

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

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Matheus Ferrari Menegat**

**00309361**

*Uso de plantas de cobertura na entressafra da cultura do milho em Nebraska, EUA*

**PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2023**

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

**Uso de plantas de cobertura na entressafra da cultura do milho em  
Nebraska, EUA**

**Matheus Ferrari Menegat**  
**00309361**

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: Dra. Andrea Basche

Orientador Acadêmico do Estágio: Dr. Tales Tiecher

**COMISSÃO DE AVALIAÇÃO**

Profa. Renata Pereira da Cruz – Depto. de Plantas de Lavoura (Coordenadora)

Prof. Alexandre de Mello Kessler – Depto. de Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli – Depto. de Fitossanidade

Prof. Sérgio Luiz Valente Tomasini – Depto. de Horticultura e Silvicultura

Prof. Clesio Gianello – Depto. de Solos

Profa. Lucia Brandão Franke – Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

**PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2023**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Maristela, ao meu pai Irenio e à minha irmã Monise por estarem sempre ao meu lado. Pelo suporte, motivação e encorajamento fornecidos durante o período da graduação.

À minha namorada Giulia Dall Agnol, por estar sempre ao meu lado, apoiando nas decisões e tornando menores os problemas do dia a dia.

Aos colegas e amigos que me acompanham desde o início da graduação, pelas risadas, pelo companheirismo e pela ajuda sempre que foi preciso.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e à faculdade de Agronomia, pelo ensino em excelência.

Ao professor Dr. Tales Tiecher, por toda orientação desde o início da caminhada acadêmica, e a todos os seus alunos orientados pelo amparo nas tarefas diárias.

À University of Nebraska – Lincoln, pelo acolhimento durante o período de estágio.

Ao grupo de pesquisa Resilient Cropping Systems, professora Andrea e aos colegas Tauana, Tomie, Grace, Roberta, Bridget e Madeline pelo aprendizado e amparo durante os sete meses de estágio.

Às amigas feitas nos Estados Unidos, pelo acolhimento e companheirismo.

## RESUMO

O estágio supervisionado foi realizado juntamente ao grupo de pesquisa *Resilient Cropping Systems*, na University of Nebraska – Lincoln, localizada no estado de Nebraska – Estados Unidos da América, no período de 10 de abril a 3 de novembro de 2023. Objetivou-se o aprimoramento dos conhecimentos referentes ao cultivo de plantas de cobertura no período da entressafra na cultura do milho assim como seus efeitos nos sistemas agrícolas. Foram desempenhadas atividades de campo relacionadas à execução e condução de experimentos voltados ao efeito de plantas de cobertura na fertilidade do solo, biota do solo, retenção de água, fitossanidade e produtividade das culturas. O estágio obrigatório é de suma importância na formação do acadêmico, sendo uma etapa fundamental no desenvolvimento pessoal e profissional do aluno.

**Palavras-chave:** Plantas de cobertura. Milho. Condução de experimentos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Coleta de biomassa no tratamento com ervilhaca (A) e acomodação de <i>litter bags</i> no campo (B) .....	19
Figura 2	–	Coleta de solo anterior ao plantio do milho para avaliação de N residual (A) e aplicação nitrogenada individualmente em cada linha em estágio V5 (B).....	20
Figura 3	–	Semeadura do milho nos tratamentos com dessecação tardia (A), coleta de biomassa das plantas de cobertura (B) e avaliação de emergência da cultura (C).....	21
Figura 4	–	Avaliação de danos por pragas (A), aplicação nitrogenada (B) e avaliação de doenças radiculares e danos por insetos nas raízes (C) .....	22
Figura 5	–	Gaiola e isca da avaliação de predação por insetos (A) e avaliação de doenças de caule (B).....	23
Figura 6	–	Instalação dos sensores de umidade e temperatura do solo (A) e avaliação de emergência do milho (B).....	24
Figura 7	–	Cultivo de milho ao lado de Kernza (A), diferentes espaçamentos entre linha na cultura da Kernza (B) e tratamento com consórcio de Kernza com alfafa (C)...	26
Figura 8	–	Tratamentos com diferentes espécies de plantas de cobertura (A), contagem de plantas por área aos 15 dias após semeadura (B), medição altura de plantas aos 15 dias após semeadura (C) e coleta final de biomassa (D).....	27
Figura 9	–	Produção de biomassa das plantas de cobertura.....	29
Figura 10	–	Produção de milho em experimento sem o uso de N.....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO ESTADO DE NEBRASKA - EUA</b> .....	9
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN</b> .....	11
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
4.1	Produção de milho nos EUA .....	13
4.2	Plantas de cobertura como alternativa para os sistemas agrícolas .....	14
4.3	Plantas de cobertura nos EUA.....	16
<b>5</b>	<b>ATIVIDADES REALIZADAS</b> .....	18
5.1	Dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio .....	18
5.2	Cultivo de milho após utilização de diferentes plantas de cobertura submetidas a diferentes épocas de dessecação.....	20
5.3	Monitoramento da temperatura e disponibilidade de água do solo, avaliação da decomposição de biomassa e liberação de nutrientes em três fazendas no estado de Nebraska .....	23
5.4	Cultivo de Kernza, fertilização com N,P e K e interação genótipo x ambiente x manejo...25	
5.5	Avaliação do desempenho de 18 variedades de culturas de cobertura usando imagens aéreas e dados de parte aérea de plantas.....	26
5.6	Participação em eventos técnicos .....	28
5.7	Participação em eventos científicos .....	28
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	29
6.1	Produção de biomassa das plantas de cobertura - dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio.....	29
6.2	Produção de milho - dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio.....	30
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	31

<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>34</b>
	<b>APÊNDICE A – Pôster apresentado na 2023 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting</b> .....	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os Estados Unidos da América (EUA) é o maior produtor mundial de milho, sendo responsável por 32% do milho colhido mundialmente em 2023 (FAOSTAT, 2021). O estado de Nebraska tem grande contribuição ocupando o terceiro lugar de maior produção nacional nos EUA. Isso devido às condições ideais de produção associadas à alta tecnologia incrementada ao sistema. Nesse contexto, a utilização de plantas de cobertura no inverno surge como uma prática conservacionista, com intuito de ciclar nutrientes além de proteger o solo, mitigando problemas de erosão e lixiviação de nutrientes, como o nitrato, que resultam na contaminação dos recursos hídricos.

Durante a graduação, a participação como aluno de iniciação científica num grupo de pesquisa da UFRGS possibilitou a oportunidade de estagiar em um país de língua inglesa e ter uma experiência internacional na Universidade de Nebraska – Lincoln. O estágio foi realizado durante um período de 7 meses, totalizando em torno de 1.160 horas de estágio. O mesmo foi registrado como aproveitamento de intercâmbio em conformidade com período de afastamento para realização de estudos.

O objetivo do estágio foi aprofundar os conhecimentos sobre a utilização de plantas de cobertura e produção de milho, além de agregar experiência na condução de experimentos, acompanhando atividades a campo e de laboratório que compreendem desde a instalação do experimento, coleta e processamento de dados, e geração de resultados.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO ESTADO DE NEBRASKA - EUA

O estado de Nebraska foi admitido como estado em 1º de março de 1867. Tendo como capital a cidade de Lincoln. Atualmente o estado possui 1.967.923 habitantes (UNITED STATES CENSUS, 2022) e uma área de 200.329 quilômetros quadrados. Possui IDH de 0.938 ocupando a 14º posição entre os 50 estados dos Estados Unidos (GLOBAL DATA LAB, 2019).

Com o desenvolvimento das ferrovias após a Guerra Civil Americana (1861-1865) e a consequente imigração, os solos férteis de Nebraska foram arados e suas pastagens deram origem à pecuária, e até hoje o estado tem sido um grande produtor de alimentos. Os rios tiveram relevância para a geografia e assentamento, onde a maioria da população vive perto do rio Missouri e rio Platte, deixando grande parte do estado levemente povoada. O rio Platte é o principal afluente que se junta ao rio Missouri ao sul da cidade de Omaha. Embora raso e inavegável, o rio Platte assim como o Missouri são vitais para a irrigação dos campos. Além disso, abaixo da maior parte do estado encontra-se o aquífero *Ogallala*, fornecendo um enorme suprimento de água subterrânea, o que possibilitou o amplo desenvolvimento da irrigação na agricultura do estado (NEBRASKA, 2022a)

O estado compreende duas principais regiões fisiográficas dos EUA, sendo elas a planície central, no terço leste do estado, e as grandes planícies no centro do estado. Na parte sudoeste o terreno é mais plano e mais propício à agricultura, onde os solos siltosos são mais comuns. No terço leste, predominam solos argilosos, com baixa permeabilidade que dificultam a irrigação. As altitudes variam de 256 metros no sudoeste até 1.654 metros perto da fronteira com Colorado e Wyoming. Apesar dos vales dos rios, grande parte do estado caracteriza-se como pradaria suavemente ondulada, coberta em sua maior parte por gramíneas (SCHULTZ; STOUT, 1980).

Muitos tipos de solos são reconhecidos em Nebraska, esses apresentam diferença em seus horizontes devido aos processos ambientais que os originaram, diferenciando-os em cor, textura, estrutura e consistência. Essa diferença resulta principalmente de quatro fatores, sendo eles o clima, material de origem, relevo e tempo. A geologia de alicerce dos solos do estado é formada por calcários, xistos, carbonatos e arenito. Grande parte do estado é coberto por sedimentos não consolidados depositados por geleiras, água e vento, apesar de alguns lugares terem o leito rochoso exposto resultando em solos rasos. Geralmente os solos formados a partir de areias eólicas são de textura arenosa, os solos formados em *loess* (material menor que areia, transportado pelo vento), são siltosos e os solos formados a partir de xisto são argilosos. É

sabido que a maior parte dos solos do estado se formaram sob cobertura densa de gramíneas, resultando na ordem de solos Molisols, ou solos com horizontes superficiais espessos e de cor escura (ELDER, 1969). A decomposição das raízes das gramíneas e da vegetação superficial incorporada ao solo produz um horizonte superficial bem estruturado e rico em matéria orgânica. A outra ordem de solo importante no estado são os Entisols, que não possuem horizontes distintos. Esses solos ocorrem em uma variedade de configurações no estado, incluindo depósitos jovens em várzeas, solos muito arenosos nas colinas de areia e encostas íngremes onde altas taxas de erosão impedem o desenvolvimento significativo do solo (USDA-NRCS, 2021).

