

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

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Dionata Filippi  
00261342**

**Efeito do uso de plantas de cobertura de inverno e sua época de dessecação  
sobre a estabilidade de agregados e a produtividade da soja**

**PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 2019**

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

**Efeito do uso de plantas de cobertura de inverno e sua época de  
dessecação sobre a estabilidade de agregados e a produtividade da soja**

**Dionata Filippi**

**00261342**

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. MSc. Valentina Rubio

Orientador Acadêmico do Estágio: Professor Dr. Tales Tiecher

**COMISSÃO DE AVALIAÇÃO**

Prof. Pedro Selbach – Depto. de Solos (Coordenador)

Prof. Alberto Inda Jr. – Depto. de Solos

Prof. Alexandre Kessler – Depto. Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli – Depto. Fitossanidade

Prof. Itamar Cristiano Nava – Depto. de Plantas de Lavoura

Prof. Sérgio Tomasini – Depto. de Horticultura e Silvicultura

Profa. Carine Simione – Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

**PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 2019**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, competência e ânimo para batalhar diariamente na agronomia da vida.

Ao meu pai Danilo, a minha mãe Dilce e minha irmã Débora por estarem ao meu lado, mesmo que muitas vezes distantes fisicamente, sempre com muito incentivo moral e financeiro, ensinando os verdadeiros valores da vida, pois a determinação de vocês é a motivação para que eu alcance os meus objetivos e os nossos sonhos.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Faculdade de Agronomia pela vivência e aprendizado ao longo do curso. Em especial, ao meu orientador e professor Tales Tiecher, pela confiança depositada em mim e pela dedicação em todas as suas orientações tanto na Iniciação Científica quanto na realização desse trabalho. Agradecimento especial ao Grupo IRGEB pelo apoio e companheirismo durante esses cinco anos de convívio.

Ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA) La Estanzuela e a toda sua equipe de técnicos e funcionários pela oportunidade e acolhimento durante o período de estágio. Em especial, a minha orientadora Valentina Rubio, que proporcionou todo o aprendizado junto ao Programa de Solos, pelo apoio na instituição e principalmente pela paciência com o meu portunhol. Também aos amigos Tiago Kasparly pelo companheirismo durante o estágio, ao Emiliano, Lalo, Alvaco, Wilfredo e Oscar que me apoiaram nos trabalhos de campo e de laboratório, e ao Andrés Quinke coordenador do Programa que me acolheu. Gracias a todos por los mates y charlas.

A Tatieli pelo convívio, companheirismo e pelo incentivo nas minhas decisões, sempre apoiando e motivando-me para que as cumprisse da melhor forma. Obrigado por estar ao meu lado!

Ao quarteto Luiz Denardin, Lucas Aquino e João Pedro, o qual tenho prazer de completar, pela amizade verdadeira, pelo mate e pela prosa de todos os dias, e principalmente pelos ensinamentos científicos. Obrigado patetas!

Aos colegas de graduação, em especial ao amigo Fortes, que sempre esteve presente nas empreitadas da vida, também ao Jucimar, Ismael, Douglas, Rubiane, Larissa e Ana, pelos mates, risadas, tarefas de aula, pela amizade e pelos bons momentos vividos.

A nós brasileiros pela contribuição diária para a manutenção da Universidade pública com alta qualidade, qual sou muito grato em fazer parte.

## RESUMO

O estágio obrigatório supervisionado foi desenvolvido no Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA) La Estanzuela, em Colonia, no Uruguai, no período de janeiro a março de 2019. Um dos projetos acompanhados durante o período de estágio teve como objetivo avaliar o efeito do uso e manejo de culturas de cobertura de inverno sobre a qualidade do solo e produtividade da soja. As atividades desenvolvidas nesse experimento de longa duração contrastam diferentes culturas de cobertura de inverno, aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e sem cobertura com a produção de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no verão. Nesse experimento, foram realizadas coletas de amostras de solo, análise visual da estrutura do solo (VESS) e análise de estabilidade de agregados (EA) segundo metodologia Le Bissonnais (1996). A utilização das plantas de coberturas aveia preta e azevém aliada à dessecação tardia promoveram maior aporte de resíduos vegetais no solo. Esses benefícios não foram verificados nos atributos químicos e no rendimento da soja. O uso da EA permitiu detectar diferenças no diâmetro médio de agregados ( $DMA_1$ ) através do pré-tratamento 1. O sistema de manejo sem cobertura apresentou menor  $DMA_1$ , sinalizando o seu potencial de desagregação sob precipitação intensa. Assim, a EA pode ser utilizada como atributo indicador de qualidade do solo por ser sensível aos manejos aplicados no solo.

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.</b> Classificação da qualidade estrutural do solo associada ao escore e aos manejos necessários para cada condição de solo..... | 15 |
|--|----|

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa da República do Uruguai e do Departamento de Colonia. Fonte: Filippi, D. (2019), adaptado de INE (2018a). ..... 2
- Figura 2.** Distribuição das Estações Experimentais do Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA) no Uruguai. Fonte: Filippi, D. (2019). ..... 5
- Figura 3.** Evolução da área de soja (mil ha) no Uruguai no período de 1999 até 2015. Fonte: El Observador. .... 7
- Figura 4.** Croqui do experimento de longa duração contrastando diferentes culturas de cobertura de inverno (aveia preta, azevém e sem cobertura) e soja no verão. As linhas pontilhadas indicam a divisão das parcelas em subparcelas. Fonte: Filippi, D. (2019). ..... 12
- Figura 5.** Coleta da amostra de solo indeformada (A). Amostra de solo indeformada (25 cm x 20 cm x 10 cm) (B). Foto: Filippi, D. (2019). ..... 13
- Figura 6.** Classificação dos agregados seguindo metodologia do VESS descrito em Ball et al. (2007) e adaptado por Guimarães et al. (2011), onde Qe (qualidade estrutural) refere-se ao escore atribuído. .... 14
- Figura 7.** Bloco de solo utilizado para análise VESS (A), posteriormente desagregado manualmente e peneirado (B). Amostra com 10 gramas de agregados utilizada nos pré-tratamentos para avaliação da EA (C). Fonte: Filippi, D. (2019). ..... 15
- Figura 8.** Análise de Estabilidade de Agregados (Le Bissonnais, 1996). (1) amostra de agregados; (2) pré-tratamento 1; (3) pré-tratamento 2; (4) pré-tratamento 3; (5) transferência dos agregados para peneira de 50  $\mu\text{m}$ ; (6) peneirador de Feodoroff; (7) transferência dos agregados para placa de Petri; (8) peneiramento dos agregados e (9) pesagem das frações de agregados. Fotos: Filippi, D. (2019). ..... 17
- Figura 9.** Valores médios dos escores de qualidade estrutural (Qe), de acordo com a metodologia de BALL et al. (2007). As barras indicam o desvio padrão da média. .... 20
- Figura 10.** Produção média ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de matéria seca (MS) da parte aérea das culturas de cobertura dessecadas antecipadamente ou tardiamente em 13 anos de avaliação. A barra indica o desvio padrão da média. .... 21
- Figura 11.** Produtividade média da soja ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em 12 anos de avaliação sob diferentes manejos de culturas de cobertura. A barra indica o desvio padrão da média. .... 23
- Figura 12.** Diâmetro médio dos agregados submetidos a diferentes culturas de cobertura e época de dessecação.  $\text{DMA}_m$  referente a média do DMA dos pré-tratamentos (A),  $\text{DMA}_1$

referente ao pré-tratamento 1 (B), DMA<sub>2</sub> referente ao pré-tratamento 2 (C), e DMA<sub>3</sub> referente ao pré-tratamento 3 (D). A barra indica o desvio padrão da média..... 24

**Figura 13.** Processo de erosão hídrica ocorrendo nas parcelas sem uso de plantas de cobertura. Local: INIA La Estanzuela. Foto: Filippi, D. (2019). ..... 25

**Figura 14.** Aporte médio anual de MS (resíduo das plantas de cobertura + resíduo da soja) ha<sup>-1</sup> (A). Estoque de C no solo na camada de 0-30 cm de profundidade (B). ..... 27

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO URUGUAI E DO DEPARTAMENTO DE COLONIA.....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1 Caracterização do Uruguai .....   | 2         |
| 2.2 Caracterização do departamento de Colonia .....   | 3         |
| <b>3 CARACTERIZAÇÃO DO INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGROPECUÁRIA (INIA) LA ESTANZUELA .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>4 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>  | <b>6</b>  |
| 4.1 Características dos Molisols .....  | 6         |
| 4.2 Intensificação do uso do solo no Uruguai.....   | 6         |
| 4.3 Plantas de cobertura e a influência nas propriedades do solo .....                                | 8         |
| 4.4 Estabilidade de agregados (EA) .....  | 10        |
| <b>5 ATIVIDADES REALIZADAS .....</b>  | <b>12</b> |
| 5.1 Experimento de longa duração com culturas de cobertura .....                                      | 12        |
| 5.1.1 Amostragem de solo .....  | 13        |
| 5.1.2 Avaliação Visual da Estrutura do Solo ( <i>Visual Evaluation of Soil Structure -VESS</i> )..... | 14        |
| 5.1.3 Análise de Estabilidade de Agregados (EA) .....   | 15        |
| 5.1.4 Análise e compilação dos dados .....  | 17        |
| 5.2 Análise de Potencial de mineralização do solo (PMN) e Carbono orgânico particulado (COP) .....    | 18        |
| 5.3 Jornada Técnica de Malezas – INIA (Jornada Técnica de Plantas Daninhas) .....                     | 18        |
| 5.4 Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo (CLACS).....  | 19        |
| <b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>30</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O Uruguai destina cerca de 30% de seu território agropecuário (cerca de 4,9 milhões de hectares) para uso com culturas de sequeiro, abrigando o cultivo de grãos e pastagens para gado de corte e leiteiro. Dentre os cultivos de verão, a soja ocupa a maior área (MGAP, 2018). O avanço expressivo da soja nos últimos anos trouxe mudanças no manejo do solo, em especial, no uso das culturas de inverno que, de forma geral, deixaram de ser cultivadas, tornando o solo mais exposto aos processos de degradação do solo.

Indicadores de qualidade do solo (QS), como a estabilidade de agregados (EA), podem ser utilizados como forma de avaliar o impacto de diferentes manejos na qualidade física do solo. O aprendizado de metodologias que apresentam baixo custo operacional, facilidade na execução e sensibilidade às modificações pelo manejo do solo, emerge como proposta de indicadores para avaliação da QS dos solos brasileiros.

O estágio obrigatório supervisionado foi realizado no Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA) La Estanzuela, em Colonia del Sacramento, Departamento de Colonia, no Uruguai. Dentre as cinco estações experimentais do INIA, distribuídas no território nacional, a estação INIA La Estanzuela localiza-se a 180 km da capital Montevideo e a 25 km do centro da cidade de Colonia del Sacramento. O estágio teve início no dia 07 de janeiro de 2019 e se estendeu até 01 de março do mesmo ano, totalizando 320 horas. As atividades foram realizadas junto aos investigadores do Programa de Solos do INIA La Estanzuela, sob a supervisão técnica da MSc. Engenheira Agrônoma Valentina Rubio, Pesquisadora Adjunta na área de fertilidade e manejo de solos.

Devido a similaridade do modelo agrícola, principalmente ao monocultivo da soja no verão e a carência do cultivo de plantas de cobertura no inverno, problemas de degradação do solo ocorrem no Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil, e no Uruguai, porém sob diferentes tipos de solos. Assim, é fundamental conhecer os diferentes contextos agrícolas uruguaios e as estratégias de manejo conservacionistas, bem como os métodos científicos de avaliação dos atributos indicadores da QS, podendo adequá-los e inseri-los na ciência do solo brasileira.

