

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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Gustavo Pesini

00308303

**Centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação no leste de Nebraska-
Estados Unidos: decomposição de biomassa, liberação de nitrogênio e rendimento
de milho**

PORTO ALEGRE, JUNHO DE 2023

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

**Centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação no leste de Nebraska-
Estados Unidos: decomposição de biomassa, liberação de nitrogênio e rendimento
de milho**

Gustavo Pesini
00308303

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 (Coordenador)

Prof. Alexandre de Mello Kessler – Depto Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli – Depto Fitossanidade

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

Prof. Clesio Gianello – Depto de Solos

Prof. Pedro Selbach – Depto de Solos

Prof. Aldo Merotto – Depto de Plantas de Lavoura

Prof. Roberto Luis Weiler – Depto de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

PORTO ALEGRE, JUNHO DE 2023

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Juleide, ao meu pai Domingos e aos meus irmãos Felipe e Gabriel por estarem sempre ao meu lado, me apoiarem moral e financeiramente e me ensinarem os verdadeiros valores da vida. A determinação de vocês é a motivação para o alcance dos meus objetivos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Faculdade de Agronomia que comprovam diariamente a excelência da pesquisa e do ensino público brasileiro.

À *University of Nebraska - Lincoln* e ao grupo *Resilient Cropping Systems* pela recepção durante o período de estágio, troca cultural e aprendizado durante os 7 meses de trabalho.

À Évini Gabrielli Vicari pelo convívio, companheirismo e apoio nas decisões da vida. Obrigado por estar ao meu lado e tornar meus dias melhores.

Ao Dr. Tales Tiecher pela confiança depositada na minha pessoa e dedicação nas ricas orientações durante os cinco anos de faculdade. É uma satisfação trabalhar contigo.

Ao João Vinícius Chiesa Back que me incentivou a ingressar na UFRGS e esteve sempre ao meu lado. Obrigado, compadre dos pampas.

À professora Andrea e às colegas Tauana, Roberta, Fernanda e Grace pelo aprendizado, troca de conhecimento e desenvolvimento pessoal durante o período de estágio.

Aos alunos orientados do professor Dr. Tales Tiecher, que desde o segundo semestre da faculdade me acolheram e proporcionaram vivências pessoais, técnicas e científicas extraordinárias.

Aos colegas de faculdade pela amizade, bons momentos vividos, tarefas realizadas, mates e risadas.

A nós brasileiros pela contribuição diária para o funcionamento da Universidade pública com alta qualidade e impacto.

À Bernardete e Elo João pelo apoio, suporte e bons conselhos durante a vida, em especial nos 5 anos de graduação.

Aos amigos que estavam nos Estados Unidos em 2022 pelo acolhimento. Fizeram o tão distante parecer tão próximo.

RESUMO

O estágio obrigatório supervisionado foi desenvolvido na *University of Nebraska – Lincoln*, localizada no estado homônimo, nos Estados Unidos da América, no período de abril a novembro de 2022. Destaca-se um dos projetos desenvolvidos que objetivou avaliar o efeito do uso do centeio e ervilhaca com dois períodos distintos de dessecação (17 dias antes e 11 dias após a semeadura do milho) na produção e decomposição de biomassa, na liberação de nitrogênio e no rendimento do milho. A dessecação tardia das plantas de cobertura promove um maior aporte de biomassa no solo. O uso de centeio dessecado tardiamente imobiliza grande parte do nitrogênio devido a alta relação C:N. A ervilhaca por sua vez libera a maior parte do N absorvido mantendo altos rendimentos de milho. O uso de leguminosas e do centeio dessecado em pré-semeadura do milho mostrou-se uma ferramenta importante na ciclagem de N e na manutenção benéfica do rendimento de milho.

Palavras-chave: nitrogênio, decomposição, plantas de cobertura

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Efeitos da época de dessecação das plantas de cobertura.....	9
Tabela 2. Relação C:N das plantas de cobertura de inverno no momento da dessecação e ajustes dos parâmetros do modelo para estimativa de N remanescente.	22

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Delineamento experimental instalado em 2021 em Nebraska, EUA. * representa os tratamentos utilizados para avaliação do rendimento do milho, decomposição de biomassa e liberação de N..... 10
- Figura 2.** Coleta de biomassa das plantas de cobertura (A) para avaliação de rendimento e disposição dos *litter bags* no campo (B) para simular a decomposição de biomassa. 13
- Figura 3.** Coleta de solo em um dos tratamentos antes da semeadura do milho para avaliação de N residual..... 15
- Figura 4.** Instalação dos sensores de umidade e temperatura do solo e deposição dos *litterbags* logo após a semeadura do milho em uma fazenda em Nebraska, Estados Unidos da América. 16
- Figura 5.** Diferença entre tratamentos com diferentes densidades de semeadura de kernza (A), tratamento com consórcio de kernza com alfafa (B) e tratamento com cultivo de soja ao lado das parcelas cultivadas com kernza (C)..... 17
- Figura 6.** Precipitação (A) e temperatura (B) nos meses de janeiro de 2021 a novembro de 2022, com as respectivas normais climatológicas, em Mead, Nebraska, Estados Unidos da América. Fonte: National Weather Service..... 19
- Figura 7.** Rendimento de biomassa das plantas de cobertura (A) e grãos de milho (B) após uso de centeio e ervilhaca com dessecação antecipada e tardia. E-DA: ervilhaca com dessecação antecipada; E-DT: ervilhaca com dessecação tardia; C-DA: centeio com dessecação antecipada; C-DT: centeio com dessecação tardia; Test.: testemunha sem planta de cobertura. 20
- Figura 8.** Massa seca (A e B) e nitrogênio remanescente (C e D) de centeio e ervilhaca com dessecação antecipada (A e C) e tardia (B e D)..... 21
- Figura 9.** Absorção total de nitrogênio durante o desenvolvimento das plantas de cobertura e liberação do N através da decomposição da biomassa durante o cultivo do milho..... 22