O clima de Nebraska é continental e está sujeito a extremos de temperatura, velocidade do vento e precipitação, tendo variações climáticas significativas dentro do estado. No verão, os ventos quentes do sudoeste costumam elevar as temperaturas para 32°C, podendo chegar a máximas de 38°C, porém as médias históricas ficam em torno de 23°C para a estação, na mesma estação é comum tempestades e ocasionais granizos e tornados. Já no inverno, ventos do oceano ártico costumam resultar em temperaturas de até -18°C, causando comumente nevascas com deposição anual de neve de 73,6 cm, com isso, as temperaturas médias para o mês de janeiro variam de -4°C a -7°C de um extremo ao outro do estado. O estado é um pouco mais seco que os demais estados do meio-oeste, as precipitações anuais ficam em torno de 750 mm na região sudeste e 400 mm no restante do estado, deste modo cerca da metade de Nebraska pode ser considerado de clima semiárido (GEOGRAPHY.NEBRASKA, 2018)

No aspecto econômico, serviços como manufatura, transporte e agricultura são as principais fontes de renda de Nebraska. Embora o estado seja um dos principais produtores agrícolas do país, apenas um décimo da força de trabalho é empregado na agricultura, havendo menos de 50.000 fazendas com uma média de 376 hectares cada. Desde os primórdios, o milho tem sido a cultura principal, porém soja, sorgo, feno, trigo e feijão também apresentam relevância no cenário. Além disso, o estado é o maior produtor de alfafa, e ocupa destaque também nas culturas de beterraba e batata (NEBRASKA, 2023).

O estado faz parte do cinturão do milho, região de maior produção de milho do mundo, sendo o terceiro maior produtor de milho do país, o segundo em produção de etanol e grãos de destilaria, e o primeiro em gado de engorda. Esses três destaques são ditos como “triângulo dourado”, uma vez que se relacionam e consolidam mercados sólidos entre si, visto que o milho é utilizado nas usinas de etanol, e o subproduto é ingrediente para a indústria pecuária, sendo essa, uma maneira perfeita para agregar valor ao milho fornecendo um motor econômico dentro das fronteiras do estado (NEBRASKA, 2022b). Como maior produtor de carne bovina, o estado

apresenta cerca de 7 milhões de cabeças de gado, e a produção gera cerca de 11 bilhões de dólares aos produtores anualmente. Além disso, o estado é o sexto maior produtor de carne suína no país com 4 milhões de cabeças, gerando 850 milhões de dólares. O estado também se destaca na produção de carne de aves e na produção de ovos, possuindo cerca de 10 milhões de aves em toda sua extensão. Entre as carnes, a suína é a mais consumida no estado (NEBRASKA, 2023).

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN**

A universidade de Nebraska – Lincoln foi fundada pelo legislativo de Nebraska em 15 de fevereiro de 1869 servindo tanto como concessão de terras quanto como universidade pública, de ensino, pesquisa e extensão. A universidade trabalha em cooperação com três campus e a administração central, buscando fornecer a seu corpo estudantil a mais ampla gama de disciplinas e áreas de especialização. Atualmente, a universidade é a mais antiga e mais importante universidade do estado, e hoje conta com as faculdades de Arquitetura, Artes e Ciências, Administração, Educação e Ciências Humanas, Engenharia, Jornalismo e Comunicação, Direito, Ciências Agrárias, além do Instituto de Agricultura e Recursos Naturais, a Divisão de Pesquisa Agrícola, Divisão de Extensão Cooperativa e a Divisão de Conservação e Pesquisa (UNIVERSITY OF NEBRASKA, 2023a). São aproximadamente 3.000 alunos matriculados semestralmente contando com uma classificação de pesquisa "muito alta" com base na Classificação Carnegie (CARNEGIE, CLASSIFICATION, 2022)

O Instituto de Agricultura e Recursos Naturais (*Institute of Agriculture and Natural Resources*) – IANR, foi criado em 1973 a partir de discussões entre líderes estaduais afim de promover apoio financeiro adequado, considerando as contribuições da agricultura e dos recursos naturais para a economia do estado. Hoje, o IANR está vinculado à universidade, promovendo pesquisa, ensino e extensão nas áreas de produção de alimentos, gestão ambiental, nutrição humana e desenvolvimento de negócios, engajando assim jovens e pesquisadores no desenvolvimento do estado (UNIVERSITY OF NEBRASKA, 2023a).

Nesse contexto, associado ao IANR, a Divisão de Pesquisa Agrícola (*Agricultural Research Division*) – ARD, é uma entidade encarregada de conduzir pesquisas agrícolas, além de passar rapidamente novas descobertas do campo ou do laboratório para as salas de aula. Atualmente, a entidade conta com inúmeros pesquisadores envolvidos em mais de 300 projetos de pesquisa distribuídos por todo o estado. Além de realizar atividades de pesquisa e ensino, a UNL tem como base promover atividades de extensão, trazendo informações práticas aos

produtores e conectando o meio acadêmico ao campo. Esse segmento é financiado por instituições privadas ou públicas como o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture*) – USDA (UNIVERSITY OF NEBRASKA, 2023b).

Vinculados ao IANR, os grupos de pesquisas conduzem as atividades relacionadas aos projetos de extensão e pesquisa. Nesse contexto, o estágio foi desenvolvido junto ao grupo de pesquisa *Resilient Cropping Systems*, coordenado pela professora Andrea Basche, e que conta atualmente com quatro alunos de mestrado e um aluno de doutorado, além de um técnico de campo. O grupo tem como foco estudos relacionados à eficiência no uso de recursos em sistemas de cultivo, saúde do solo, recursos hídricos, modelagem de sistemas agrícolas e políticas agrícolas e humanitárias para tomada de decisões em sistemas agrícolas. Os experimentos a campo estão distribuídos em três diferentes estações experimentais no estado de Nebraska, além de propriedades privadas de agricultores. A *Eastern Nebraska Research Extension and Education Center* (ENREEC), é um exemplo de estação experimental localizada na cidade de Mead à 60 km de Lincoln. A área conta com mais de 3 mil hectares, boa parte irrigada, sendo destinada à pecuária, produção de grãos, forragens, além de áreas destinadas à pesquisa e ensino. (UNIVERSITY OF NEBRASKA, 2023a). Grande parte do trabalho de estágio foi desenvolvido na localidade em questão.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Produção de milho nos EUA

Os estados Unidos é o maior produtor mundial de milho, gerando cerca de 384 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2021), o que representa cerca de 32% da produção mundial. Com destaque nesse cenário, o cinturão do milho, “*corn belt*”, é uma região geográfica localizada no centro-oeste do país, composta pelos estados de Nebraska, Kansas, Missouri, Indiana, Ohio, Illinois, Iowa, Minnesota e Dakota do Sul, e responsável por 80 – 90 % da produção nacional. Essa área tem características climáticas e de solo favoráveis para o cultivo do milho, e a alta produtividade é resultado desses fatores aliados a investimento em tecnologia e infraestrutura, além de uma longa tradição na produção agrícola. Essa região tem impacto significativo na economia do país e no mercado global, onde o milho é usado não só como alimento para humanos, mas também como ração animal, produção de etanol, além de uma variedade de produtos industriais. Por esse motivo, oscilações de produção na região, ou seja, variações de oferta e demanda, podem afetar os preços globais do grão e a disponibilidade desse produto em todo o mundo.

O milho nos EUA representa cerca de 13% de todos os empregos e ocupações da economia, totalizando 19 milhões de empregos e 683 milhões de dólares em salários (OECD, 2019). De toda a produção, cerca de 85% são consumidos internamente, e em termos de área, a atividade ocupa em torno de 34,5 milhões de hectares com uma produtividade média de aproximadamente 11,1 Mg ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2021). A pecuária é a grande responsável pela maior parte do milho consumido internamente (39%), seguida de perto pela produção de etanol (34%), o que resulta em 55 bilhões de litros produzidos. Cerca de 18 % da produção tem como destino a exportação, com destaque para mercados como México, Japão e China (OECD, 2019).

Nesse cenário, as condições ambientais como fertilidade do solo, temperatura, insolação e disponibilidade de água, associadas ao melhoramento genético do milho e ao manejo do sistema produtivo, favorecem a região do “*corn belt*” a ter as maiores produtividades de milho do mundo (GRASSINI *et al.*, 2015), chegando a médias nacionais de 185 sacas ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2021). O milho é frequentemente cultivado em sistemas intensivos caracterizados por monocultura e/ou rotações curtas com solo descoberto durante o período de pousio, o que aumenta a dependência da cultura de fatores de produção sintéticos (por exemplo, fertilizantes, pesticidas), causando problemas ambientais, incluindo emissões de gases de efeito estufa (WOJCIECHOWSKI *et al.*, 2023). Essa crescente presença do milho nos sistemas agrícolas

levanta preocupações sobre os desserviços ambientais, como as perdas de Nitrogênio, incidência de pragas, e menor armazenagem de carbono no solo, afetando a matéria orgânica e levando a uma maior dependência de produtos sintéticos (CHAHAL, 2021). A carga excessiva de N está frequentemente associada à produção de milho, e as perdas reativas de nitrogênio são uma das principais causas de contaminação das águas superficiais (BURKART; JAMES, 1999; DINNES *et al.*, 2002). O N é um dos nutrientes exigidos em maiores quantidades pelas plantas, e apesar das plantas absorverem o N armazenado no solo, depositado através de restos culturais, os fertilizantes nitrogenados são altamente utilizados para suprir a demanda das plantas e manter o alto teto produtivo, especialmente para a cultura do milho. Além disso, a aplicação de fertilizantes minerais nitrogenados é, de forma geral, ineficiente, podendo ter perdas de 50% por volatilização e lixiviação (LACEY; ARMSTRONG, 2015). Além do mais, o alto teor residual de N no solo após a colheita do milho pode levar à lixiviação de nitrato e formação de nitrito (ZHU; FOX, 2003).

Atualmente, a maior parte das áreas produtivas do país não é severamente limitada por água ou pelo solo, e isso, em parte, contribui para sua imensa produtividade. Porém, sabe-se que as alterações climáticas ameaçam os potenciais produtivos futuros, em que o aumento na variabilidade das chuvas pode ter muitos impactos na agricultura, e vão desde solos encharcados, atrasando plantios na primavera e diminuindo a produtividade das culturas, até o fracasso das colheitas causado pela seca. Além do mais, boa parte dos campos produtivos dos Estados Unidos são mantidos em pousio durante a entressafra, o que pode ser prejudicial, visto que períodos de pousio tem baixa eficiência e podem aumentar as perdas de N no solo. A mesma prática também está associada à diminuição da matéria orgânica do solo, afetando negativamente a fertilidade do solo e a resiliência e sustentabilidade ao longo dos sistemas de cultivos (GARBA *et al.*, 2023).