O estágio teve como objetivo realizar atividades a campo e em laboratório que buscaram avaliar o efeito do uso e manejo de plantas de cobertura de inverno (aveia preta, azevém e sem cobertura) na qualidade do solo em um experimento de longo prazo com cultivo contínuo de soja no verão.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO URUGUAI E DO DEPARTAMENTO DE COLONIA

### 2.1 Caracterização do Uruguai

A República Oriental do Uruguai está situada em uma zona subtropical temperada, sendo o segundo menor país da América do Sul, com área terrestre de 176.215 km<sup>2</sup> (Figura 1). O País situa-se ao norte e nordeste fazendo fronteira com o estado do RS, ao sul com as margens do Rio da Prata, ao oeste com a República Argentina, e ao leste e sudeste, com o Oceano Atlântico. O País tem altitude média de 116,70 metros (m) e máxima de 513,66 m (INE, 2018a). A temperatura média anual é de 17,7 °C, com máxima média de 22,6 °C e mínima média de 12,9 °C. O volume médio anual precipitado varia de 1200 a 1600 milímetros (mm) (CASTAÑO et al., 2011). O Uruguai é dividido em dezoito departamentos (união federativa), sendo Montevidео sua capital. Nela, concentra cerca de 1,38 milhões de habitantes, dos 3,49 milhões de habitantes do País. A população está distribuída 94,7% em área urbana e 5,3% em área rural. A expectativa de vida das pessoas é de 77,5 anos (INE, 2018b).



**Figura 1.** Mapa da República do Uruguai e do Departamento de Colonia. Fonte: Filippi, D. (2019), adaptado de INE (2018a).

Em relação ao Produto Interno Bruto do Uruguai em 2017, o setor agroindustrial contribuiu com 8,3%, sendo 5,2% oriundo da agropecuária e 3,1 % de indústrias associados ao agronegócio. A produção agropecuária em 2017 foi constituída (em dólares) pelos subsetores: pecuária 51,4%, agricultura 40,7% e silvicultura 7,9% (MGAP, 2018). A economia do País se baseia principalmente em exportações de produtos como pastas químicas de madeira; carnes de

animais da espécie bovina; grãos como a soja e arroz, dentre outros produtos. Os principais países de destino dos produtos são a China, o Brasil, a Holanda, os Estados Unidos e a Argentina. As importações do País são lideradas por óleos brutos de petróleo ou de minerais betuminosos, seguida de aparelhos transmissores, veículos automóveis, produtos alimentícios, como de padaria e hortícolas, dentre outros em menor quantidade. De forma geral, o Uruguai vem tendo um balanço comercial com saldo negativo desde 1995, sendo o saldo negativo de US\$ 867 milhões em importações líquidas em 2017 (OEC, 2017).

## **2.2 Caracterização do departamento de Colonia**

O departamento de Colonia está localizado na região sudoeste do País, estando limítrofe com os departamentos de Soriano ao norte e ao leste com San Jose, ao sul e ao oeste, com o Rio de la Plata. A área territorial é de 6.106 km<sup>2</sup> abrigoando cerca de 130 mil habitantes, que correspondem a 3,72% da população total do Uruguai. A densidade demográfica é de 21,3 habitantes km<sup>2</sup> (INE, 2018a). Colonia del Sacramento (Colônia do Sacramento), capital do Departamento, é a mais populosa com 25 mil habitantes. Nela está localizado a estação experimental do INIA La Estanzuela.

O clima da região segundo a classificação de Koppen é Cfa. A temperatura média anual é de 18 °C, com máxima de 22 °C e mínima de 13 °C, sendo no mês mais quente e mais frio, 24 °C em janeiro e 11 °C em julho, respectivamente (CASTAÑO et al., 2011). O menor volume de precipitação do País situa-se sobre o departamento de Colonia, com 1200 a 1300 mm ano<sup>-1</sup>, com máximo de precipitação no outono e primavera e mínimo no inverno e verão. A insolação média anual (horas dia<sup>-1</sup>) em janeiro é de 9,5 e 5,0 em julho. Os dias com geadas acumuladas entre maio-outubro variam de 25 a 35. A porcentagem de água disponível no solo situa-se entre 40% no mês de janeiro e 60% em julho. Castaño et al. (2011) afirmam que para culturas extensivas os valores abaixo de 40-50% são considerados críticos. Quanto a quantidade de água não retida (escoada superficialmente ou percolada) varia de 20 mm em janeiro a 40 mm em julho.

O departamento de Colonia apresenta uma ampla diversidade de solos, predominantemente Molisols, e em menor quantidade, Vertissolos (ALTAMININO et al., 1976). O relevo característico da região é composto de suaves ondulações, onde predominam as principais atividades agropecuárias como agricultura de sequeiro, pecuária bovina leiteira e de corte e criação de ovinos de corte. Dentre os cultivos de sequeiro predominam os cultivos de soja, milho e sorgo no verão e no inverno de trigo e cevada.

### **3 CARACTERIZAÇÃO DO INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO AGROPECUÁRIA (INIA) LA ESTANZUELA**

La Estanzuela, localizada no departamento de Colonia, a 180 km da Capital Montevideo e 25 km da área urbana de Colonia do Sacramento, foi fundada em 1914 com a visão principal de avançar no melhoramento vegetal e na produção de sementes básicas. Os trabalhos tiveram a direção do fitotecnista alemão Dr. Alberto Boerger, o qual tornou-se líder da investigação agropecuária nacional através da realização de diversos trabalhos experimentais. Os primeiros trabalhos se concentraram no melhoramento de trigo, devido a deficiência produtiva nacional e a importância do cereal na alimentação dos uruguaios. Em 1918 foram liberadas as primeiras variedades uruguaias de trigo. Em 1960 as atividades na área vegetal se expandiram e começaram as pesquisas na área animal, mudando a denominação para Centro de Investigações Agrícolas Alberto Boerger. Em 1990, La Estanzuela ficou formalmente integrada ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuária, adotando a denominação atual de INIA La Estanzuela, Estación Experimental “Dr. Alberto Boerger” (INIA, 2019a).

O INIA é considerado uma instituição público-privada, a qual tem como missão gerar e adaptar conhecimentos e tecnologias para contribuir ao desenvolvimento sustentável do setor agropecuário, buscando a inclusão social e atender as demandas dos mercados e dos consumidores. É uma organização reconhecida em nível regional, nacional e internacional pela excelência de seus estudos técnico-científicos a serviço do desenvolvimento sustentável das atividades agrícolas do país. A instituição divide-se em cinco Estações Experimentais, sendo elas: Las Brujas, Salto Grande, Tacuarembó, Treinta y Tres e La Estanzuela (Figura 2). Esta última tem área de influência geográfica principalmente nos departamentos de Colonia, Soriano, Florida, San Jose, Río Negro, Flores, Paysandú, Canelones e Durazno (INIA, 2019b).

O INIA La Estanzuela conta com três Unidades Experimentais: Unidade do Lago (744 ha) que compreendem atividades de bovinocultura de corte, avaliação de cultivares, irrigação de culturas e pastagens, melhoramento vegetal, e produção e multiplicação de sementes; Unidade de leiteria (247 ha) com atividades de produção de leite, nutrição animal, manejo de dejetos animais, recria e produção animal; e a Unidade de Ovinos (151 ha) trabalhando com produção intensiva de carne e lã, reprodução e cruzamentos de animais (INIA, 2019c).



**Figura 2.** Distribuição das Estações Experimentais do Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA) no Uruguai. Fonte: Filippi, D. (2019).

A instituição dispõe de amplas e modernas infraestruturas, que apoiam o desenvolvimento das pesquisas e serviços prestados a comunidade de agricultores e técnicos. Possui seis laboratórios tecnológicos e de análises, sendo eles: Laboratório de Solos, Plantas e Água – local onde foram desenvolvidas parte das atividades do estágio; Qualidade de leite; Nutrição animal – esses três primeiros oferecem serviços a clientes externos; Sementes; Qualidade de grãos; Fitopatologia e Entomologia.

Em parceria com o Laboratório de Solos, Plantas e Água são desenvolvidas as atividades do Programa de Solos do INIA La Estanzuela. O corpo técnico do programa é formado por doutores, mestres, auxiliares de pesquisadores e eventualmente pós-doutorandos e estagiários. O Programa busca trabalhar em parceria com outros Programas do INIA, com ênfase em fertilidade, física e manejo do solo.

## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1 Características dos Molisols**

Os Molisols, como são denominados pelo Soil Taxonomy ou Calcisols pela WRB/FAO, no Sistema Nacional de Classificação de Solos do Uruguai, estão incluídos nos Grandes Grupos dos solos Melânicos, chamados de Brunosoles (DURAN, 2010). Esse tipo de solo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) é classificado como Chernossolo (EMBRAPA SOLOS, 2018). Os Molissolos ocorrem naturalmente em pradarias e estepes de regiões temperadas, se estendendo até o subtropical em climas mais frios e secos. Na América do Sul, eles predominam em parte do centro-leste Argentino e quase em todo o Uruguai, ocupando 75% do território uruguaio (130 mil km<sup>2</sup>), especialmente na metade ocidental do país (LIU et al., 2011).

Esses solos são desenvolvidos a partir de uma grande variedade de sedimentos, principalmente de textura fina ou média e de basalto. São identificados por sua cor escura, apresentam um horizonte espesso, de superfície escura, e com Saturação de Bases (V%) >50%, sendo o cálcio o principal cátion trocável no perfil do solo, e estrutura moderada a forte. Possuem elevada capacidade de troca de cátions (CTC) derivada das cargas dependentes de pH, oriundas da matéria orgânica e de cargas permanentes, derivadas de filossilicatos como vermiculita e a esmectita. Os Molissolos uruguaiois geralmente apresentam pequenas quantidades de caulinita. Apresentam cor marrom muito escuro, cinza muito escuro ou preto, tanto nos horizontes A como B. A espessura dos dois horizontes é de 90 a 120 cm, exceto sobre um substrato de rocha sã, que é mais raso. O conteúdo médio de argila é de 25% no horizonte A e 60% no horizonte B. O teor de matéria orgânica (MO) no horizonte superficial (20 cm) deve ser superior 2% (LIU et al., 2011; BERETTA, 2014).

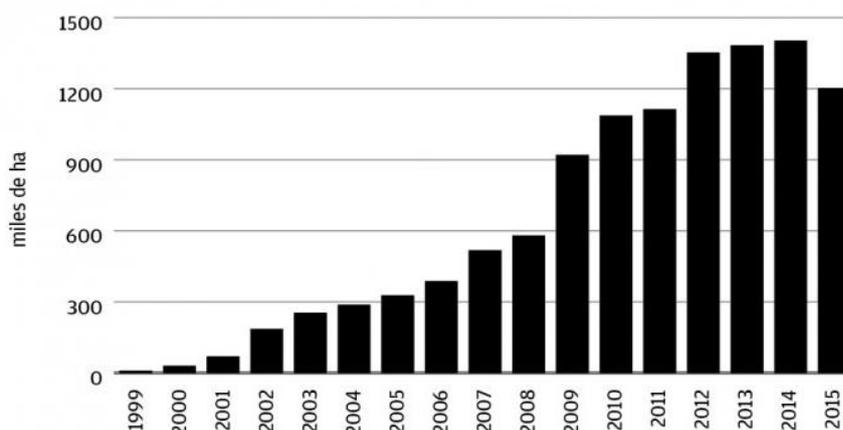
Devido aos atributos químicos e biológicos do solo serem favoráveis para atender às altas produtividades de culturas agrícolas, nos últimos anos área de soja no país aumentou constantemente, modificando o modelo da tradição “pecuária” para “agrícola” em algumas regiões.

