sistema de produção e um alto aporte de biomassa adicionado ao solo por ano agrícola, possuem uma elevada taxa de infiltração de água, não apresentando problemas de compactação do solo. Desse modo, esse sistema consiste no mais indicado para lavouras de regiões tropicais e subtropicais, pois mantém a qualidade física do solo.

Salienta-se que os resultados apresentados no trabalho poderiam ser complementados a partir da realização de outras avaliações referentes à qualidade física do solo, como medição da densidade do solo, porosidade e resistência do solo à penetração. Esses métodos, juntamente com a medição da taxa de infiltração de água no solo, mostram-se eficientes para o reconhecimento e medida da compactação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROLINK. **Microgeo divulga a adubação biológica na Agrotins**. Disponível em: <https://agrolink.com.br/noticias/microgeo--divulga-a-adubacao-biologica-na-agrotins_392573.html>. Acesso em: 29 de julho de 2018.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um podzólico vermelho-escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 753-761, 1999.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- AMARAL, A. J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2145-2155, 2008.
- ARATANI, R. G. et al. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.
- BACALTCHUK, B.; MELO, I. B. ; JACOBSEN, L. A. . **Diagnóstico Instrumental para o Direcionamento do Espaço Rural de Passo Fundo 2012-2014**. 1. ed. Passo Fundo: UPF Editora, 2015.
- BARTLETT, R. J.; ROSS, S. D. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**. v. 52, p.1191-1192, 1988.
- BAYER, C. et al. Sistemas de manejo conservacionista e a qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2015.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18, 2008.
- BEUTLER, J. F. et al. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 509-517, 2003.
- CANTERI, M. G. et al. SASM - Agri : Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, 2001.
- DENARDIN, J. E. et al. **Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da Agricultura Conservacionista**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012
- DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 45-51, 1999 .

DRESCHER, M. S. **Estratégias para descompactação do solo por escarificação e hastes sulcadoras em sistema plantio direto**. Santa Maria. 2015. 119 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

EMBRAPA. **Clima de Passo Fundo**, 2018a. Disponível em: <http://cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/Clima_de_Passo_Fundo.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2018.

EMBRAPA. **Embrapa Trigo: Apresentação**, 2018b. Disponível em: <<https://embrapa.br/trigo/apresentacao>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

GIRARDELLO, V. C. et al. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, 2011.

HERNANI, L. C.; DENARDIN, J. E. **Árvore do Conhecimento: Sistema Plantio Direto e Plantio Direto**. Agência Embrapa de informação Tecnológica, 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6ju802wyiv80rn0etnbp5wnl.html>. Acesso em: 9 ago. 2018.

IBGE. **Indicadores IBGE - Estatística da Produção Agrícola**, 2014.

IBGE. **Passo Fundo: População Estimada**, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/passo-fundo/panorama>>. Acesso em: 09 ago. 2018.
JOHNSON, J.F. et al. Soybean growth and yield as affected by surface and compaction. **Agronomy Journal**, v.82, p.973-979, 1990.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. p. 479, 1948.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores da qualidade do solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. Piracicaba; 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas. v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MERCANTE, F. M. et al. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 479-485, 2008.

MICROGEO. **Adubação biológica**, 2018. Disponível em: <http://microgeo.com.br/site/o-que-e>. Acesso em: 15 jul. 2018.

NICOLOSO, R. D. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 4, 2008.

NIELSEN, M. N.; WINDING, A. **Microorganisms as indicators of soil health**. National Environmental Research Institute, Denmark, p. 84, 2002.

NUNES, M. R. et al. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, 2014.

PEREIRA, M.W. et al. **Densidade aparente em solo cultivado com cana-de-açúcar com microgeo**. Unicamp, 2018. Disponível em: <<http://microgeo.com.br/site/files/7889a7e8ad77a8680c9d0ab9ec401410.PDF>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.

PRANDO, M. B. et al. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 693-700, 2010.

RALISCH, R. et al. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

REIS, E.F. et al. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 777- 786, 2006.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Embrapa Cerrados- Documentos (INFOTECA-E), 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/572256/1/doc205.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

RIBEIRO, R. C.; FRANCISCO, O. **Avaliação da utilização de aditivos da degradação da palha da cana-de-açúcar em áreas de colheita mecanizada no município de Santa Cruz do Rio Pardo, SP**. Faculdades Integradas de Ourinhos FIO/FEMM. Usina São Luiz. Disponível em: <<http://microgeo.com.br/site/files/f9d20260fd28d2105300883ccd2f99f0.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, A. N.; FIORIN, J. E.; WYZYKOWSKI, T. **Efeito da aplicação de microgeo® na qualidade física do solo em áreas de produção de grãos sob plantio direto**. Unicruz. 2014.

SILVA, D. F. et al. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2000.

SILVA, S. G. C. et al. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 547-555, 2012.

SOANE, B.D., OUWERKERK, C. van. **Soil compaction problems in world agriculture**. In: SOANE, B.D., OUWERKERK, C. van, (eds). Soil compaction in crop production. Netherlands: Elsevier, 1994.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 83-91, 1999.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008.

TORMENA, C. A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19 p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 35-42, 2000.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, 2007.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1984.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

YAMAGUCHI, C. S. et al. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar e balanço de carbono em função da massa inicialmente aportada sobre o solo e da aplicação de vinhaça**. *Bragantia*, Campinas, v. 76, n. 1, p. 135-144, 2017.

ZWIRTES, A. L. et al. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 34, 2013.