#### **4.2 Plantas de cobertura como alternativa para os sistemas agrícolas**

Para mitigar riscos decorrentes dos períodos de pousio, do excesso de chuva e dos eventos de seca, podem ser utilizadas práticas conservacionistas que melhorem a infiltração e o armazenamento de água no solo, reduzindo o escoamento e a erosão hídrica (STEWART *et al.*, 2015). A utilização de uma cultura de cobertura no período da entressafra de culturas anuais, como o milho, onde o solo é deixado exposto sem plantas vivas durante uma boa parte do ano, é uma prática com potencial de atingir os objetivos citados anteriormente. Além disso, as mesmas podem ter papel de barreira física contra a emergência de plantas daninhas que

anualmente trazem consideráveis diminuições de produtividades devido à competição interespecífica com a cultura comercial.

O princípio dessa prática é o incremento de plantas de cobertura, promovendo maior saúde ao solo através da maximização da diversidade, fornecendo raízes e cobertura contínua. A utilização desse princípio é amplamente reconhecida como processo para reorganizar a ecologia do solo, melhorar a capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, além de diminuir a degradação do solo (KRUPEK, 2022). Além disso, é dita como uma prática que fornece processos ecológicos nas estratégias de manejo do sistema produtivo com o objetivo de melhorar os serviços ecossistêmicos e reduzir o uso de insumos externos (BENDER *et al.*, 2016).

Os efeitos benéficos do uso de plantas de cobertura vão desde a maior infiltração de água no solo, que é resultante de alterações estruturais do mesmo e adição de matéria orgânica (HUDSON, 1994; HATI *et al.*, 2007; BHOGAL *et al.*, 2009), resultando também em aumento do carbono orgânico do mesmo (LAL, 2015, 2004). Inúmeros estudos destacam melhorias estruturais do solo, como diminuição da densidade, maior estabilidade dos agregados e aumento da macroporosidade do solo proveniente da utilização de plantas de cobertura, além do aumento da matéria orgânica entre 9% e 85%, dependendo do acúmulo de biomassa e das condições de solo e clima da região (KASPAR *et al.*, 2011).

Culturas de cobertura não leguminosas podem reduzir substancialmente a lixiviação de N nos sistemas hídricos, em média de 56% e misturas de culturas de cobertura não leguminosas e leguminosas podem reduzir a lixiviação de N em valores também significativos (THAPA *et al.*, 2018). As plantas de cobertura podem reduzir a lixiviação de nitrato absorvendo o N residual e aquele naturalmente mineralizado (LACEY *et al.*, 2015), além de absorver o N que seria perdido por lixiviação e assim manter a disponibilidade do nutriente no solo através da degradação da biomassa. Consequente, essa liberação de N significa fornecer nutrientes ideais e de forma lenta para plantas cultivadas (LANDRISCINI *et al.*, 2018). Além disso, com o aumento de carbono (C) no sistema, as atividades microbianas sustentam as funções do solo relacionadas ao ciclo do C e N, podendo favorecer o aumento da produtividade das culturas.

O aumento da cobertura vegetal favorece a diminuição do escoamento superficial e da velocidade da água, o que conseqüentemente diminui as perdas da camada fértil do solo (nutrientes, matéria orgânica). Essa mitigação dos efeitos da erosão propicia a manutenção da biodiversidade do solo e dos serviços ecossistêmicos (SCHUTTE, 2020). Além disso, o maior acúmulo de biomassa é associado ao aumento da supressão de plantas daninhas. As culturas de cobertura afetam plantas daninhas por meio físicos e químicos, através de mecanismos de

interferência de competição de recursos e alelopatia, atrasando a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas, o que resulta em invasoras menores, com menor probabilidade de produção de sementes e de mais fácil controle. Além disso, maiores relações C/N de plantas de coberturas como as gramíneas aumentam potencialmente o tempo de permanência do resíduo e, assim, suprimem as ervas daninhas por mais tempo após a dessecação da planta de cobertura (RUFFO *et al.*, 2003).

### 4.3 Plantas de cobertura nos EUA

No Centro-Oeste dos EUA as plantas de cobertura são geralmente semeadas no outono, na segunda metade do mês de outubro, crescendo durante o inverno e terminando o ciclo na primavera antes do plantio das culturas comerciais na primeira quinzena de maio. Dentre as espécies cultivadas estão o centeio (*Secale cereale* L.) e a ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth). Culturas leguminosas como a ervilhaca podem absorver o N advindo do solo ou da atmosfera e fixá-lo biologicamente, liberando à medida que os restos vegetais se decompõem, o que é interessante para uma fertilização mais sustentável do milho. Por outro lado, espécies gramíneas, como o centeio, caracterizam-se por possuir raízes profundas, absorvendo nutrientes em maiores profundidades, em especial N, e armazenando em sua parte aérea. Os resíduos de leguminosas são ricos em N e possuem relação C:N menor quando comparado às gramíneas (CHINTA *et al.*, 2020). Com isso, as leguminosas apresentam um residual de menor complexidade e mais fácil decomposição, favorecendo os microrganismos do solo a degradar facilmente os resíduos, enquanto as gramíneas são mais complexas e mais difíceis de decompor. Nesse cenário, o N advindo das plantas de cobertura durante o ciclo da cultura do milho é um fator importante para avaliar a real efeito das plantas de cobertura na produtividade da cultura do milho. Ambas as famílias botânicas também aumentam a colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.*, 2016). Essas culturas são alternadas com culturas de primavera/verão, como milho por exemplo. Estudos demonstram que a ervilhaca pode ser superior ao centeio na melhoria da produtividade das culturas subsequentes (MARCILLO *et al.*, 2017). Além disso, essas plantas de cobertura podem ser cultivadas em conjunto, o chamado “mix”, que possui como objetivo aumentar a biodiversidade e a diversificação do sistema, além de combinar os benefícios e funções das diferentes espécies.

A escolha das composições de misturas de espécies plantas de cobertura depende das complementaridades funcionais ou fenológicas, dos períodos de crescimento, das características alvo e das complementaridades dos serviços ecossistêmicos (ALLETTO,

2022). Compreender as repercussões das plantas de cobertura no rendimento final da cultura comercial é um ponto chave para a adoção desse sistema (KASPAR *et al.*, 2011), que precisa ser investigado considerando que pode ser afetado por muitos fatores, como a região, o rendimento, a espécie, as condições climáticas e a gestão agrícola.

O número total de terras agrícolas plantadas com culturas de cobertura ainda é baixo no Centro-Oeste dos EUA, cerca de 5% (DUNN *et al.*, 2016), em parte devido a preocupações sobre potenciais perdas de rendimento causadas pelo cultivo de plantas de cobertura, pois apesar dos supostos benefícios, os impactos quantitativos das culturas de cobertura no rendimento das culturas de rendimento ainda são incertos (ABDALLA *et al.*, 2019). Geralmente quando as culturas de cobertura têm uma longa janela de crescimento no inverno pode ser alcançada uma grande biomassa de culturas de cobertura, o que assegura os benefícios para a saúde do solo. No entanto, pode causar competição por nutrientes e água com culturas comerciais subsequentes e reduzir o rendimento das culturas comerciais (NOLAND *et al.*, 2018).

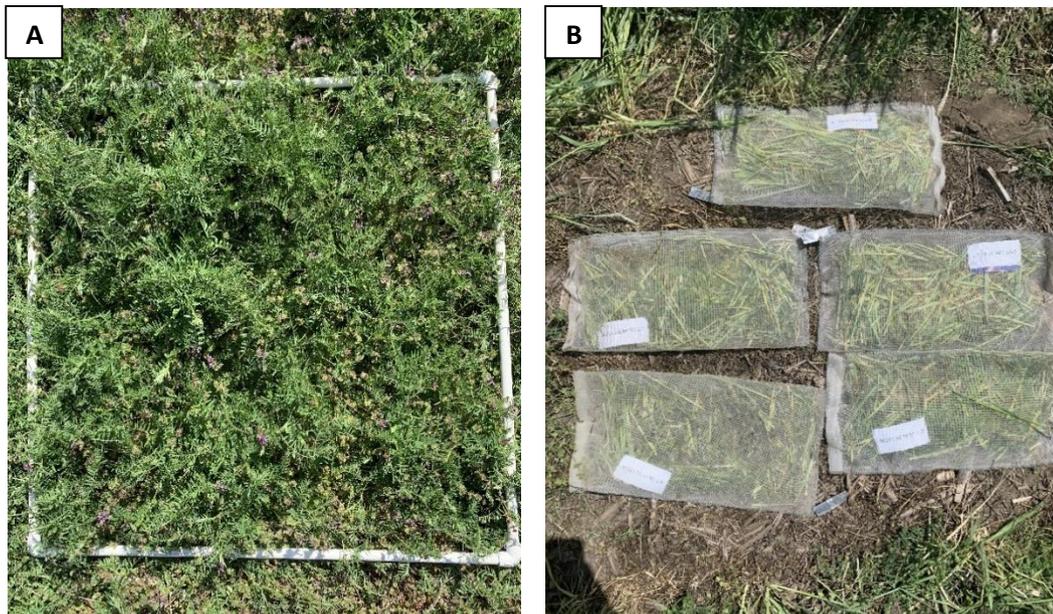
## 5 ATIVIDADES REALIZADAS

### 5.1 Dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio

O experimento foi instalado na estação experimental da University of Nebraska – Lincoln (ENREC), no município de Mead do estado de Nebraska, EUA. Este estudo está em seu terceiro ano de condução e tem por objetivo determinar a dose ideal de N que deve ser aplicada em cobertura na cultura do milho após utilizadas diferentes plantas de coberturas de inverno, além de avaliar a decomposição das plantas de cobertura, a liberação temporal de nitrogênio durante o desenvolvimento da cultura e o rendimento do milho. Este experimento foi instalado no mês de setembro de 2022, através da semeadura das plantas de cobertura de período hibernal, e os tratamentos consistem em: centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca (mix) e tratamento controle permanecido em pousio. O delineamento experimental é um fatorial de blocos casualizados em parcelas subdivididas com 4 repetições. A aplicação do nitrogênio foi feita em estádio V5 em seis diferentes doses de N na forma de ureia em cada um dos tratamentos.