### **4.2 Intensificação do uso do solo no Uruguai**

No final dos anos de 1990 o território uruguaio era ocupado com cerca de 470 mil ha com culturas agrícolas, predominantemente, arroz, trigo, cevada, girassol, milho e sorgo (DE LOS CAMPOS & PEREIRA, 2002). Durante esse período se consolidou a integração da

agricultura de sequeiro com a produção pecuária, logrando os benefícios para ambas produções mediante a rotação agricultura-pastagem. Desde 2002, tem se desenvolvido um processo de intensificação e expansão agrícola em virtude do aumento da demanda de alimentos no mercado internacional. A partir do início do século XXI, a soja se expandiu na agricultura uruguaia, sendo influenciada, além da alta demanda mundial, pela adoção da semeadura direta, cultivares transgênicas e medidas de políticas econômicas na Argentina (ARBELETCHÉ P. et al., 2010; ACHKAR et al., 2011).

A cultura da soja aumentou sua competitividade frente a outras produções agrícolas, cultivada em menos de 50 mil ha nos anos de 2000/2001 passou para 1,1 milhão de ha na safra 2017/2018 (Figura 3), transformando-se na cultura de maior superfície semeada no País, ocupando principalmente a região Litoral Oeste (MGAP, 2018).



**Figura 3.** Evolução da área de soja (mil ha) no Uruguai no período de 1999 até 2015. Fonte: El Observador.

Esse incremento ininterrupto da área de cultivo de soja desencadeou um processo chamado pelos uruguaiois de “*veranización de la agricultura*”, já que a cultura de verão que anteriormente tinha papel secundário dentro da área de sequeiro, passou a ter importância principal em poucos anos. A produtividade média da soja no período das safras de 2010/2011 até 2016/2017 foi 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>. No entanto, na safra 2017/2018 ficou em 1,2 Mg ha<sup>-1</sup> devido às frustrações climáticas que ocorreram durante o ciclo.

Na safra 2017/2018 cerca de 60% da área cultivada com soja era advinda de propriedades com mais de 1.000 ha, e apenas 1% de contribuição por propriedades menores que 50 ha (MGAP, 2018). Essa mudança se reflete atualmente na concentração da propriedade da terra, em que o cultivo da soja se caracteriza, geralmente, sobre campos arrendados a curto e médio prazo. Dessa forma, em 2009 foi aprovada a Lei nº 18.564 que compromete tanto o arrendatário

como o proprietário da terra a cumprir as normas técnicas estabelecidas pelo Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), que visam evitar a degradação do ecossistema pelo modelo agropecuário.

Apesar da adoção da semeadura direta ao invés do plantio convencional, outras características do “novo manejo” do cultivo da soja têm implicado em uma maior pressão exercida sobre o solo, a qual tem gerado preocupação nos últimos anos. O cultivo contínuo dessa leguminosa com baixa relação entre carbono (C) e nitrogênio (N) resulta em uma baixa adição de palha, não sendo eficiente e permanente para proteção do solo contra as gotas da chuva, causando erosão hídrica (DECHEN et al., 2015). A diminuição do emprego de plantas forrageiras dentro da rotação de culturas e o avanço de sistemas agrícolas em novas áreas de produção, consideradas marginais por pertencer a ecossistemas mais frágeis, também têm chamado a atenção dos uruguaios para a inserção da soja (GARCÍA PRECHAC et al., 2010; ACHKAR et al., 2011).

A relação entre a área agrícola semeada na safra de inverno e de verão, de 2,2 no ano de 2000/2001 caiu drasticamente para 0,4 na safra 2017/2018 (MGAP, 2018), o que mostra a baixa adoção de cultivos forrageiros ou de culturas de cobertura nas áreas com cultivo de verão, favorecendo a degradação do solo. Atualmente a erosão é um dos principais problemas ambientais do Uruguai. Ela provoca a degradação dos solos e a consequente perda de produtividade e contaminação dos cursos d'água. Simulações realizadas com o modelo USLE/RUSLE em alguns solos do País, indicaram que apesar da adoção da semeadura direta em sistemas de produção de soja contínua, as taxas anuais de erosão foram maiores que o tolerável,  $7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (PUENTES & SZOGI, 1983). Atualmente, cerca de 10% da área do território é afetado moderadamente pela erosão e 2% de forma severa (LIU et al., 2011).

### **4.3 Plantas de cobertura e a influência nas propriedades do solo**

O sucesso e a sustentabilidade dos agroecossistemas de produção agrícola, escala familiar ou empresarial, dependem, entre outros fatores, da presença de resíduos culturais na superfície do solo, em especial daqueles oriundos das plantas de cobertura de solo (REDIN et al., 2016). Os resíduos culturais deixados por essas plantas no solo, somados aos resíduos das culturas comerciais em sucessão ou rotação, promovem a recuperação, manutenção e melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

As espécies de outono/inverno são utilizadas majoritariamente com o objetivo de promover a cobertura do solo no período hibernal, posteriormente, sob seus resíduos culturais,

realiza-se a implantação das culturas comerciais de verão. A aveia-preta e o azevém, são utilizados em vários países devido sua boa produção de biomassa, podendo ser empregados solteiros ou consorciados com outra espécie vegetal. A produção média de matéria seca (MS) da parte aérea para a aveia preta e azevém é próxima a  $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e na camada de 0-20 cm de profundidade do solo, é de  $1,80 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $1,14 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS oriunda das raízes, respectivamente (REDIN et al., 2016).

A camada de palha na superfície do solo atua como uma barreira física às perdas de água por evaporação devido à redução das temperaturas máximas do solo e diminui as perdas de água e solo pela erosão hídrica (MORAES et al., 2016). Neste caso, a palha dissipa a energia cinética da gota da chuva que incide sobre ela, evitando que a gota desagregue o solo e, posteriormente, ocorra a formação de crostas superficiais, promovendo assim uma menor infiltração de água (COGO et al., 1984).

As raízes das plantas de cobertura ao crescerem no perfil do solo promovem o aumento do teor de matéria orgânica (MO), atuando na formação de agregados estáveis, visto que a agregação do solo é condicionada por substâncias agregantes ou cimentantes, como os polissacarídeos (MIELNICZUK, 1999). A grande densidade de raízes finas das gramíneas explorando o perfil do solo favorecem a aproximação das partículas de solo à medida que as raízes exercem pressão sobre essas partículas minerais no seu avanço pelo espaço poroso. Rasse et al. (2005) afirmam que as raízes podem crescer no interior dos agregados, promovendo a proteção e estabilização do C no solo. Essa característica das plantas contribui para o aumento do C orgânico do solo devido a maior facilidade de penetrar e crescer no interior dos agregados do solo, dificultando a decomposição. As gramíneas em relação às leguminosas apresentam maior taxa de crescimento inicial e maior relação C:N. Essa maior relação leva a uma decomposição mais lenta do resíduo das gramíneas por microrganismos, favorecendo o incremento de C na superfície do solo pelo constante aporte de resíduos culturais, e em profundidade, pela morte das raízes (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A utilização de plantas de cobertura é fundamental, pois elas atuam na proteção contra os efeitos da erosão hídrica, como agente reestruturador de propriedades físicas e químicas do solo, favorecendo a estabilidade e equilíbrio nos ciclos das culturas em sucessão (SOUZA et al., 2008). Contudo, a época de manejo/ou dessecação dessas plantas tem influência no bom desenvolvimento da cultura de verão. Se a semeadura for realizada logo após a dessecação, pode dificultar a operação das máquinas, aumentando os índices de patinagem (GABRIEL FILHO et al., 2004), pode haver liberação de substâncias orgânicas pela decomposição da

palhada, exercendo efeito alelopático sobre plantas daninhas e sobre a própria cultura (TREZZI & VIDAL, 2004). No entanto, se o intervalo entre a dessecação e a semeadura for maior, pode provocar elevada infestação de plantas daninhas (FLECK et al., 2004), diminuindo a produtividade da cultura. Aliado a isso, ao antecipar a dessecação da cobertura vegetal, menor será a quantidade de palha remanescente sobre a superfície do solo até o momento de fechamento das linhas da cultura sucessora, aumentando as chances de erosão do solo devido à maior exposição do solo. Logo, adequar o período entre a dessecação da cobertura vegetal com a época de implantação da cultura de verão, é fundamental para obtenção de boa produtividade das culturas e conservação do ambiente produtivo.

#### **4.4 Estabilidade de agregados (EA)**

A estabilidade da estrutura do solo é uma estimativa da capacidade do solo em manter a arquitetura da fração sólida e do espaço poroso quando é submetido a ação de forças originadas pela ação da água e de forças mecânicas externas (KAY, 1990). Hénin et al. (1958) indicam que a EA está condicionada especialmente pela ação da água como fator de desagregação e pela coesão no estado úmido como fator de resistência. Além disso, a agregação do solo é um dos principais fatores que controlam o movimento de água na superfície do solo, sua tendência ao encrostamento e à erosão (STEFANOSKI et al., 2013).

A EA é influenciada por diversos fatores, entre eles o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), sendo essa, reportada como principal promotor de agregação nos Chernossolos (NOVELLI et al., 2013). No entanto, os níveis de MOS podem ser modificados através da combinação de diversas práticas agrícolas, particularmente aquelas que definem o aporte de carbono ao solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999), como o uso ou não de culturas de cobertura no período hibernar. Assim, a EA do solo por ser uma característica edáfica dinâmica, sensível às tendências de recuperação ou de degradação dos solos, podendo ser considerada como um indicador útil para avaliar a qualidade física do solo (QFS) (DORAN & PARKIN, 1994; GABIOUD et al., 2011).

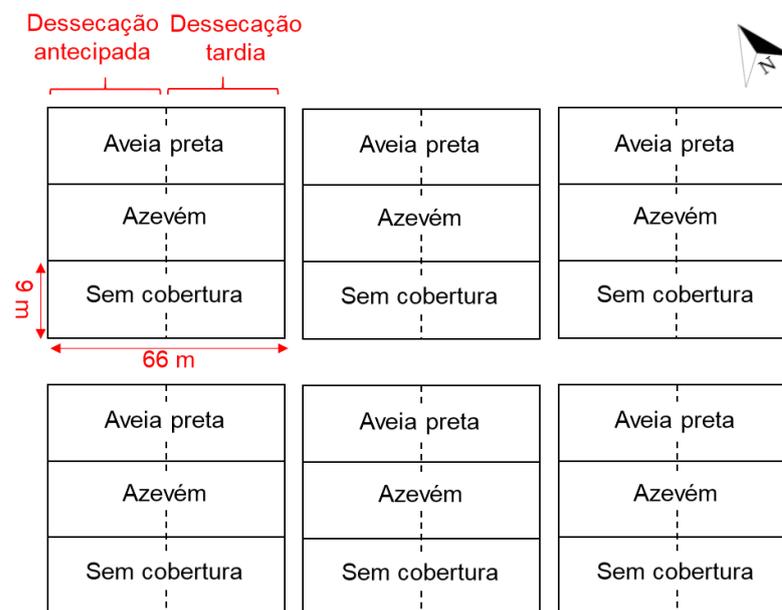
Existem diferentes mecanismos de desagregação da estrutura do solo na natureza: desagregação por compressão do ar ocluído que causa rompimento devido ao efeito da ruptura, desagregação mecânica devido ao impacto de gotas de chuva, microfissuras de expansão diferencial e dispersão de processos físico-químicos. Em geral, a medição da estabilidade dos agregados em laboratório busca reproduzir alguns desses mecanismos (LE BISSONNAIS, 1996). O método Le Bissonnais (1996) busca descrever o comportamento físico do solo quando

é exposto a chuva. Assim, propõem três pré-tratamentos de avaliação de desagregação que ocorrem no solo: explosão dos agregados, atingido mediante o umedecimento rápido do solo seco; desagregação mecânica dos agregados, oriunda da agitação mecânica de agregados pré-umedecidos em álcool; e microfissuramento dos agregados por inchamento diferencial, atingido mediante um umedecimento lento do solo por capilaridade (RUBIO, 2018). Assim, essa metodologia possibilita analisar os diferentes mecanismos de forma individual e/ou conjunta para obter um índice de estabilidade estrutural.