No dia 4 de maio de 2023 foi feita a coleta de biomassa para quantificar a biomassa produzida por cada tratamento (Figura 1 A). Além disso, no mesmo dia foi feita a coleta da biomassa para estudo da decomposição e liberação de nitrogênio, que consiste na coleta de duas amostras numa área de 1m<sup>2</sup> em cada plote. Em posse da amostra, a mesma foi pesada e dividida em seis subamostras de mesmo peso, em que cada uma das seis consiste num diferente tempo de retirada do campo. As mesmas foram acomodadas em sacos (*litter bags*), que consistem em sacos de malha plástica perfurados, sendo material normalmente utilizado para esse tipo de avaliação. Esses sacos foram identificados de A a F quanto ao tempo de retirada do campo, sendo A tempo 0, ou seja, retirado no dia da amostragem, e assim acomodados no campo (Figura 1 B). Os demais tempos foram de 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação das plantas. Vale ressaltar, que a dessecação das plantas de cobertura foi feita no mesmo dia, logo após a coleta da biomassa. Após a coleta em cada tempo de avaliação, as amostras foram secas a 60 °C até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas, moídas em malha de 1mm e armazenadas para posterior análise de teores totais de C e N.

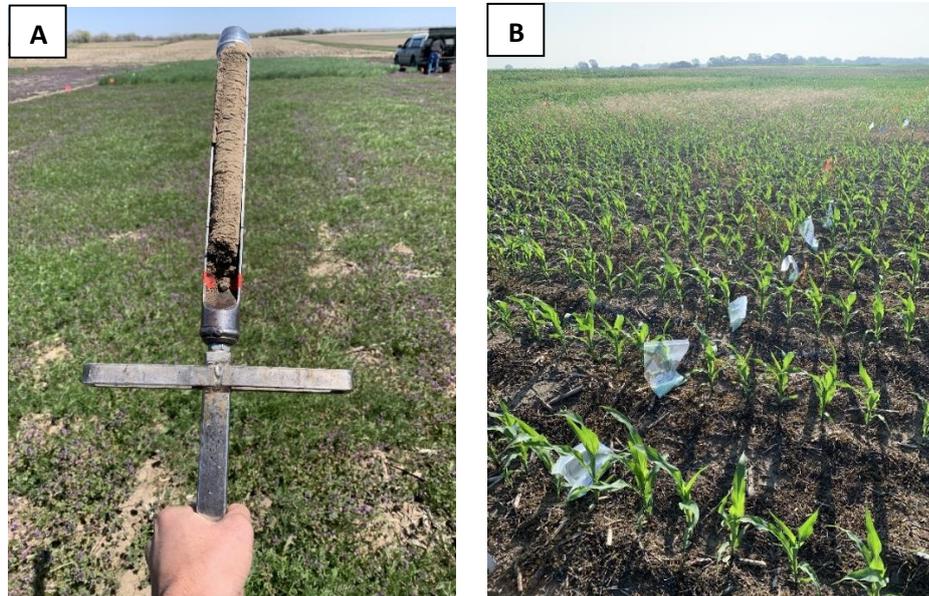
Figura 1 – Coleta de biomassa no tratamento com ervilhaca (A) e acomodação de *litter bags* no campo (B).



Antes da semeadura do milho, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-25 cm (Figura 2 A). Para isso, foram coletadas 6 subamostras com trado calador, que compuseram a amostra final para cada tratamento. Essas amostras foram secas em laboratório, moídas, peneiradas e enviadas para análise com intuito de avaliar o nitrogênio residual.

Decorridos 20 dias da dessecação, foi feita a semeadura do milho numa densidade de 90 mil plantas por hectare. Em estágio V3 do milho foi feito o controle de plantas daninhas em meio à cultura com aplicação do princípio ativo *atrazina*. A aplicação nitrogenada foi feita em estágio V5, nas doses de 0, 45, 90, 180, 270 e 360 kg ha<sup>-1</sup> de N em forma de ureia. A dose foi dividida pelo número de linhas e aplicado em cada linha individualmente de forma manual (Figura 2 B). Após a maturação de colheita, foram colhidas duas linhas em cada subparcela evitando linhas laterais com a utilização de uma colhedora autopropelida. A quantidade colhida foi pesada no momento da colheita e uma amostra foi recolhida para posterior avaliação de produtividade com correção de umidade para 13%. Nesse terceiro ano do estudo, teve-se acesso aos resultados de produção de biomassa das plantas de cobertura e também da produção de milho sem adição de N. Em posse disso, foi feita a análise estatística dos resultados para a posterior discussão.

Figura 2 – Coleta de solo anterior ao plantio do milho para avaliação de N residual (A) e aplicação nitrogenada individualmente em cada linha em estágio V5 (B).



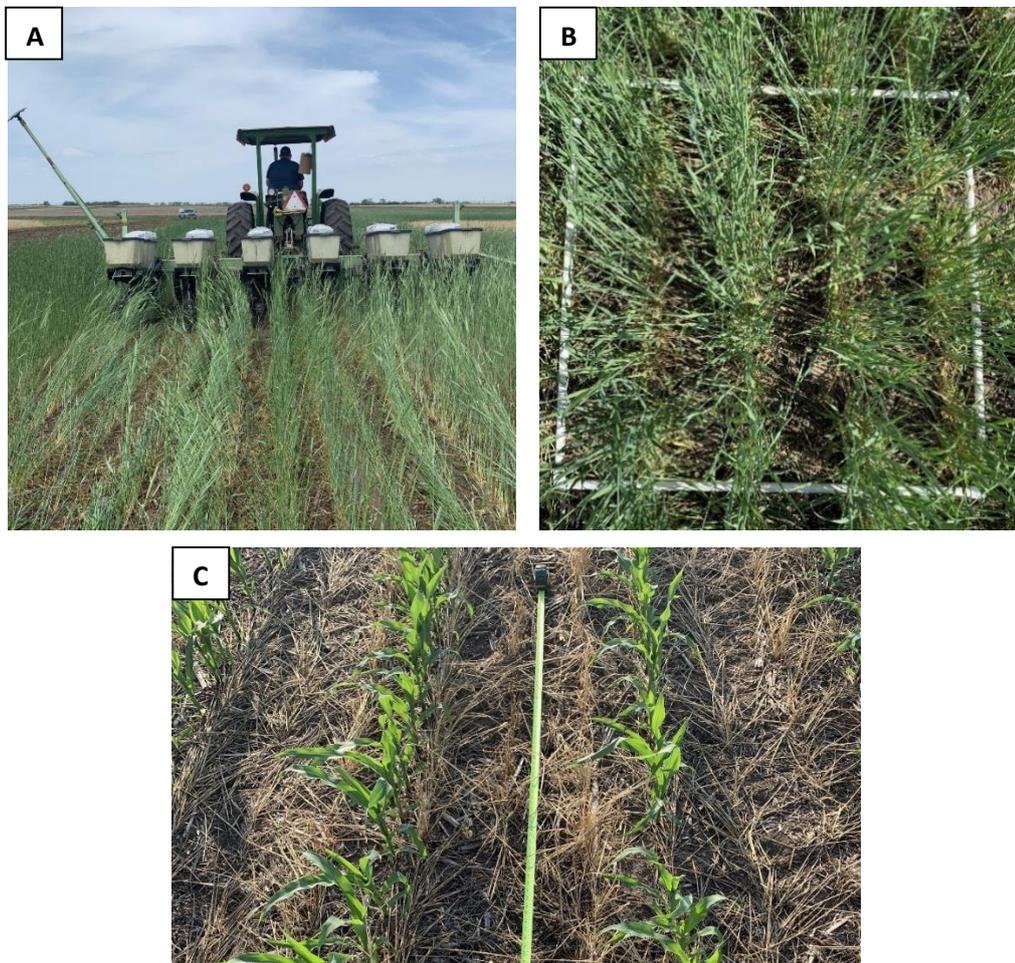
## 5.2 Cultivo de milho após utilização de diferentes plantas de cobertura submetidas a diferentes épocas de dessecação

O estudo consiste no cultivo de milho após a utilização das plantas de cobertura centeio e ervilhaca dessecadas em duas épocas diferentes, e um tratamento sem cultivo (pousio). Além disso, o estudo possui um tratamento extra de centeio dessecado tardiamente com aplicação adicional de N no cultivo do milho. As épocas de dessecação consistem em: dessecação antecipada – 14 dias antes do plantio do milho; e dessecação tardia – 7 dias após o plantio do milho.

O experimento foi instalado a partir do plantio mecanizado das plantas de cobertura em outubro de 2022, em maio de 2023 realizou-se a dessecação antecipada, e passados 15 dias foi feita a semeadura total da área com milho (Figura 3 A), e adição de 35 kg ha<sup>-1</sup> de N. A dessecação tardia foi feita sete dias após o plantio. No experimento foram avaliados além da produtividade do milho, outros fatores como incidência de doenças radiculares e de parte aérea, injúrias causadas por insetos, infestação de pragas, incidência de plantas daninhas e componentes de rendimento do milho.

Antes do plantio do milho, procedeu-se com a coleta de biomassa das plantas de cobertura (Figura 3 B) e plantas daninhas no tratamento com dessecação antecipada e no tratamento controle. Após decorridos sete dias desde a semeadura, foi coletada a biomassa das plantas de cobertura e das plantas daninhas nos tratamentos com dessecação tardia. Posteriormente, após a emergência das plântulas de milho, foi realizada uma avaliação de qualidade da emergência da cultura por meio da contagem de plântulas que emergiram numa área previamente determinada. (Figura 3 C).

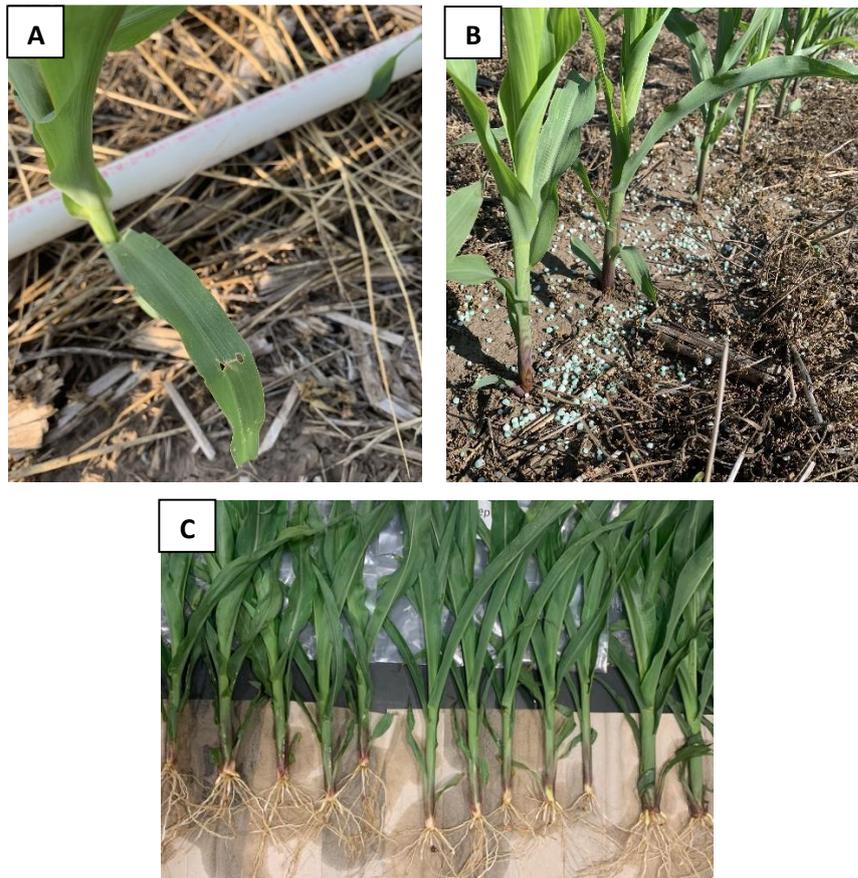
Figura 3 – Semeadura do milho nos tratamentos com dessecação tardia (A), coleta de biomassa das plantas de cobertura (B) e avaliação de emergência da cultura (C).



Em estágio V3, foi feita uma avaliação quanto a danos por insetos nas plantas de milho, (Figura 4 A). Em estágio V5, foram feitas coletas de plantas de milho juntamente com o sistema radicular em duas linhas de cada tratamento, sendo 5 plantas em sequência em cada uma das linhas. Posteriormente, as raízes destas plantas foram lavadas em laboratório e avaliadas quanto a possível presença de doenças radiculares e ataques de insetos. (Figura 4 C). A aplicação

nitrogenada foi feita de forma manual em estágio V5 do milho (Figura 4 B). A dose aplicada de N foi de 110 kg ha<sup>-1</sup> em 5 tratamentos, e no tratamento com dose adicional, a quantidade foi de 145 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia.

Figura 4 – Avaliação de danos por pragas (A), aplicação nitrogenada (B) e avaliação de doenças radiculares e danos por insetos nas raízes (C).



Com enfoque entomológico, realizou-se uma avaliação da predação de insetos, que tem por princípio usar uma lagarta da espécie *Galleria mellonella* como isca para identificar a presença de insetos benéficos que possam predação os insetos indesejáveis nos diferentes tratamentos do estudo. As lagartas iscas foram presas com alfinete em pequenas bolas de argila. Foi colocada uma espécie de gaiola por cima da isca afim de proteger contra predadores maiores como ratos e sapos (Figura 5 A). As mesmas foram colocadas no campo após as 18 horas em duas diferentes linhas da cultura, sendo três por linha, totalizando seis iscas por tratamento. As avaliações de predação foram feitas de duas formas, sendo uma antes das 6 horas da manhã e a outra após as 18 horas, ambas no dia seguinte da instalação. Tal manejo, foi feito três vezes durante o desenvolvimento da cultura do milho, especificamente nos estágios V3, V6 e VT.

Na maturação fisiológica do milho, estágio R6, avaliou-se a presença de doenças no caule do milho. Para tal, foram analisadas três plantas em duas diferentes linhas de milho em cada tratamento, e aberto totalmente o caule abaixo da espiga, constatando o número de nós e entrenós além de possíveis anormalidades características de doenças. (Figura 5 B). No final do mês de outubro foi feita a colheita do milho. A quantidade colhida por parcela foi pesada no momento da colheita, e uma amostra por parcela foi coletada para avaliação de umidade e posterior correção para umidade padrão de 13%, tendo assim a real produtividade.

Figura 5 – Gaiola e isca da avaliação de predação por insetos (A) e avaliação de doenças de caule (B).



### **5.3 Monitoramento da temperatura e disponibilidade de água do solo, avaliação da decomposição de biomassa e liberação de nutrientes em três fazendas no estado de Nebraska**

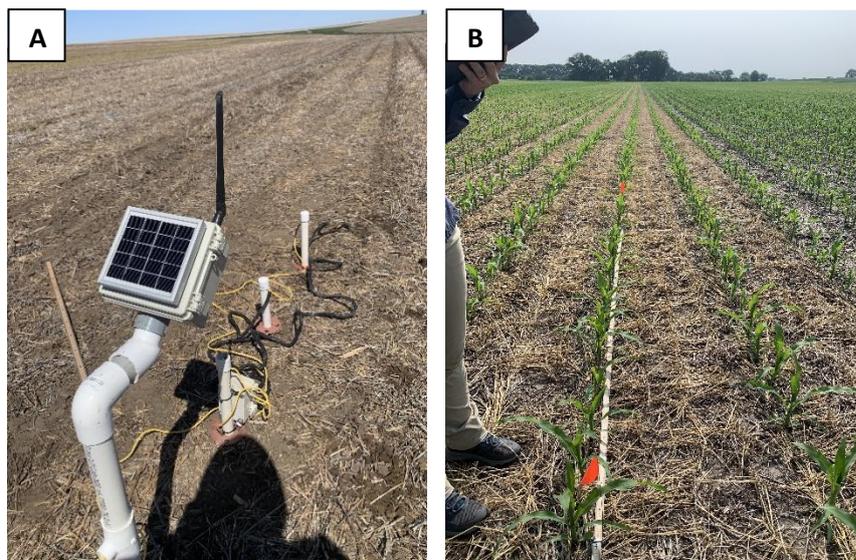
O experimento está instalado em três fazendas pelo estado de Nebraska, nas cidades de North Bend, Crofton e Brownville. O estudo consiste no cultivo hibernal de centeio e no pousio sem utilização de plantas de cobertura. Esse experimento tem por objetivo avaliar aspectos como umidade e temperatura do solo através de sensores, além da decomposição da biomassa

de centeio através do mesmo procedimento de “*litter bags*”. Nas três localidades, o centeio foi semeado no mês de outubro de 2022 e dessecado no mês de maio de 2023. A coleta da biomassa e preparo dos *litter bags* foi feita poucos dias antes da dessecação, os mesmos foram dispostos no campo com 6 diferentes tempos de retirada, sendo 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação.

Passados 10 dias, foi feita a semeadura do milho em duas fazendas, e de soja na terceira pelos próprios agricultores. Juntamente a isso, foi feita a instalação dos sensores pelo grupo (Figura 6 A). A instalação consiste em quatro sensores de 5, 15, 45 e 80 cm de profundidade respectivamente, em cada um dos tratamentos. Esses sensores, fazem leituras de umidade e temperatura nas diferentes profundidades a cada 15 minutos, e os dados são enviados automaticamente para uma nuvem para posterior processamento.

Além disso, foram realizadas atividades como coleta de solo para caracterização físico-química, coleta de dados de densidade populacional da cultura (Figura 6 B), avaliação de emergência de plantas daninhas nos diferentes tratamentos, coleta de biomassa das plantas de cobertura para análise de rendimento, e por fim colheita manual de milho e soja para avaliação da produtividade.

Figura 6 – Instalação dos sensores de umidade e temperatura do solo (A) e avaliação de emergência do milho (B).



#### 5.4 Cultivo de Kernza, fertilização com N, P e K e interação genótipo x ambiente x manejo

A cultura de Kernza (*Thinopyrum intermedium*), dita como uma intermediária do trigo, é uma gramínea perene, usada como forrageira com potencial para regiões mais seca (oeste dos EUA), sendo tolerante ao frio e congelamento. Apesar do grande potencial forrageiro devido ao grande acúmulo de biomassa, a mesma apresenta potencial na produção de grãos, além de um sistema radicular bastante desenvolvido com capacidade de absorver água e nutrientes em grandes profundidades.

Nesse sentido, o grupo de pesquisa *Resilient Cropping Systems* possui uma linha de pesquisa focado no cultivo da Kernza com objetivo de otimizar o gerenciamento de NPK para a produção de grãos e forragem, avaliar diferentes genótipos adaptáveis ao clima de Nebraska e suas respostas à diferentes condições de crescimento e práticas de manejo, e explorar o impacto do sistema radicular e da produção de biomassa nos serviços ecossistêmicos, para assim determinar genótipos com melhores desempenhos produtivos e formas de manejo que incrementam produtividade e resiliência aos sistemas.

O grupo conta com dois experimentos localizados na estação experimental em Mead, Nebraska. O primeiro deles tem foco na adubação da cultura, e consiste em 12 tratamentos com 4 repetições, sendo 10 com Kernza submetida a diferentes níveis de adubação, e mais dois tratamentos com milho e soja respectivamente a fim de comparação. (Figura 7 A). Nesse experimento, as atividades desenvolvidas consistiram em: medição semanal da umidade do solo até 1 metro de profundidade através de sensores manuais inseridos em tubos previamente instalados; fertilização nitrogenada na primavera; duas coletas de solo durante o verão, assim como o processamento das amostras em laboratório; coleta de biomassa de verão; avaliação de rendimento através da colheita manual e posterior trilhagem;; coleta de biomassa de outono (rebrote); fertilização com NPK no outono e teste de infiltração de água no solo nos diferentes tratamentos. O segundo experimento consiste na utilização de 5 diferentes genótipos de Kernza semeados em dois diferentes espaçamentos entrelinhas (80 e 40 cm) e consorciados com trevo vermelho ou alfafa (Figura 7 B e C). O objetivo é avaliar a produção de biomassa, em cultivo solteiro e consorciado com leguminosas e determinar os melhores genótipos e condições de manejo para o estado.

Figura 7 – Cultivo de milho ao lado de Kernza (A), diferentes espaçamentos entre linha na cultura da Kernza (B) e tratamento com consórcio de Kernza com alfafa (C).