## 5 ATIVIDADES REALIZADAS

### 5.1 Experimento de longa duração com culturas de cobertura

As principais atividades do estágio curricular obtiveram carácter científico, sendo desenvolvidas em um experimento de longa duração, localizado na área experimental do INIA La Estanzuela. O experimento foi implantado no período hibernar de 2005, pelo pesquisador Jorge Sawchik, e conduzido atualmente pelo Grupo de Irrigação da Instituição. Os tratamentos experimentais combinam diferentes culturas de cobertura de inverno: (i) aveia-preta, (ii) azevém e (iii) pousio – sem nenhuma espécie vegetal; com duas épocas de dessecação das coberturas: (i) antecipada – 60 dias antecedendo a semeadura da soja (ASS) e (ii) tardia – 30 dias ASS. O delineamento experimental é um fatorial 3x2 com parcelas subdivididas, e seis repetições. Cada repetição consiste em três parcelas (9 m de largura x 66 m de comprimento), onde duas recebem as culturas de cobertura e uma permanece em pousio. As parcelas são divididas em duas subparcelas (9 m x 33 m) que recebem a dessecação antecipada ou tardia à semeadura da soja, totalizando 36 unidades experimentais (FIGURA 4).



**Figura 4.** Croqui do experimento de longa duração contrastando diferentes culturas de cobertura de inverno (aveia preta, azevém e sem cobertura) e soja no verão. As linhas pontilhadas indicam a divisão das parcelas em subparcelas. Fonte: Filippi, D. (2019).

O solo do campo experimental é classificado como Brunosol Eutrício típico (Argiudol Típico) correspondentes à unidade de levantamento de solos Ecilda Paullier – Las Brujas

(ALTAMIRANO, 1976), com textura franco-argilo-siltosa. A declividade do terreno varia de 1-2%.

São realizadas anualmente as avaliações de produtividade da soja e da produção de matéria seca da cobertura vegetal. No entanto essas avaliações não foram desenvolvidas durante o período de estágio, visto que a soja se encontrava no período vegetativo e de florescimento. As atividades realizadas nesse experimento durante o período de estágio serão relatadas abaixo.

### 5.1.1 Amostragem de solo

Realizou-se a amostragem do solo de forma aleatória em cada subparcela do experimento. Com o auxílio de uma pá de corte, foram abertas mini trincheiras com 0,30 m de largura x 0,30 m de comprimento x 0,30 m de profundidade, para a extração de amostras indeformadas (blocos) com 0,20 m de largura x 0,25 m de profundidade x 0,10 m de espessura da camada superficial do solo (Figura 5), conforme a metodologia de Ball et al. (2007). Coletaram-se duas subamostras nas entrelinhas da soja, que posteriormente compuseram uma amostra composta por subparcelas. Cada subamostra foi acondicionada em bandeja e envolta em plástico filme, buscando reduzir a perda de água por evaporação e evitar o rompimento da estrutura do solo durante o transporte até o laboratório. Foram coletadas 72 subamostras de solo que permaneceram armazenadas em câmara climatizada até o processamento.



**Figura 5.** Coleta da amostra de solo indeformada (A). Amostra de solo indeformada (25 cm x 20 cm x 10 cm) (B). Foto: Filippi, D. (2019).

### 5.1.2 Avaliação Visual da Estrutura do Solo (*Visual Evaluation of Soil Structure - VESS*)

A partir das amostras coletadas, em laboratório, realizou-se a análise VESS segundo a metodologia de Ball et al. (2007) e adaptado por Guimarães et al. (2011). Primeiramente, sobre uma bandeja, foi retirada toda a parte compactada proveniente do contato da pá de corte com o bloco de solo. Quebrou-se o bloco de solo na sua posição intermediária e posteriormente os agregados em suas linhas de fraqueza. Comparou-se esses agregados com as descrições e ilustrações disponíveis em Guimarães et al. (2011) (Figura 6).

| Qualidade Estrutural   | Tamanho e aparência dos agregados   | Porosidade visível e raízes   | Aparência depois do manuseio: vários solos  | Aparência depois do manuseio: mesmo solo diferentes manejos                         | Característica distintiva   | Aparência e descrição de agregados naturais ou fragmento reduzido de ~ 1,5 cm de diâmetro  |
|--|---|---|---|---|---|--|
| <b>Qe1 Friável</b><br>Agregados quebram facilmente com os dedos                  | Maioria < 8 mm após a quebra  | Alta porosidade<br>Raízes por todo solo   |    |    | <br>Agregados pequenos               | <br>A ação de quebrar o bloco é suficiente para revelá-los. Agregados grandes são compostos por agregados menores, presos pelas raízes.                                       |
| <b>Qe2 Intacto</b><br>Agregados quebram facilmente com uma mão                   | Uma mistura de agregados porosos e redondos entre 2 mm – 7 cm<br>Sem presença de torrões  | Maioria dos agregados são porosos<br>Raízes por todo solo   |   |   | <br>Agregados altamente porosos     | <br>Agregados quando obtidos são redondos, muito frágeis, despedaçam muito facilmente e são altamente porosos.   |
| <b>Qe3 Firme</b><br>Maioria dos agregados quebram com uma mão                    | Uma mistura de agregados porosos entre 2mm -10 cm; menos de 30% são <1 cm. Alguns torrões angulares não porosos podem estar presentes | Macroporos e fissuras presentes<br>Porosidade e raízes; ambas dentro dos agregados  |  |  | <br>Agregados com baixa porosidade | <br>Fragmentos de agregados são razoavelmente fáceis de serem obtidos. Apresentam poucos poros e são arredondados. Raízes geralmente crescem através dos agregados.         |
| <b>Qe4 Compacto</b><br>Quebrar agregados com uma mão requer esforço considerável | Maioria > 10 cm e são sub-angulares não porosos; possibilidade de horizontalização; menos que 30% são <7 cm                           | Poucos macroporos e fissuras<br>Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados                                       |  |  | <br>Macroporos bem distintos       | <br>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, em forma de cubo muito angulosos e pontudos e apresentam fissuras internamente.           |
| <b>Qe5 Muito compacto</b><br>Difícil quebra                                      | Maioria são maiores que > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angular e não poroso  | Porosidade muito baixa. Macroporos podem estar presentes. Pode conter zonas anaeróbicas. Poucas raízes e restritas a fissuras |  |  | <br>Cor azul-acinzentada           | <br>Fragmentos de agregados são fáceis de serem obtidos quando o solo está úmido, no entanto, considerável força é necessária. Geralmente não apresentam poros ou fissuras. |

**Figura 6.** Classificação dos agregados seguindo metodologia do VESS descrito em Ball et al. (2007) e adaptado por Guimarães et al. (2011), onde Qe (qualidade estrutural) refere-se ao escore atribuído.

Definiu-se a aparência dos agregados de 1 cm de diâmetro, a porosidade visível e a presença de raízes. Para cada parâmetro avaliado foi atribuindo um escore, que variou de 1 a 5, representando a qualidade estrutural: 1 = friável; 2 = intacto; 3 = firme; 4 = compacto e 5 = muito compacto. O escore 1 (friável) representa os agregados quebrados facilmente com os dedos; escore 2, agregados quebrados facilmente com uma mão; escore 3, ocorre o rompimento

da maioria dos agregados com uma mão; escore 4, representa a exigência de esforço considerável para romper os agregados com a mão, e escore 5 refere-se aos agregados muito difíceis de serem rompidos com a mão (BALL et al., 2007; PENNING et al., 2015).

Após a obtenção do escore de cada bloco, os resultados foram comparados com a Tabela 1, buscando identificar variações na qualidade dos solos submetidos aos diferentes manejos.

**Tabela 1. Classificação da qualidade estrutural do solo associada ao escore e aos manejos necessários para cada condição de solo.**

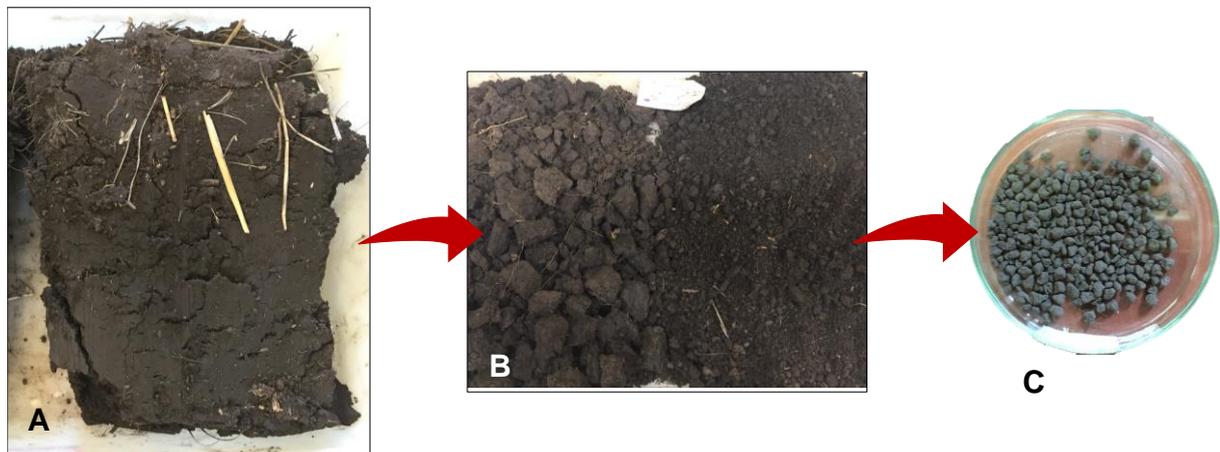
| Escore | Qualidade estrutural do solo | Manejos necessários      |
|--------|------------------------------|--------------------------|
| 1 a 2  | Bom                          | Sem mudanças necessárias |
| 2 a 3  | Moderado                     | Melhorias em longo prazo |
| 3 a 5  | Podre                        | Melhorias em curto prazo |

Fonte: PENNING et al. (2015).

Os solos que resultam em escores de 2 a 3 indicam condições momentânea aceitáveis de qualidade estrutural, não necessitando de interferências a curto prazo.

### 5.1.3 Análise de Estabilidade de Agregados (EA)

A partir das duas subamostras de solo coletadas em cada subparcela do experimento e da avaliação VESS, realizou-se a análise de EA (Figura 7).



**Figura 7.** Bloco de solo utilizado para análise VESS (A), posteriormente desagregado manualmente e peneirado (B). Amostra com 10 gramas de agregados utilizada nos pré-tratamentos para avaliação da EA (C). Fonte: Filippi, D. (2019).

Ambas subamostras foram homogeneizadas em uma bandeja, formando uma amostra. Essa, foi dividida em quatro partes, retirando uma delas para realização da análise de EA. O solo estava com a umidade próximo a capacidade de campo. Os agregados foram

desestruturados manualmente, cuidando para não os deformar sem rompê-los, retirado o material vegetal (raízes) e posteriormente, peneirados em malhas de 5 e de 3 mm. Os agregados retidos na malha de 3 mm foram levados à estufa de ar forçado a 40 °C durante 24 horas, buscando homogeneizar a umidade dos agregados. Foram pesadas 10 gramas (g) de agregados para realização dos três pré-tratamentos para avaliação da EA segundo a metodologia proposta por Le Bissonnais (1996).

A partir de cada pré-tratamento obtém-se o diâmetro médio de agregados (DMA). Os pré-tratamentos são: pré-tratamento 1: os agregados foram umedecidos em 50 mL de água destilada durante 10 minutos (DMA<sub>1</sub>); pré-tratamento 2: os agregados foram umedecidos em 50 mL de álcool durante 30 minutos, após foram transferidos para um béquer contendo 50 mL de água destilada e realizado 10 giros, após deixou-se repousar por 30 minutos (DMA<sub>2</sub>); e pré-tratamento 3: os agregados foram colocados sobre um papel filtro sobre uma superfície de tensão de 3 cm. Os agregados umedeceram lentamente por capilaridade durante 60 minutos (DMA<sub>3</sub>).