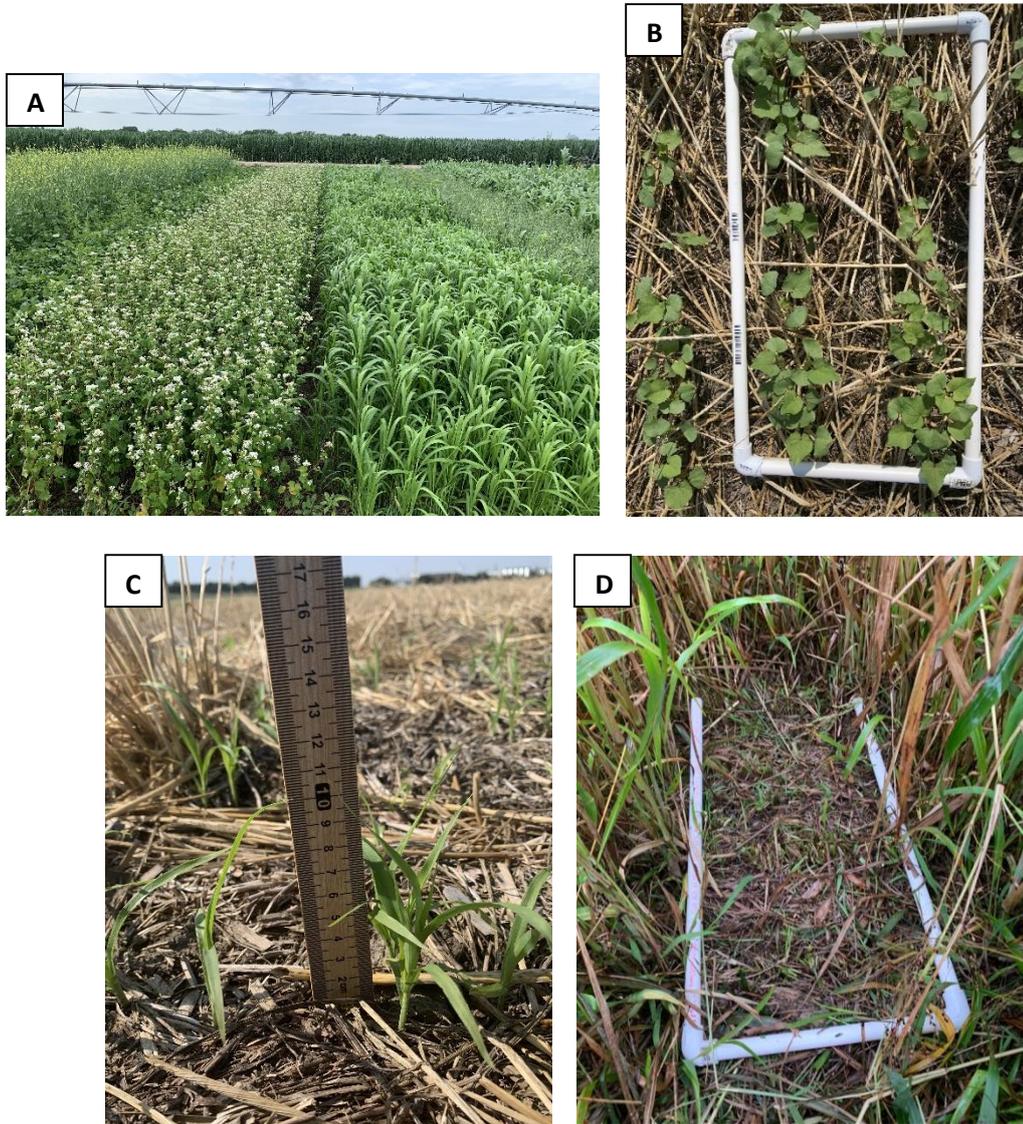


### 5.5 Avaliação do desempenho de 18 variedades de culturas de cobertura usando imagens aéreas e dados de parte aérea de plantas

Outra linha de pesquisa do grupo *Resilient Cropping Systems* é a utilização de imagens aéreas como método agrônomo não invasivo para avaliar o desempenho das culturas de cobertura. O objetivo deste estudo foi avaliar e comparar medições de parte aérea com imagens de VANTs de múltiplas espécies de culturas de cobertura de estação quente. As culturas de cobertura foram semeadas no início do mês de junho de 2023, após cultivo de trigo, em uma fazenda experimental de posse da Universidade de Nebraska denominada “*Rogers Memorial Farm*” em Lincoln. Os tratamentos consistem em 13 diferentes espécies de plantas de cobertura, que incluem gramíneas, leguminosas e brássicas, além de cinco tratamentos com mistura de espécies (Figura 8 A). Os tratamentos apresentam quatro repetições. Com isso, é utilizado o drone com câmera multiespectral, para medir NDVI e NDRE durante três momentos diferentes: duas semanas após o plantio, cinco semanas após o plantio e na amostragem final de biomassa.

As atividades desenvolvidas foram: contagem de plantas em área previamente conhecida e medição da altura de plantas, ambas avaliações aos 15 dias após semeadura (Figura 8 B e C); coleta de biomassa para estimação da produção de biomassa na quinta semana após semeadura e ao final do ciclo das culturas (Figura 8 D).

Figura 8 – Tratamentos com diferentes espécies de plantas de cobertura (A), contagem de plantas por área aos 15 dias após semeadura (B), medição de altura de plantas aos 15 dias após semeadura (C) e coleta final de biomassa (D).



## 5.6 Participação em eventos técnicos

Durante o período de estágio, foi possível participar de eventos técnicos como o dia de campo da empresa de sementes de plantas de cobertura “*Green Cover Seeds*”. Denominado “*Green Cover Soil Health*”, o evento consistiu em demonstrações de parcelas de testes de culturas de cobertura plantadas na primavera. Foram mais de 100 espécies de culturas de cobertura, plantadas em monoculturas, bem como algumas misturas amplamente utilizadas. Além disso, houve palestras e discussões sobre o assunto, onde pesquisadores da empresa demonstraram alguns resultados de pesquisa realizados na própria empresa, e ficaram abertos às perguntas dos mais de 100 agricultores presentes. Esse evento serviu como conexão entre os produtores rurais e a comunidade científica de modo geral.

## 5.7 Participação em eventos científicos

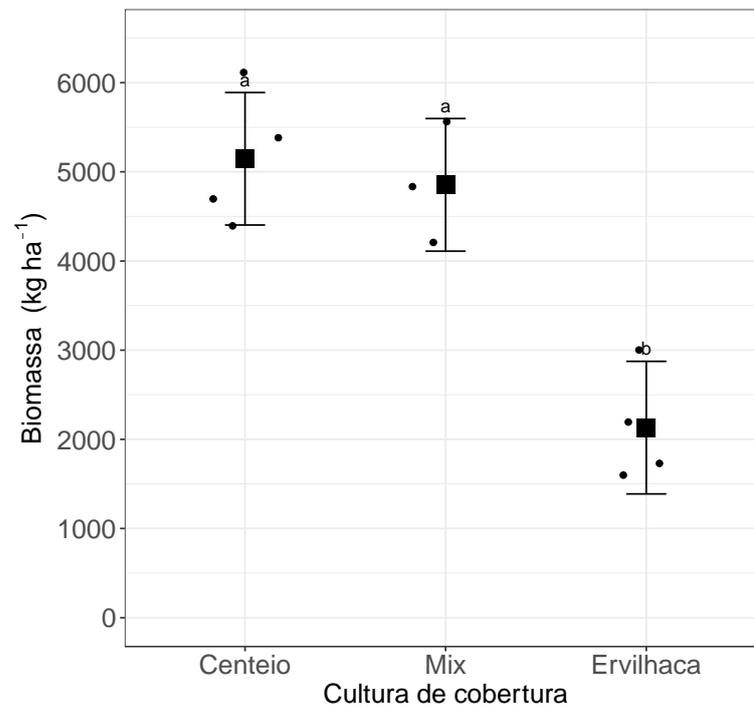
Nos dias 29, 30 e 31 de outubro e 1 de novembro ocorreu o 2023 ASA, CSSA, SSSA *International Annual Meeting*, evento organizado pela *American Society of Agronomy*, *Crop Science Society of America*, e a *Soil Science Society of America*. O evento foi realizado na cidade de St. Louis, no estado de Missouri, USA e consistiu em reuniões de redes de pesquisas, palestras, competições entre estudantes, confraternizações, além de apresentações de pôsteres por centenas de estudantes que demonstraram suas pesquisas em andamento. Na oportunidade, foi possível apresentar um trabalho desenvolvido pelo grupo, abordando o efeito de dois diferentes tempos de dessecação de centeio e ervilhaca na produtividade do milho, produção de biomassa e incidência de doenças radiculares e de caule (APÊNDICE A). O trabalho foi desenvolvido a partir do experimento sobre cultivo de milho após utilização de diferentes plantas de cobertura submetidas a diferentes épocas de dessecação (item 5.2).

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Produção de biomassa das plantas de cobertura - dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio

Os tratamentos com a presença de gramínea (centeio e mix) resultaram em mais biomassa produzida por área quando comparados com a leguminosa ervilhaca (Figura 9). Os valores nos tratamentos com centeio e mix (centeio + ervilhaca) resultaram em uma produção de biomassa entre 4,0 e 6,0 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto que no tratamento somente com ervilhaca a produção de biomassa ficou entre 1,4 e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 9).

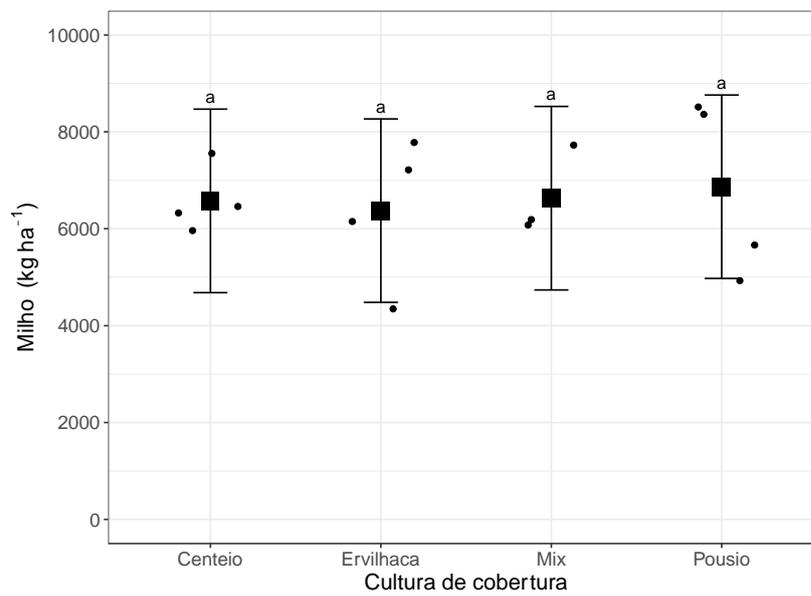
Figura 9 – Produção de biomassa das plantas de cobertura.



## 6.2 Produção de milho - dose crescente de N na cultura do milho semeado após centeio, ervilhaca, centeio + ervilhaca e pousio

A produtividade do milho submetido a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N não variou entre tratamentos com diferentes plantas de cobertura e pousio, apresentando valores entre 4200 a 8700 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10).

Figura 10 – Produção de milho cultivado sem adição de N.



## 7 DISCUSSÃO

Um grande entrave na adoção da utilização de plantas de cobertura pelos agricultores norte-americanos é a possível redução da produtividade da cultura comercial subsequente. Segundo estudos, a grande produção de biomassa assegura os benefícios à saúde do solo, mas por outro lado a competição por nutrientes e água pode reduzir o potencial produtivo da cultura comercial (NOLAND *et al.*, 2018). Essa redução da produtividade pode ser proveniente também da imobilização do N pelas gramíneas, diminuindo sua disponibilidade no solo, como foi evidenciado no primeiro ano do experimento, em que o tratamento com a presença de centeio reduziu significativamente a produtividade do milho em comparação com a ervilhaca, devido à absorção e imobilização de nitrogênio na parte aérea, tornando-o menos acessível ao milho cultivado posteriormente (ALMEIDA *et al.*, 2021). Nesse contexto, a não redução da produtividade no terceiro ano de condução do experimento demonstra o benefício a médio-longo prazo das plantas de cobertura ao sistema agrícola, uma vez que, no terceiro ano, apesar de não influenciarem na produtividade, as plantas de cobertura trazem inúmeros benefícios à saúde do solo.

Culturas de cobertura não leguminosas como o centeio tem a capacidade de reduzir a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  em até 56% (THAPA *et al.*, 2018), o que pode ser explicado pelo aumento da absorção do N residual do solo no outono que seria lixiviado do sistema. Além disso, pode aumentar o teor de matéria orgânica e a capacidade de armazenamento de água no solo num sistema soja-milho. Segundo BASCHE *et al.* (2020), a gramínea aumentou a água retida no solo em 10-11%, bem como aumentou a água disponível para as culturas em 21-22%, sugerindo que a utilização em longo prazo de uma cultura de cobertura de centeio no inverno pode melhorar a dinâmica da água no solo. As leguminosas por sua vez, como é o caso da ervilhaca, fixam biologicamente o Nitrogênio atmosférico, promovendo maior disponibilidade do nutriente para a cultura subsequente, reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados (ENRICO *et al.*, 2020).

Os propósitos da utilização de plantas de cobertura nos EUA são semelhantes aos do Brasil, onde se tem o intuito de ciclar nutrientes, diminuir erosão, aumentar o carbono no solo, diminuir a incidência de pragas, patógenos e plantas daninhas e aumentar a infiltração de água no solo. As diferenças estão no manejo cultural, no aporte tecnológico e nos fatores climáticos. Nos EUA são comuns períodos de baixas temperaturas durante cinco a seis meses, o que reduz o período de crescimento vegetal. Assim, a baixa adoção das plantas de cobertura é justificada também pela baixa resposta em produção de biomassa até o período da semeadura da cultura

de verão. Na tentativa de reverter este cenário mais incentivos são dados para a produção de plantas de cobertura, desde a produção de sementes (MARTINS *et al.*, 2021) até a venda de créditos de carbono (SELLARS *et al.*, 2021), o que impulsiona a adoção desta prática devido ao atrativo econômico. Por outro lado, no Brasil o incentivo para utilização de plantas de cobertura se dá através da comercialização dos grãos, como aveia ou trigo, ou para produção de forragem com intuito de pastejo. Tais fatos desencadeiam reflexões referentes à degradação dos solos brasileiros, visto que a soja, que ocupa significativa área no Brasil, quando conduzida em monocultivo resulta em balanço negativo de carbono no solo devido ao baixo aporte de biomassa, podendo levar à degradação do mesmo ao longo dos anos (ANGHINONI *et al.*, 2021).

Em resumo, a inclusão de práticas conservacionistas como a adoção de plantas de cobertura fornece diversos serviços ecossistêmicos, incluindo a redução das impedâncias do solo, a redução do escoamento superficial de água, o aumento dos sequestros de carbono, a maior absorção de nutrientes, o controle da erosão hídrica e eólica (BLANCO-CANQUI, 2012), e favorece polinizadores e outros insetos benéficos ao sistema (PULLARO *et al.*, 2006). Desta forma, apesar de não promover o aumento instantâneo da produtividade, a utilização de plantas de cobertura caracteriza-se como uma prática imprescindível nos sistemas agrícolas atuais, a fim de manter a longevidade dos sistemas produtivos, diminuir o uso de insumos sintéticos e preservar os recursos naturais promovendo assim uma maior sustentabilidade da agricultura em larga escala.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A realização do estágio junto a University of Nebraska – Lincoln, possibilitou a expansão do conhecimento referente à área da pesquisa científica, além dos conhecimentos específicos na área de manejo e conservação do solo. Acompanhar profissionais diariamente em diferentes estudos e metodologias consolidou a importância das práticas conservacionistas de manejo do solo nos sistemas agrícolas, e assim foi possível associá-las com a teoria obtida durante o curso. Ficou evidente que tais práticas, se bem conduzidas, trazem inúmeros benefícios aos sistemas produtivos e ao ambiente.

A oportunidade de estagiar em um país de língua estrangeira proporciona uma experiência enriquecedora no âmbito social e cultural, além de ampliar as possibilidades no mercado de trabalho a partir das habilidades de comunicação e domínio de outro idioma. O contato e troca de ideias com agricultores, pesquisadores norte-americanos e estrangeiros de todas as partes do mundo agregam conhecimentos que serão levados para a vida profissional. Ademais, a troca de saberes que ocorre quando se realiza um intercâmbio torna-se de grande importância tendo em vista o crescimento pessoal, fomentando as habilidades de comunicação efetiva, trabalho em equipe, tomada de decisões e resolução de problemas.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. *et al.* A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 25, n. 8, p. 2530-2543, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.14644>. Acesso em: 21 set. 2023.
- ALLETTO, L. Cover crops maintain or improve agronomic performances of maize monoculture during the transition period from conventional to no-tillage. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 283, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429022001113>. Acesso em: 3 nov. 2023.
- ALMEIDA, T. *et al.* Carbon and Nitrogen Release from Cereal Rye and Hairy Vetch Decomposition. In: A CREATIVE ECONOMY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Salt Lake City. Proceedings**. ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting, 2021. Disponível em: <https://scisoc.confex.com/scisoc/2021am/prelim.cgi/Paper/134462>. Acesso em 20 out. 2023.
- ANGHINONI, G. *et al.* Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 108, p. 105591, 1 set. 2021.
- BASCHE, D. *et al.* Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 172, p. 40-50, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377416301214#:~:text=A%20winter%20rye%20cover%20crop%20increased%20soil%20water%20storage%20over,a%20winter%20rye%20cover%20crop>. Acesso em: 15 set. 2023.
- BENDER, S. *et al.* An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 31, n. 6, p. 440-452, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534716000616>. Acesso em: 25 out. 2023.
- BHOGAL, A. *et al.* Organic carbon additions: effects on soil bio-physical and physico-chemical properties. **European Journal of Soil Science**, Hoboken, v. 60, n. 2, p. 276-286, 2009.
- BLANCO-CANQUI, H. Summer Cover Crops Fix Nitrogen, Increase Crop Yield, and Improve Soil–Crop Relationships. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 137-147, 2012. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2011.0240>. Acesso em: 25 out. 2023.
- BURKART, M.; JAMES, D. Agricultural-Nitrogen Contributions to Hypoxia in the Gulf of Mexico. **Journal of Environmental Quality**. Hoboken, v. 28, n. 3, p. 850-859, 1999. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1999.00472425002800030016x>. Acesso em: 18 out. 2023.
- CARNEGIE CLASSIFICATION. **Carnegie Classification of Institutions of Higher Education**. 2022. Disponível em: <https://carnegieclassifications.acenet.edu/>. Acesso em: 5 out. 2023.

CHAHAL, I. Long-term effects of crop rotation, tillage, and fertilizer nitrogen on soil health indicators and crop productivity in a temperate climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 213, p.105121, set. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719872100194X>. Acesso em: 15 nov.2023

CHINTA, Y. *et al.* Availability of nitrogen supply from cover crops during residual decomposition by soil microorganisms and its utilization by lettuce. **Scientia Horticulturae**. Amsterdam, v. 270, p. 109415, 25 ago. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820302430>. Acesso em: 15 out. 2023.

DINNES, D.L. *et al.* Nitrogen Management Strategies to Reduce Nitrate Leaching in Tile-Drained Midwestern Soils. **Agronomy Journal**. Hoboken, v. 94, n. 1, p. 153-171, 2002. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2002.1530>. Acesso em: 15 out.2023.

DUNN, M. *et al.* Perceptions and use of cover crops among early adopters: Findings from a national survey. **Journal of Soil and Water Conservation** v. 71, p.29–40, 2016. Disponível em: <https://www.jswnonline.org/content/71/1/29>. Acesso em: 18 nov. 2023.

ELDER, J. Soils of Nebraska. Lincoln: University of Nebraska, **Conservation and Survey Division**, 1 maio 1969. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/conservationsurvey/444>. Acesso em: 26 nov. 2023.

ENRICO, J. *et al.* Biological nitrogen fixation in field pea and vetch: Response to inoculation and residual effect on maize in the Pampean region. **European Journal of Agronomy**. Amsterdam, v. 115, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030120300241#bib0020>. Acesso em: 27 set. 2023.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 29 out. 2023.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 30 out. 2023.

GARBA, I. *et al.* Modelling the impacts of diverse cover crops on soil water and nitrogen and cash crop yields in a sub-tropical dryland. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 301, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429023002125>. Acesso em: 30 out. 2023.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I. *et al.* **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 102, p. 10-18, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139316300403>. Acesso em: 19 out. 2023.

GEOGRAPHY. Nebraska. **Geography**, 2018. Disponível em: <https://geography.name/nebraska/>. Acesso em: 1 out. 2023.

GLOBAL DATA LAB. **Sub-national Human Development Index**. 2019. Disponível em: <https://globaldatalab.org/shdi/shdi/>. Acesso em: 4 nov. 2023.

GRASSINI, P. *et al.* How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. **Field Crops Research**. Amsterdam, v. 177, p. 49–63, jun. 2015.

HATI, K. M. *et al.* Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Amsterdam, v. 119, 127-134, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906002684>. Acesso em: 22 out. 2023.

HUDSON, B. D. Soil organic matter and water holding capacity. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 49, p. 189-194, 1994. Disponível em: <https://www.jswnonline.org/content/49/2/189>. Acesso em: 11 out. 2023.

KASPAR, T.C. *et al.* The Use of Cover Crops to Manage Soil. Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. Madison: **American Society of Agronomy and Soil Science Society of America**, 2011.