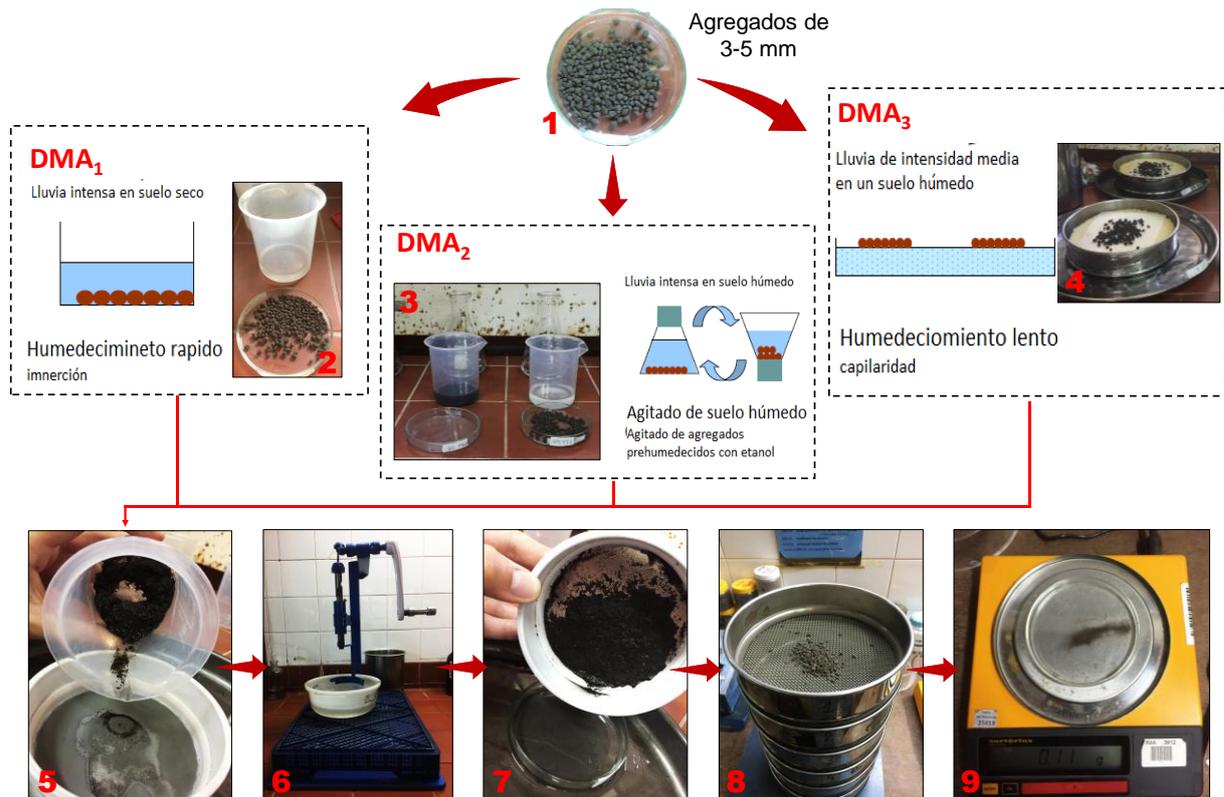
Após finalizado cada um dos pré-tratamentos, as amostras foram transferidas para uma peneira com malha de 50 µm imersa em álcool, onde foram peneirados em um peneirador de Feodoroff realizando cinco movimentos helicoidais para obter a primeira separação granulométrica. Posteriormente, a amostra foi transferida para uma placa de Petri e levada à estufa a 40 °C por 48 horas. A amostra seca foi peneirada em uma coluna de peneiras de 2000, 1000, 500, 200, 100 e 50 µm. O material retido nas peneiras foi pesado para estimar o diâmetro médio ponderado (DMP), de acordo com a equação 1.

$$DMA = \Sigma [DM \text{ médio entre 2 peneiras} \times (\text{partículas retidas sobre a peneira})] / 100. \quad [1]$$

Onde:

DMA= diâmetro médio de agregados; DM = diâmetro médio entre duas peneiras (mm) e partículas retidas sobre a peneira refere-se a porcentagem do peso da amostra retida na peneira.

O cálculo do DMA<sub>médio</sub> para cada amostra foi obtido através da média aritmética entre o DMA<sub>1</sub>, DMA<sub>2</sub> e DMA<sub>3</sub>.



**Figura 8.** Análise de Estabilidade de Agregados (Le Bissonnais, 1996). (1) amostra de agregados; (2) pré-tratamento 1; (3) pré-tratamento 2; (4) pré-tratamento 3; (5) transferência dos agregados para peneira de 50 µm; (6) peneirador de Feodoroff; (7) transferência dos agregados para placa de Petri; (8) peneiramento dos agregados e (9) pesagem das frações de agregados. Fotos: Filippi, D. (2019).

Segundo Le Bissonnais (1996), para os pré-tratamentos e para a média, solos com um  $DMA < 0,4$  são considerados muito instáveis; entre 0,4-0,8 instáveis; entre 0,8-1,3 mediamente estáveis; entre 1,3-2 estáveis; e maiores que 2 mm muito estáveis.

#### 5.1.4 Análise e compilação dos dados

Além dos resultados obtidos com a análise VESS e de EA, foi compilado a série histórica de 13 anos de dados de produtividade da soja ( $Mg\ ha^{-1}$ ) e da quantidade de matéria seca (MS) das coberturas vegetais do experimento. Previamente ao período do estágio, foi realizado análise de carbono orgânico total do solo (COT), potencial de mineralização do nitrogênio (PMN), pH em água do solo e densidade aparente do solo ( $Dap$ ). Esses dados também foram compilados e analisados, porém não serão apresentados.

## **5.2 Análise de Potencial de mineralização do solo (PMN) e Carbono orgânico particulado (COP)**

Realizou-se o acompanhamento junto aos laboratoristas do Laboratório de Solos, Plantas e Água para realização das análises de PMN e COP. Para a análise de PMN utilizou-se a metodologia proposta por Bundy & Meisinger (1994). As amostras de solo foram coletadas em lavouras da região e encaminhadas até o laboratório para a realização da análise química básica de fertilidade do solo. Essas estavam resfriadas a 4-5 °C, buscando reduzir a atividade microbológica. Após desagregado manualmente, incubou-se 6 g de solo úmido em um tubo de vidro, completando com 12,5 mL de água destilada. Agitou-se as amostras e as deixou repousar até o dia seguinte. As amostras foram postas em estufa a 38 °C durante 7 dias. Após, esse conteúdo é transferido para outro frasco e adicionado 12,5 mL de KCl 4 mol L<sup>-1</sup>. Filtra-se a amostra e 0,5 mL da alíquota é adicionada a 0,5 mL de KCL 2 mol L<sup>-1</sup>. Adiciona-se soluções padrões à essa alíquota, incubando-a por 20 min. em estufa a 37-38 °C. Posteriormente é realizado a leitura por colorimetria no espectrofotômetro, determinando o N que está na forma de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), a diferença entre o teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> inicial e final obtém-se o PMN do solo.

Para a análise do COP utilizou-se a metodologia de rotina do laboratório, adaptada de Gambardella & Elliot (1992) que separa o solo em duas frações 212 e 53 µm. Pesa-se 6,6 g de amostra seca e não moída, em frasco de 100 mL adiciona-se 20 mL de solução Calgón (Hexametáfosfato de Sódio ppa a 5%) e agita-se por 16 horas. Após, essa amostra é peneirada em malhas de 212 e 53 µm e transferida para outros frascos, quais são levados para estufa a 80 °C a fim de evaporar a água. Ao tirar da estufa, as amostras são transferidas para as grades do equipamento LECO. Pesa-se a amostra e após é realizado a análise no equipamento. Com essa análise é possível obter os teores de carbono e nitrogênio particulado.

## **5.3 Jornada Técnica de Malezas – INIA (Jornada Técnica de Plantas Daninhas)**

O grupo de pesquisa em plantas daninhas do INIA – La Estanzuela realizou a Jornada de Campo sobre Malezas, mostrando o ensaio experimental “*Manejo de la densidad de siembra de avena para maximizar el control de malezas y la eficiencia en el uso de herbicidas*” em duas propriedades rurais onde foi instalado. O objetivo do experimento foi avaliar diferentes densidades e tipo de semeadura (em linha ou a lanço) no controle de azevém e buva (*Conyza* sp.). Além de avaliar a influência do manejo da cobertura com rolo faca na emergência da soja. O público alvo do evento foram produtores agrícolas de cultivos de sequeiros da região, estudantes e colaboradores do INIA. Resultados preliminares indicaram que a densidade de 50

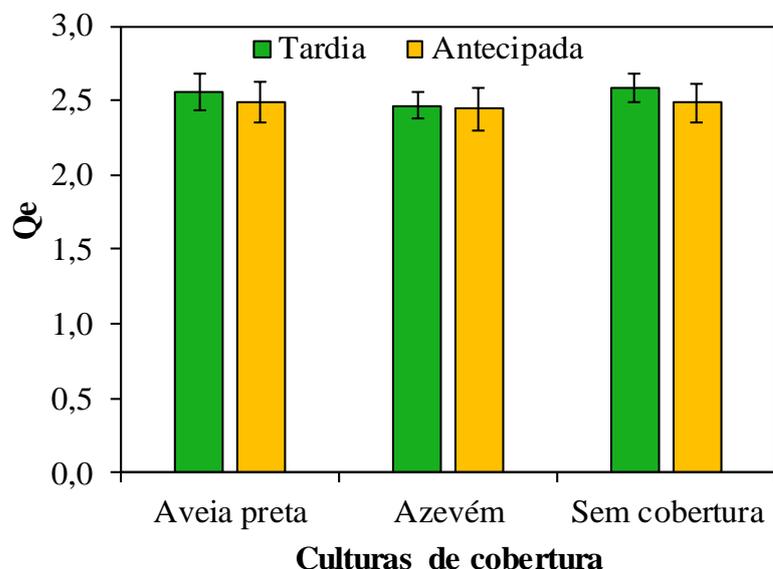
(recomendado) e de 100 kg ha<sup>-1</sup> de aveia produziram a maior quantidade de biomassa, refletindo na menor população de buva. Além disso, o manejo da cobertura com rolo faca não prejudicou a emergência da soja, mostrando ser uma alternativa eficiente para diminuição do uso de herbicidas.

#### **5.4 Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo (CLACS)**

A partir dos dados gerados com a análise de EA e dos dados obtidos pelas avaliações realizadas pelo Grupo de Irrigação no experimento, realizou-se a submissão de um resumo para o XXII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo (CLACS), em Montevideo, Uruguai. O resumo intitulado “*Efecto de cultivos de cobertura de invierno y su época de quema sobre estabilidad de agregados, stock de carbono y productividad de la soja*” (APÊNDICE A) foi apresentado na forma oral durante a realização do Congresso entre os dias 07 e 11 de outubro deste ano.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise VESS é um método simples utilizado para examinar a condição do solo e a forma com que ele é afetado pelas práticas de manejo, podendo ser utilizada para identificar as limitações de um solo (Figura 9).



**Figura 9.** Valores médios dos escores de qualidade estrutural (Qe), de acordo com a metodologia de BALL et al. (2007). As barras indicam o desvio padrão da média.