KRUPEK, F. Ecological intensification with soil health practices demonstrates positive impacts on multiple soil properties: A large-scale farmer-led experiment. **Geoderma**. Amsterdam, v. 409, 2022. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2505&context=agronomyfacpub>. Acesso em: 3 out. 2023.

LACEY, C. *et al.* The efficacy of winter cover crops to stabilize soil inorganic nitrogen after fall-applied anhydrous ammonia. **Journal of Environmental Quality**. Hoboken, v. 44, n. 2, p. 442-448, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26023963/>. Acesso em: 5 out. 2023.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**. Pensilvânia, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1097396>. Acesso em: 17 out. 2023.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 6, p. 329-339, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.70.6.329>. Disponível em: <https://www.jswnonline.org/content/70/6/329>. Acesso em: 17 out. 2023.

LANDRISCINI, M. *et al.* Nitrogen balance in a plant-soil system under different cover crop-soybean cropping in Argentina. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 133, p. 124-131, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139318304591>. Acesso em: 4 out. 2023.

MARCILLO, G. S. *et al.* Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 3, p. 226–239, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.72.3.226>. Disponível em: <https://www.jswnonline.org/content/72/3/226>. Acesso em: 2 nov. 2023.

MARTINS, L. B. *et al.* Understanding the market for cover crop seeds in the United States: Background and potential policy directions. **Journal of Soil and Water Conservation**. Iowa, v. 76, n. 5, p. 83A-88A, 2021.

NEBRASKA. **Nebraska State Historical Society - Nebraska State Facts**. 2022a. Disponível em: <https://history.nebraska.gov/nebraska-state-facts>. Acesso em: 10 nov. 2023.

NEBRASKA. **Corn Board - Golden Triangle Program**. 2022b. Disponível em: <https://nebraskacorn.gov/cornstalk/animals/golden-triangle/>. Acesso em: 10 de nov. 2023.

NEBRASKA. **Nebraska Department of Agriculture – Nebraska Agriculture**. 2023. Disponível em: [https://nda.nebraska.gov/publications/ne\\_ag\\_facts\\_brochure.pdf](https://nda.nebraska.gov/publications/ne_ag_facts_brochure.pdf). Acesso em: 4 out. 2023.

NOLAND, R. L. *et al.* Establishment and Function of Cover Crops interseeded into corn. **Crop Science**. Hoboken, v. 58, n. 2, p. 863-873, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0375>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2018.03.0107>. Acesso em: 21 set. 2023.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. United States. **OECD Data**, 2019. Disponível em: <https://data.oecd.org/united-states.htm>. Acesso em: 14 out. 2023.

PULLARO, T. C. *et al.* Effects of killed cover crop mulch on weeds, weed seeds, and herbivores. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Amsterdam, v. 115, n. 1-4, p. 97-104, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880905005694>. Acesso em: 15 out. 2023.

RUFFO, M. L. *et al.* Modeling rye and hairy vetch residue decomposition as a function of degree-days and decomposition-days. **Agronomy Journal**. Hoboken, v. 95, n. 4, p. 900-907, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2003.9000>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj2003.9000>. Acesso em: 30 out. 2023.

SCHULTZ, C.; STOUT, T. Ancient Soils and Climatic Changes in the Central Great Plains. **Transactions of the Nebraska Academy of Sciences and Affiliated Societies**. Lincoln, 1 Jan. 1980.

SCHUTTE, R. Profitability of erosion control with cover crops in European vineyards under consideration of environmental costs. **Environmental Development**. Amsterdam, v. 35, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211464520300403>. Acesso em 19 set. 2023.

SELLARS, S. *et al.* What Questions Should Farmers Ask about Selling Carbon Credits? **Farmdoc Daily**. Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, v. 11, n. 59, 13 abr. 2021.

STEWART, B. A. *et al.* Managing Green Water in Dryland Agriculture. **Agronomy Journal**. Hoboken, v. 107, n. 4, 2015. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj14.0038>. Acesso em: 17 out. 2023.

THAPA, R. *et al.* Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. **Journal of Environmental Quality**, v. 47, n. 6, p. 1400-1411. 2018. DOI: [https://doi.org/10.2134/jeq\(2018\).03.0107](https://doi.org/10.2134/jeq(2018).03.0107). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30512067/>. Acesso em: 22 out. 2023.

USDA-NRCS Soils. **Natural Resources Conservation Service**, 2021. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soil>. Acesso em: 5 out. 2023.

UNITED STATES CENSUS. QuickFacts Nebraska; Iowa. **Census**, Washington, DC, 2022. Disponível em: <https://www.census.gov/quickfacts/fact/table/NE,IA/PST045222>. Acesso em: 25 out. 2023.

UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN. History. **University of Nebraska – Lincoln**, Lincoln, 2023a. Disponível em: <https://www.unl.edu/about/history/>. Acesso em: 12 set. 2023.

UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN. Role, Mission and Values. **University of Nebraska – Lincoln**, Lincoln, 2023b. Disponível em: <https://www.unl.edu/about/role-mission/>. Acesso: 12 set. 2023.

WOJCIECHOWSKI, A. *et al.* Effects of cover crops on maize establishment, root mycorrhizal colonization, plant growth and grain yield depend on their botanical family: A global meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Amsterdam, v. 356, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880923003079>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ZHU, Y.; FOX, R. H. Corn-Soybean Rotation Effects on Nitrate Leaching. **Agronomy Journal**. Hoboken, v. 95, n.4, p. 1028-1033, 2003. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronj2003.1028>. Acesso em: 1 nov. 2023.

# APÊNDICE A – Pôster apresentado na 2023 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting.

## Effect of cover crop species and termination timing on corn seedling disease and yield

Tauana Almeida, Matheus Menegat, Emily Robinson, Rashelle Matthiesen-Anderson, Alison Robertson and Andrea Basche



### Background

- Cover crops have numerous soil and water benefits when grown in sequence with annual crops, including reduced soil erosion, and improved water quality (Kaspar et al. 2001; Malone et al. 2014).
- Management decisions impact outcomes beginning with species selection: i) cereal rye increases soil water infiltration, and organic matter, as well as reduces nitrate leaching via soil nitrogen (N) scavenging (Basche et al. 2016; Thapa et al. 2018); ii) hairy vetch biologically fixes atmospheric N, increasing the availability of N to the subsequent crop (Enrico et al. 2020; Pott et al. 2021).
- In corn-soy rotations in regions with relatively longer winters, the cover crop growing season is constrained which is why some farmers are continuing to experiment with "planting green" - when termination of the cover crop is delayed until cash crop planting or up to a few days after planting.
- Late termination of cover crops (CC) allows more biomass to be produced, which may improve subsequent benefits but may also lead to greater seedling disease.

### Objective

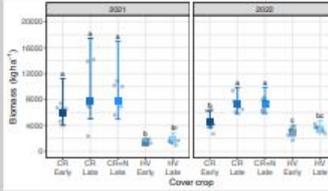
- Investigate the impact of planting green cereal rye and hairy vetch on i) corn seedling disease and ii) corn yield. This study is the first, to our knowledge, to address the impact of both species, cereal rye and hairy vetch, at two termination times on corn seedling disease and ultimately corn yield.

### Methods

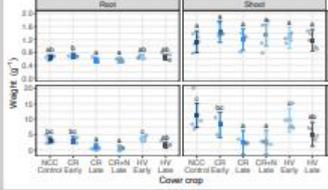
- A 2-year (2020-2021 and 2021-2022) field experiment was conducted at the Eastern Nebraska Research, Extension, and Education Center, Mead, NE.
- Cover crop termination times ranged from 10 days before corn planting (early termination) to 11 days after corn planting (late termination).
- RCBD, treatments: i) hairy vetch terminated early (HV-TE); ii) hairy vetch terminated late (HV-TL); iii) cereal rye terminated early (CR-TE); iv) cereal rye terminated late (CR-TL); v) cereal rye terminated late + N rate (CR-TL+N); vi) no cover crop (NCC).
- 168 kg N ha<sup>-1</sup> -> CR-TL+N; 112 kg N ha<sup>-1</sup> -> all other treatments.
- Cover crop aboveground biomass was sampled right before CC termination.
- At the V3 corn stage, 10 corn seedlings were sampled from each plot, five seedlings from row 5 and five seedlings from row 12. The root and shoot of the seedlings were weighted separately. Root rot severity was determined.
- Corn yield data was collected from the entire middle three rows of each plot, and corn yields were calculated by adjusting grain moisture concentration to 0.155 g kg<sup>-1</sup>.



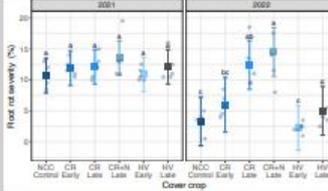
## Results



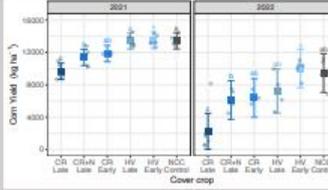
- Hairy vetch biomass production was not affected by termination time.
- Cereal rye biomass production was affected by termination time only in 2022.
- In both years, the late termination of CR produced higher biomass than both HV treatments.
- CR-TE produced higher biomass than both HV treatments in 2021 and was not different from HV-TL in 2022.



- Corn shoot dry weight was affected by cover crop treatment only in 2022, in which all treatments terminated late had corn shoot dry weights lower than NCC and HV-TE (p < 0.001).
- Corn root dry weight was affected by cover crop treatments in both years.
- The late termination of cover crops decreased the corn root dry weight.



- Root rot was observed in both 2021 and 2022, however, a difference among the treatments was only detected in 2022.
- In 2021, the average root rot severity was 12% across all treatments.
- In 2022, an average root rot severity of 13% was observed in the CR-TL and CR-TL+N, the average root rot severity observed in all other treatments was 4%.

- Terminating cereal rye late reduced corn yield in both 2021 and 2022, compared to NCC and early termination.
- In 2021, corn yield was reduced by 15.3% and 28.1% in the CR-TL+N and CR-TL treatments, respectively, compared to the NCC.
- In 2022, a reduction of 36.3% and 76.1% in corn yield following CR-TL+N and CR-TL, respectively, was observed.
- Hairy vetch treatments did not impact corn grain yield in both years.

### Conclusion

- Late termination of cereal rye had a negative impact on corn, increasing seedling disease, and ultimately reducing corn yield.
- However, additional N applied at V4, in the late-terminated cereal rye plots did offset some of the yield declines compared to NCC.
- This study demonstrated that hairy vetch is a viable cover crop option ahead of corn.