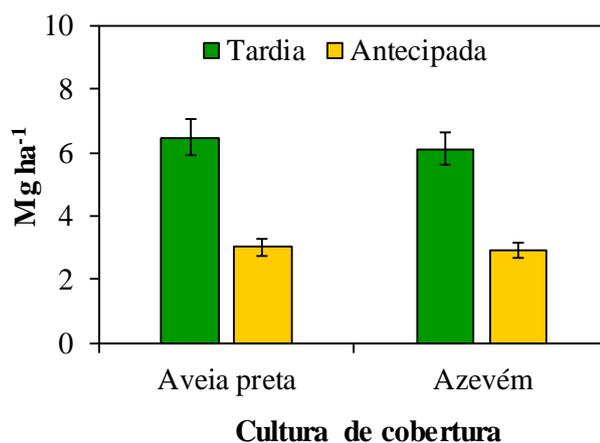
A extração dos blocos de solo foi afetada pela umidade do solo no momento da coleta. Devido ao elevado volume de chuva precipitado na semana anterior ao início das coletas de solo, os solos apresentavam condição de umidade acima da condição friável. Giarola et al. (2009) atentam para a utilização da metodologia em solos muito argilosos ou com teor de água muito acima ou abaixo da capacidade de campo (PENNING et al., 2015), podendo afetar a interpretação e conseqüentemente a nota ou escore. Apesar do teor de argila dos Molisols não ser elevado em superfície (em torno de  $350 \text{ g kg}^{-1}$  em área próxima ao experimento), este solo possui elevado teor de COT e horizonte subsuperficial (25-30 cm de profundidade) com acréscimo de argila em profundidade, favorecendo a retenção de umidade. Assim, em algumas avaliações os blocos oriundos dos tratamentos com cobertura apresentavam umidade superior aos do tratamento sem cobertura, conferindo uma condição de plasticidade, mascarando as linhas naturais de definição dos agregados, promovendo uma deformação ou formação de novos agregados, resultando em escores não condizentes com a realidade.

No entanto, quando foram coletados os blocos de solo após um longo período sem precipitação pluvial no experimento, foi possível identificar uma fácil desagregação da camada

superficial do solo no tratamento sem cobertura, mostrando a maior suscetibilidade do solo à desagregação por precipitação, intensificando os processos erosivos do solo. Além da facilidade em perder água da camada superficial por evaporação.

A proposta metodológica de análise VESS demandou habilidade para manusear e reconhecer os aspectos de estrutura de solo, indicando que o observador necessita de conhecimento prévio sobre a morfologia da estrutura do solo maior que o indicado por BALL et al. (2007). Segundo a metodologia, os sistemas que apresentarem escore de 1 a 3 indicam condições aceitáveis de manejo e qualidade física do solo. Apesar do tratamento sem cobertura também ter recebido um escore aceitável, é fundamental a manutenção do solo coberto por um maior período, evitando a degradação das qualidades físicas, químicas e biológicas do ambiente de produção.

Tanto a aveia preta quanto o azevém produziram mais de 6 Mg de MS ha<sup>-1</sup> quando dessecadas tardiamente (Figura 10). Já, quando manejadas antecipadamente, produziram cerca de 3 Mg de MS ha<sup>-1</sup>.



**Figura 10.** Produção média (Mg ha<sup>-1</sup>) de matéria seca (MS) da parte aérea das culturas de cobertura dessecadas antecipadamente ou tardiamente em 13 anos de avaliação. A barra indica o desvio padrão da média.

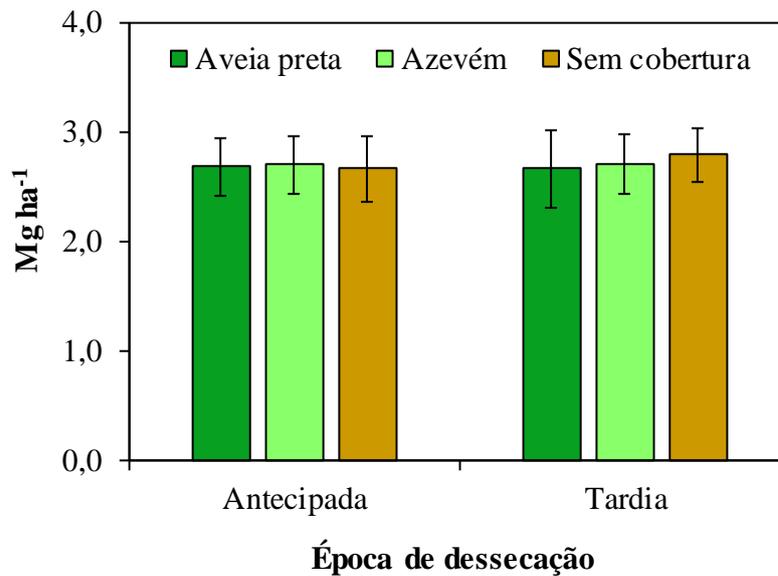
A dessecação antecipada da aveia preta e do azevém, realizada em meados de setembro, reduziu a produção em 3,5 e 3,2 Mg de MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, quando comparado à dessecação que ocorre em meados de outubro. Essa redução expressiva na produção de MS deve-se ao menor período para acumular biomassa nas culturas dessecadas em setembro, que se encontram no estágio vegetativo/emborrachamento, já quando manejadas em outubro ultrapassam o estágio de florescimento, período de maior acúmulo de biomassa (RODRIGUES et al., 2012).

Esses resultados mostram que a tomada de decisão do momento de realizar o manejo de dessecação da cobertura vegetal reflete em consequências de curto e longo prazo, que afetarão a manutenção do ambiente produtivo. Num período de 30 dias foi possível acumular cerca de 3 Mg de MS da parte aérea ha<sup>-1</sup>, equivalente a 1,2 Mg de C ha<sup>-1</sup> ou 2,06 Mg de MO ha<sup>-1</sup>. A compressão do solo devido à alta densidade de raízes finas das gramíneas favorece a aproximação das partículas de solo, ocorrendo a estabilização dos agregados principalmente pela ação da matéria orgânica.

Para a formação e estabilização de microagregados (< 250 µm), as macromoléculas húmicas apresentam uma grande quantidade de radicais que interagem com a superfície do mineral. Adicionalmente às ligações eletrostáticas, pontes de cátions, de hidrogênio, forças de van der Waals favorecem essa estabilidade. Os materiais orgânicos secretados pelas raízes na rizosfera representam uma importante fonte de C e energia para os microrganismos heterotróficos do solo e, que através da sua decomposição, liberam polissacarídeos de origem microbiana. Os polissacarídeos e as hifas de fungos são os componentes orgânicos mais importantes para a estabilidade dos macroagregados (BAYER & MIELNICZUK, 1999). No entanto, a contribuição dos polissacarídeos só será consistente se houver aporte periódico de resíduo vegetal ao solo, maximizando a quantidade de biomassa fornecida ao solo quando dessecada próximo à época de semeadura da cultura sucessora.

Ao potencializar o crescimento vegetal, além de promover a formação de agregados estáveis e a proteção do solo à desagregação pelo impacto das gotas de chuva, as plantas de cobertura têm um papel importante para manutenção da fertilidade do solo, aumentando a disponibilidade de P e K no solo (CALEGARI et al., 2013), impactando no maior aproveitamento dos nutrientes aplicados e, conseqüentemente, reduzindo a necessidade de adubação para as próximas safras.

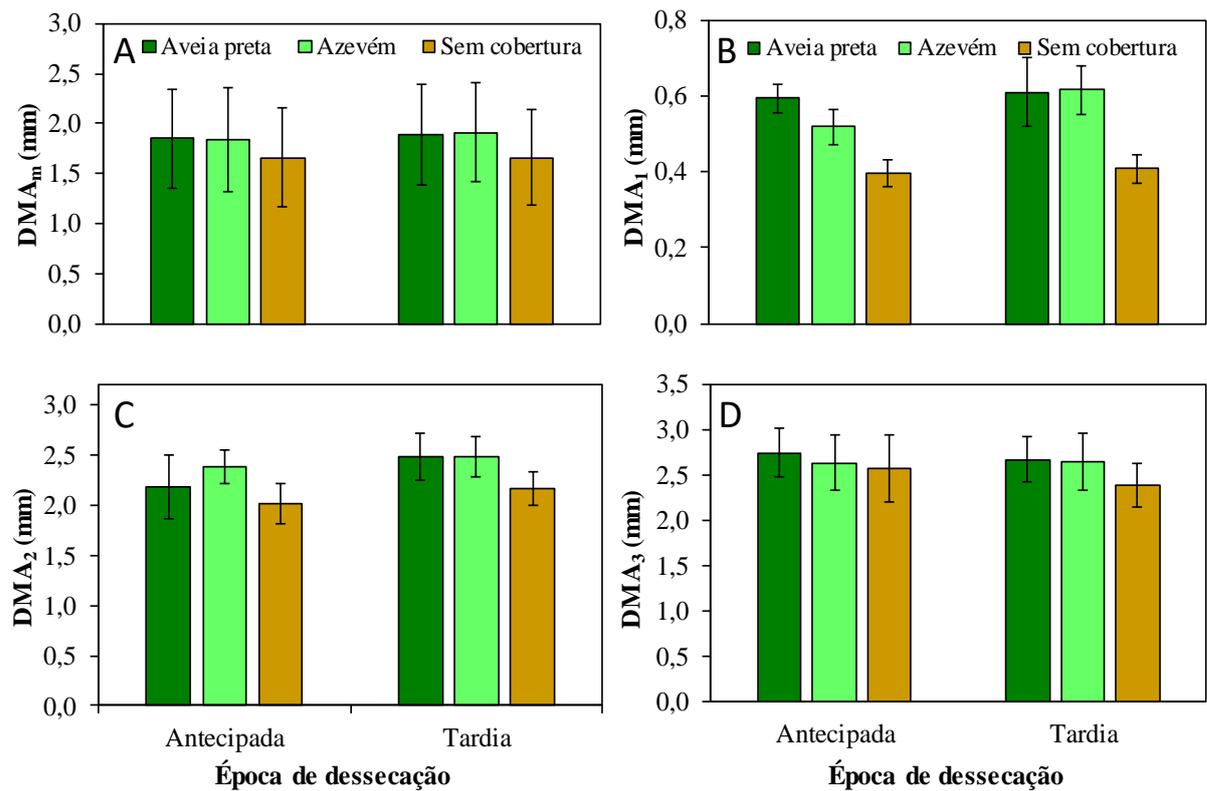
Apesar da variação de produção de MS observada na Figura 10, a produtividade média da soja é de 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>, independente da presença ou não de plantas de cobertura e da época de dessecação dessas (Figura 11).



**Figura 11.** Produtividade média da soja (Mg ha<sup>-1</sup>) em 12 anos de avaliação sob diferentes manejos de culturas de cobertura. A barra indica o desvio padrão da média.

Apesar dos benefícios citados pela presença da cobertura vegetal, a sua ausência não afetou a produtividade da soja ao longo das 12 safras avaliadas. Os Molissols possuem boas características químicas e físicas, apresentando boa fertilidade, com elevado teor de cátions trocáveis, como Ca, e ausência de Al (BERETTA, 2014), cátion responsável pela toxidez às plantas e redução da produtividade.

Não houve diferença no DMA determinado pelas médias dos três pré-tratamentos (Figura 12A). Os valores do DMA<sub>m</sub> entre os tratamentos variaram de 1,66 mm para o tratamento sem cobertura até 1,89 mm com cobertura da aveia preta, classificando os solos como estáveis. Assim, o DMA<sub>m</sub> não permitiu diferenciar as situações de uso e manejo da cobertura vegetal na estabilidade do solo. Apesar do contraste entre os tratamentos com e sem o uso de plantas de cobertura, não foi possível corroborar essa diferença pela sensibilidade da metodologia utilizada.



**Figura 12.** Diâmetro médio dos agregados submetidos a diferentes culturas de cobertura e época de dessecação.

DMA<sub>m</sub> referente a média do DMA dos pré-tratamentos (A), DMA<sub>1</sub> referente ao pré-tratamento 1 (B), DMA<sub>2</sub> referente ao pré-tratamento 2 (C), e DMA<sub>3</sub> referente ao pré-tratamento 3 (D). A barra indica o desvio padrão da média.

Para detectar diferenças quando as situações de manejo não são tão contrastantes, como por exemplo a utilização de aveia preta e azevém dessecadas na mesma época ou para identificar os distintos mecanismos de desagregação do solo pela ação da água preponderante a cada tipo de uso e manejo das plantas de cobertura, a metodologia permite analisar separadamente o DMA de cada um dos pré-tratamentos. Assim, pode-se verificar a resposta de cada tratamento sob as condições impostas de velocidade de umedecimento e de energia aplicada (LE BISSONNAIS, 1996), devido as diferenças de sensibilidade entre os três pré-tratamentos.

O pré-tratamento mais destrutivo foi o DMA<sub>1</sub> – umedecimento rápido do solo (Figura 12B), corroborando com o indicativo de que os solos se comportam como instáveis diante desse pré-tratamento (LE BISSONNAIS, 1996). Todos os tratamentos se comportaram como instáveis, havendo menor valor do DMA para o tratamento sem uso de cobertura vegetal. Em solos frágeis o DMA<sub>1</sub> pode apresentar baixa sensibilidade por ser muito destrutivo. No entanto, ele foi capaz de reproduzir as consequências que a falta de cobertura vegetal vem causando no

solo nos últimos anos de condução do experimento, onde nos últimos 6 dos 12 anos de duração os processos de erosão se tornaram evidentes (Figura 13).



**Figura 13.** Processo de erosão hídrica ocorrendo nas parcelas sem uso de plantas de cobertura. Local: INIA La Estanzuela. Foto: Filippi, D. (2019).

Aliado a não proteção do solo durante o período de inverno, somente o cultivo de leguminosas pode favorecer em menor proporção a EA frente ao uso em sucessão de gramíneas (RUBIO, 2016). O menor aporte de MS da soja e a sua menor relação C:N, favorecem a atividade biológica para decomposição desse material, deixando o solo por um maior período descoberto.

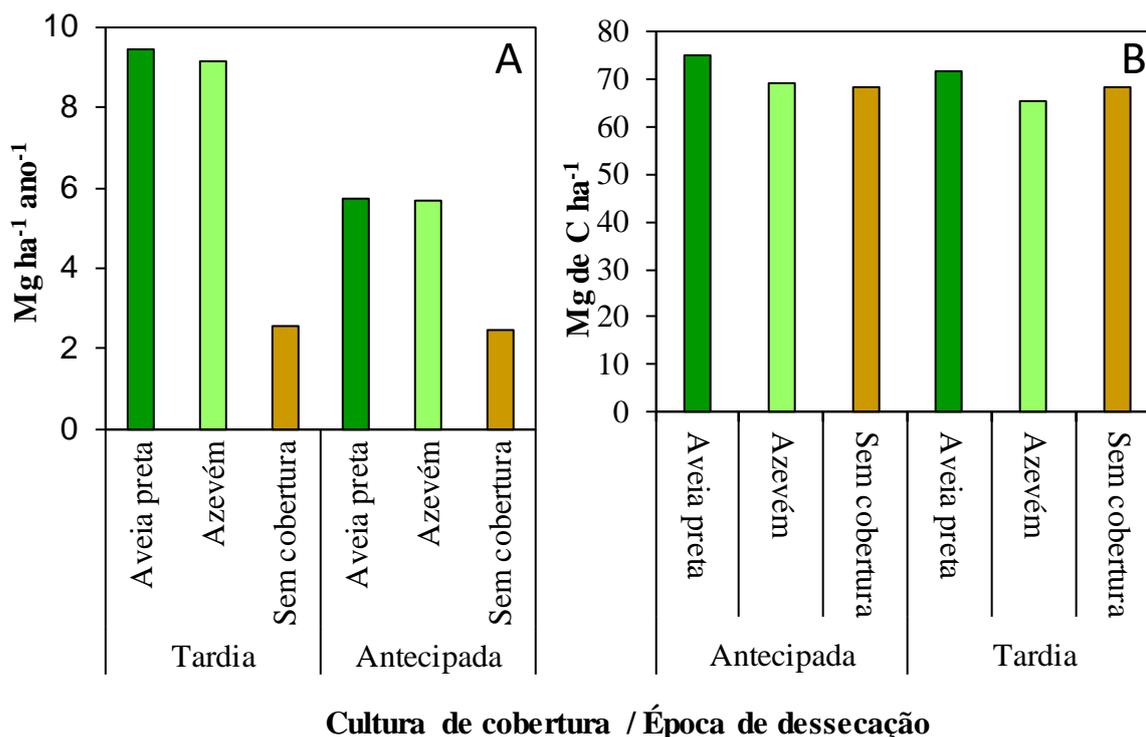
Os problemas com erosão hídrica também ocorrem nas propriedades rurais do Uruguai. Isso está associado à redução da relação entre a área agrícola semeada na safra de inverno comparada com a de verão, passando de 2,2 na safra de 2000/2001 para 0,4 na safra 2017/2018 (MGAP, 2018), indicando a baixa adoção de cultivos forrageiros ou de culturas de cobertura no período da entressafra. Esse problema ambiental é influenciado quando se observa somente a produtividade da soja como indicador do resultado das ações adotadas (práticas de manejo) para a produção. Esse experimento conduzido no INIA La Estanzuela tem como objetivo mostrar o efeito da adoção ou não de culturas de coberturas sob a qualidade do solo e a produtividade da soja. Após 12 safras sem o uso de cobertura vegetal na entressafra ainda não se verificou influência na produtividade da soja comparado com os demais tratamentos. Ademais, os problemas com erosão hídrica iniciaram após 6 anos do início do experimento, mostrando que as boas características físicas e químicas, bem como a resiliência dos Molisols às mudanças de manejo podem reduzir o interesse dos agricultores em adotar práticas de manejo conservacionistas.

Segundo Liu et al. (2012), cerca de 10% da área do território uruguaio é afetado moderadamente pela erosão e 2% de forma severa. Como medida de reduzir os problemas ambientais que o cultivo contínuo da soja trouxe ao País, o MGAP estabeleceu através do Decreto nº 405/008 a obrigatoriedade de apresentação do Plano de Uso e Manejo dos Solos pelos agricultores ao MGAP. Esse documento visa a apresentação dos planos de uso e manejo responsável das áreas agrícolas durante todo o período do ano, sendo obrigatório manter o solo coberto no período da entressafra. O uso dos resíduos culturais como cobertura do solo é uma maneira simples e eficaz de controlar a erosão em áreas cultivadas, minimizando o processo de desagregação e de selamento superficial do solo, contribuindo para o aumento da infiltração de água no solo (DECHEN et al., 2015).

O DMA<sub>2</sub> referente a desagregação mecânica que busca simular a energia de ruptura da gota da chuva sob as partículas do solo quando estão úmidas e com baixa coesão interna também não sofreu influência dos tratamentos, classificando a estabilidade do solo entre estável e muito estável (Figura 12C). O pré-tratamento 3, associado a expansão diferencial das argilas também não foi sensível para diferenciar a influência dos tratamentos na EA, classificando os solos como muito estáveis (Figura 12D). Essas pressões externas têm um efeito diferencial, dependendo da coesão úmida do solo, devido ao teor de argila e matéria orgânica (GABIOUD et al., 2011). Logo, devido ao teor de COT, ao tipo de argila (predomínio de 1:1) e a época de amostragem do solo para avaliação – havia cultivo de soja em todos os tratamentos protegendo o solo contra evaporação, possivelmente influenciaram no resultado da EA para esses pré-tratamentos. Além disso, a metodologia do pré-tratamento 3 necessita ser revisada buscando homogeneizar o processamento de execução.

Na Figura 14A é apresentado a quantidade média anual de MS aportada em cada tratamento ao longo dos 13 anos de avaliação. Os resíduos computados referem-se as quantidades de biomassa das culturas de cobertura somadas à palha da soja utilizando-se um índice de colheita de 50%. Os tratamentos com aveia preta e azevém dessecadas tardiamente aportam em média 9,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS, já quando dessecadas antecipadamente aportam cerca de 5,7 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS. Os tratamentos sem cobertura aportam somente os resíduos oriundos da cultura da soja, cerca de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS, essa quantidade é em torno de 6,8 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS menor que a aportada pelos tratamentos que mantém as culturas de cobertura por maior período na área. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999) a adição anual de biomassa tomada como referência para região subtropical do Brasil é de 10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS visando a manutenção da qualidade do solo em sistema plantio direto (SPD). Essa

quantidade de resíduo é fundamental para estabelecer um balanço entre os processos ordenativos e dissipativos do solo. No entanto, para a região deste estudo no Uruguai, a quantidade necessária de resíduo a ser aportada parece ser inferior. Isso pode ser explicado devido a menor energia recebida via radiação solar em Colonia ( $378 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) (ABAL et al., 2010) comparado com regiões tropicais/subtropicais ( $400 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), e isso tem forte implicação nas taxas dos processos de natureza biológica (BAYER & MIELNICZUK, 1999).



**Figura 14.** Aporte médio anual de MS (resíduo das plantas de cobertura + resíduo da soja) ha<sup>-1</sup> (A). Estoque de C no solo na camada de 0-30 cm de profundidade (B).

Apesar de não haver diferenças entre a produtividade de soja ao longo das safras avaliadas e nem do teor de COT entre os tratamentos, diferenças podem ser observadas no estoque de C avaliado até 30 cm de profundidade (não se realizou análise estatística) (Figura 14B). Utilizando a diferença de  $6,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de MS entre os tratamentos com cobertura dessecadas tardiamente e os tratamentos sem cobertura, há um aporte médio de  $2,72 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C. Utilizando o valor de  $k_1 = 0,15$ , que é o coeficiente isso-húmico e representa a proporção de C fotossintetizado adicionado ao solo, que é incorporado na matéria orgânica do solo num período de um ano (BAYER et al., 2006), obtém-se um valor de  $0,41 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de C incorporado até a camada 0-30 cm, chegando a  $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C ao longo dos 13 anos avaliados. Essa diferença pode ser observada no estoque de C entre os tratamentos citados

anteriormente, mostrando que apesar do teor de COT não ter mostrado diferenças, os tratamentos com plantas de coberturas tem capacidade de sequestrar maior quantidade de C. Isso influencia diretamente na estabilidade dos agregados evitando a desagregação do solo e posteriormente da degradação do ambiente produtivo.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estágio curricular obrigatório realizado no Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA) La Estanzuela, foi de fundamental importância para a expansão e aprofundamento de meus conhecimentos na área de solos em especial na parte de física e manejo dos solos. Ter o privilégio de acompanhar profissionais em uma instituição de pesquisa uruguaia, com diferentes pesquisas e metodologias para conduzi-las, com certeza muito agregou em minhas experiências pré-profissionais. O convívio social entre os colaboradores no ambiente de trabalho também é de grande valia para desenvolvermos a capacidade de comunicação e solução de problemas de forma rápida e objetiva. A execução da metodologia de avaliação de EA, que pode ser utilizada como indicador da qualidade física do solo e o acompanhamento de outras técnicas laboratoriais e de campo são, sem dúvida, os maiores objetivos do estágio curricular obrigatório, estabelecendo assim uma relação entre o que é realizado no laboratório buscando reproduzir os fenômenos que acontecem na natureza e a realidade encontrada no campo, visto que teoria por si só é algo fundamental, contudo sem a validação prática não tem valor algum.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL, G.; D'ANGELO, M.; CATALDO, J.; GUTIÉRREZ, A. Mapa solar del Uruguay. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES-CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES), Cusco, 1-5.11. 2010. Disponible: [http://www.guzlop-editoras.com/web\\_des/ener01/solarvolta/pld0236.pdf](http://www.guzlop-editoras.com/web_des/ener01/solarvolta/pld0236.pdf).

ACHKAR, M.; DOMINGUEZ, A.; DÍAZ, I.; PESCE, F. La intensificación del uso agrícola del suelo en el litoral oeste del Uruguay en la última década. 2011. **Pampa**. DOI: 10.14409.

ALTAMININO, A.; SILVA, H.; DURAN, A.; ECHEVARRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo I. Clasificación de suelos. Montevideo, 1976. Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1976.

ARBELETCHÉ, P.; ERNST, O.; HOFFMAN, E. La Agricultura en Uruguay y su Evolución. In: Intensificación Agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural. Montevideo, 2010. Disponible em: [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9510/1/libro\\_blanco\\_intensificacion\\_agrocolafagro.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9510/1/libro_blanco_intensificacion_agrocolafagro.pdf).

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural. Quality: a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 329–337, 2007. DOI: 10.1111/j.1473-2743.2007.00102.x.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F A O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: **Genesis**, 1999. p. 9-26.

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, Apr. 2006.

BUNDY, L. G. & MEISINGER, J. J. (1994). Nitrogen availability indices. In *Methods of Soil Analysis, Part 2* (R. W. Weaver, J. S. Angle and P. S. Bottomley, Eds), pg. 951-984. **Soil Science Society of America**, Madison.

BERETTA, Andrés. La clasificación uruguaya de suelos del 2007 cambia las inferencias de propiedades de Vertisoles y Brunosoles. *Agrociencia Uruguay*, Montevideo, v. 18, n. 1, p. 105-112, June 2014. Disponible em: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100011&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100011&script=sci_arttext&tlng=pt).

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W.L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian. 2013. **Soil & Tillage Research** 133, 32–39. DOI: 10.1016/j.still.2013.05.009.

CASTAÑO, J.; GIMÉNEZ, A.; CERONI, M.; FUREST, J.; AUNCHAYNA, R.; BIDEGAIN, M. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. INIA Serie Technique. 2011.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/257023619\\_Caracterizacion\\_Agroclimatica\\_del\\_Uruguay\\_1980-2009](https://www.researchgate.net/publication/257023619_Caracterizacion_Agroclimatica_del_Uruguay_1980-2009).

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 1984. 48:368-373. DOI:10.2136/sssaj1984.03615995004800020029x.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. De. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v.74, n. 2, p. 224-233, junho 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0363.

DE LOS CAMPOS, G.; PEREIRA, G. La actividad agrícola de secano en el Uruguay 2002. Montevideo, Uruguay.

DORAN, J.; PARKIN, T. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. ed. Defining soil quality for a sustainable environment. Publ. 35. Madison, Wisconsin, **EEUU**: SSSA and ASA. DURAN, A. An overview of South American Mollisols: soil formation, classification, suitability and environmental challenges. *In*: Liu et al. New advances in research and management of world Mollisols. Northeast Forestry University Press, Harbin. pg 31-45. 2010.

EMBRAPA SOLOS. SiBCS. Correlação com WRB/FAO e Soil Taxonomy. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soles/sibcs/correlacao-com-wrb-fao-e-soil-taxonomy>. Acesso em: 31 de ago. 2019.

FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. Interferência de picão-preto e guaxuma com soja: efeitos da densidade de plantas e época relativa de emergência. **Ciência Rural**, v.34, p.41-48, 2004. DOI: org/10.1590/S0103-84782004000100007.

GABIOUD, E.; WILSON, M.; SASAL, M. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos. **Ciencia Del Suelo**, vol. 29, nº. 2, pg. 129-139. 2011. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4346585>.

GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. de L.; MODOLO, A.J.; SILVEIRA, J.C.M da. Desempenho de um trator operando em solo com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Engenharia Agrícola**, v.24, p.781-789, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n3/a32v24n3.pdf>.

GAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **S.S.S. of A. J.** 56: 777-783. 1992. E.T. Elliot et al.

GARCÍA PRÉCHAC F.; ERNST, O.; ARBELETCHÉ, P.; BIDEGAIN, M.; PRITSCH, C.; FERENCZI, A.; RIVAS, M. Intensificación Agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural. Disponível em: [https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9510/1/libro\\_blanco\\_intensificacion\\_agrocolafagro.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9510/1/libro_blanco_intensificacion_agrocolafagro.pdf).

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; BALL, B. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p. 2531-2534, 2009. DOI:10.1590/S0103-84782009000800041.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use Manage**, v. 27, p. 395-403, 2011. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x.

HÉNIN, S.; MONNIER, G.; COMBEAU, A. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. **Ann. Agron.** 9: 73-92.

INE. Anuário Estadístico Nacional 2018. Datos Geográficos. 2018a. Disponível em: <http://www.ine.gub.uy/documents/10181/559909/Anuario+Estad%C3%ADstico+Nacional+2018/46660ce3-eb26-484e-b295-f4327499de8b>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INE. Anuário Estadístico Nacional 2018. Información Censal. 2018b. Disponível em: <http://www.ine.gub.uy/documents/10181/559909/Anuario+Estad%C3%ADstico+Nacional+2018/46660ce3-eb26-484e-b295-f4327499de8b>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INIA. Estaciones Experimentales. INIA La Estanzuela. Breve Historia. 2019a. Disponível em: <http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-la-estanzuela/breve-historia>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INIA. Estaciones Experimentales. INIA La Estanzuela. 2019b. Disponível em: <http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-la-estanzuela/breve-historia>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INIA. Estaciones Experimentales. INIA La Estanzuela. Unidades Experimentales. 2019c. Disponível em: <http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-la-estanzuela/unidades-experimentales>. Acesso em: 17 ago. 2019.

KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. **Adv. Soil Sci.**, 12:1-41, 1990. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3316-9\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3316-9_1).

LE BISSONNAIS, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, 47, 425-437. DOI: 10.1111/ejss.4\_12311.

LIU, X.; BURRAS, C. L.; KRAVCHENKO, Y. S.; DURAN, A.; HUFFMAN, T.; MORRAS, H.; STUDDERT, G.; ZHANG, X.; CRUSE, R.M.; YUAN, X. Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management. 2011. **Can. J. Soil. Sci.** 92 (3):383-402. DOI: 10.4141/cjss2010-058.

MGAP. Anuario Estadístico de DIEA 2018. Producción vegetal: cultivos cerealeros e industriales de secanos. Disponível em: [https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario\\_2018.pdf](https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2018/Anuario_2018.pdf). Acesso em: 23 ago. 2019.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *In*: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: **Genesis**, 1999. p.1-8.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. *In*: TICHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: **UFRGS**, 2016.

NOVELLI, L.; CAVIGLIA, O.; WILSON, M.; SASAL, M. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. **Geoderma**, 195–196, 260–267. 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.12.013.

OECD. The Observatory of Economic Complexity. Uruguai. 2017. Disponível em: <https://oec.world/pt/profile/country/ury/>. Acesso em: 17 ago. 2019.

PENNING, L. H.; LIMA, C. L. R. de; TUCHTENHAGEN, I. K.; SILVA, M. de F. M. M. da; PILLON, C. N.; NUNES, M. C. M. Avaliação visual para o monitoramento da qualidade estrutural do solo: VESS e VSA. 39 p. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1017871/avaliacao-visual-para-o-monitoramento-da-qualidade-estrutural-do-solo-vess-e-vsa>.

PUNTES, R.; SZOGI, A. 1983. Manual para la utilización de la "ecuación universal de pérdida de suelo" en Uruguay. Serie: Normas técnicas en conservación de suelos, n.º. 1, DS-MAP, Montevideo, Uruguay, 80p.

RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, v. 269, p. 341-356, 2005. DOI: 10.1007/s11104-004-0907-y.

REDIN, M.; GIACOMINI, S.J.; FERREIRA, P.A.A.; ECKHARDT, D.P. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. *In*: TIECHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: **UFRGS**, 2016.

RODRIGUES, O.; FONTANELI, R. S.; COSTENARO, E. R.; MARCHESE, J. A.; SCORTGANHA, A. C. N.; SACCARDO, E.; PIASECKI, C. Bases fisiológicas para o manejo de forrageiras. Capítulo 03; p. 59-125. *In*: FONTANELI, R. S. et al. Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-brasileira. 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa**, 2012.

RUBIO, V. D. Diagnóstico de la calidad física del suelo: impacto en el cultivo de maíz, efecto del parapló como medida correctiva. 69 pg. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias opção Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade da República, Uruguai, Montevideo, 2018.

SOUZA, K. B.; PEDROTTI, A.; RESENDE, S. C.; SANTOS, H. M. T.; MENEZES, M. M. G.; SANTOS, L. A. M. Importância de novas espécies de plantas de cobertura do solo para os

tabuleiros costeiros. **R. FAPese**, Aracaju, v. 4, n. 2 p. 131-140, jul./dez. 2008. Disponível em: [http://www.fapese.org.br/revista\\_fapese/v4n2/artigo11.pdf](http://www.fapese.org.br/revista_fapese/v4n2/artigo11.pdf).

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, Dec. 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013001200008.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004. DOI: 10.1590/S0100-83582004000100001.

**APÊNDICE A.** Resumo aceito para ser apresentado na forma oral no XXII Congresso Latino-americano de Ciência do Solo (CLACS)

**EFFECTO DE CULTIVOS DE COBERTURA DE INVIERNO Y SU ÉPOCA DE QUEMA SOBRE ESTABILIDAD DE AGREGADOS, STOCK DE CARBONO Y PRODUCTIVIDAD DE LA SOJA**

Dionata Filippi<sup>1</sup>, Jorge Sawchik<sup>2</sup>, Tales Tiecher<sup>1</sup>, Valentina Rubio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), Brasil

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA Uruguay

Los cultivos de cobertura son recomendados como alternativa para cubrir el suelo en invierno brindando protección contra la erosión. En el corto plazo su efecto se asocia a una reducción en el golpeo directo de las gotas de lluvia en el suelo. En el largo/mediano plazo, además, estos podrían reducir la erosión al aumentar la estabilidad de los agregados. Estos efectos son potenciados con el atraso de la quema de las coberturas, realizándola lo cerca posible de la siembra del cultivo de verano, favorecería la acumulación de biomasa vegetal de la cobertura. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos cultivos de cobertura y dos períodos de quema en el stock de carbono (C) del suelo y en la estabilidad de agregados (EA) luego de 13 años de manejo para un sistema de soja (*Glycine max*) continua. Además, se evaluó el efecto de estos tratamientos en el rendimiento del cultivo de soja a lo largo del experimento. El estudio fue realizado en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria en Colonia Uruguay sobre un Molisol Típico. Se evaluó el efecto de tres manejos invernales [avena (*Avena strigosa* Schreb), raigrás (*Lolium multiflorum* L.) y un tratamiento sin cobertura], combinado con dos épocas de quema de las coberturas (temprana y tardía 60 y 30 días previo a la siembra respectivamente). El stock de C se calculó en la profundidad de 0-30 cm a través de la evaluación de la densidad del suelo y del % de C. Fue determinada la EA a la explosión por el aire entrampado, a la disgregación mecánica y la expansión diferencial de las arcillas (Le Bissonnais, 1996). Resultados preliminares muestran que no hubo diferencias en el aporte de residuos entre las coberturas evaluadas, siendo el aporte medio de 6,3 y 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> cuando fueron quemados tarde y temprana, respectivamente. Ya, el aporte total de residuo ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de las coberturas cuando son quemadas temprana y tardía superan el tratamiento sin cobertura en 134 y 263%, respectivamente. Sin embargo, se observa un mayor stock de C en el tratamiento con avena (123 Mg ha<sup>-1</sup>) para las dos épocas de quema en comparación al tratamiento con raigrás (114 Mg ha<sup>-1</sup>) y sin cobertura (113 Mg ha<sup>-1</sup>). No se observaron diferencias en el rendimiento medio de soja entre los tratamientos para el conjunto de años evaluados, cuyo valor promedio fue de 2,7 Mg ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos con cobertura independiente de la época de quema presentaron una mayor EA asociada al estallido por aire entrampado, superando en un 46% la EA observada en el tratamiento de soja continua sin cobertura. Así, estos resultados confirmarían que la cobertura de avena permite aumentar el stock de C, y ambos cultivos (avena y raigrás) reducirían la erosión del suelo mediante aumentos en la EA. A pesar de que no ha sido reportado diferencias en la productividad de la soja hasta el momento, para mantener la conservación del suelo en Molisoles es fundamental la utilización de cultivos de cobertura de invierno.