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE NEBRASKA	9
3.	CARACTERIZAÇÃO DA UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN	10
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1.	Sistema de produção de milho em Nebraska e problemas com a perda de N	12
4.2.	Plantas de cobertura como ferramenta de conservação do solo e sustentabilidade	13
4.3.	Época de dessecação das plantas de cobertura	15
5.	ATIVIDADES REALIZADAS	16
5.1.	Condução do experimento a campo – Centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação	16
5.1.1	Atividades a campo e avaliações realizadas no experimento completo	18
5.1.2	Atividades a campo e avaliações realizadas no experimento para decomposição de biomassa e liberação de N	19
5.2.	Condução de experimento a campo – dose ideal de N para o milho semeado após centeio, ervilhaca e centeio + ervilhaca	20
5.3.	Condução de experimento a campo – Disponibilidade de água no solo, decomposição de biomassa e liberação de N para o milho em duas fazendas do estado de Nebraska	22
5.4	Condução de experimento a campo – uso de NPK e interação entre genótipo, ambiente e manejo no cultivo de kernza no estado de Nebraska .	23
5.5.	Participação em eventos	25
5.5.1	Participação em eventos técnicos	25
5.5.2	Participação em eventos científicos	25
6.	RESULTADOS	26
6.1.	Condições climáticas, produção de biomassa e rendimento do milho após o uso de centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação.....	26
6.2.	Decomposição da biomassa e liberação de nitrogênio	27
7.	DISCUSSÃO	29
7.1	Relação entre espécies e épocas de dessecação de plantas de cobertura na decomposição da biomassa e liberação de N	29
7.2.	Relações entre o uso de plantas de cobertura e o cultivo de grãos nos estados unidos e no brasil	31
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	APÊNDICES	34
	ANEXOS	39

1. INTRODUÇÃO

O estado de Nebraska é o terceiro maior produtor de milho dos Estados Unidos da América (USA). Isso se deve às condições ideais de produção associada à alta tecnologia incrementada ao sistema, que favorece a região ter as maiores produtividades de milho do mundo (GRASSINI et al., 2015). Para atender esse objetivo, doses substanciais de nitrogênio (N) são aplicadas para suprir a demanda da cultura do milho. O uso de elevada quantidade de N torna Nebraska um dos maiores contribuintes da liberação de nitrato do rio Mississippi para o Golfo do México, desenvolvendo a Zona Morta do Golfo do México que é um grande problema ambiental (DAVID; DRINKWATER; MCISAAC, 2010).

Uma das práticas que auxiliam a mitigar esse problema é o incremento de plantas de cobertura no inverno que ciclam parte do N do solo. Esse N absorvido no inverno é liberado durante a decomposição da biomassa, podendo ser absorvido pela cultura antecessora no verão (LACEY et al., 2020). Dentre as espécies de plantas de cobertura, as leguminosas como a ervilhaca (*Vicia sativa*. L) possuem relação C:N menor em sua composição comparado a gramíneas como o centeio (*Secale cereale* L.), e isso influenciará na quantidade de liberação de N ao longo do tempo (LAWSON et al., 2013). Além disso, a época de dessecação das plantas de cobertura afeta a quantidade de biomassa aportada no sistema bem como na taxa de liberação de N (VAUGHAN; EVANYLO, 1998). Portanto, estudos que avaliam a decomposição de diferentes espécies de plantas de cobertura dessecadas em diferentes períodos são fundamentais para avaliar a capacidade das plantas em ciclar N.

O estágio curricular obrigatório foi realizado na *University of Nebraska – Lincoln*, localizada no município de Lincoln, no estado de Nebraska, USA. O período de duração foi de 7 meses, iniciado em abril de 2022 e finalizado em novembro de 2022, totalizando 1240 horas. Esse teve como objetivo geral acompanhar atividades a campo e de laboratório que compreenderam desde a instalação de experimentos no campo, coleta e avaliação de resultados. O objetivo específico foi avaliar o efeito da época de dessecação de plantas de cobertura na produção e decomposição de biomassa, na liberação de N do resíduo dessas plantas e a produtividade do milho.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE NEBRASKA

Nebraska é um dos estados constituintes dos Estados Unidos da América, que foi admitido na união como o 37º estado em 1º de março de 1867. Está localizado no centro do país, fazendo divisa com os estados do Colorado, Kansas, Missouri, Iowa, Dakota do Sul e Wyoming. Possui IDH de 0,925 ocupando a 14ª posição entre os 50 estados dos Estados Unidos (GLOBAL DATA LAB, 2022). O estado possui cerca de 1.970.000 habitantes (UNITED STATES CENSUS, 2022), no qual a cidade de Lincoln é a capital. O produto interno bruto do estado é de U\$122.7 bilhões, ocupando a 21ª posição no ranking do país. As maiores cadeias industriais em receita são do milho, trigo, soja e carnes, que somadas movimentam U\$36 bilhões (IBIS WORLD, 2023). O agronegócio é vital à economia do estado, ocupando grande parte dos empregos que estão relacionados diretamente ao trabalho nas propriedades agrícolas, além dos indiretos, como nas vendas e reparos de equipamentos, tecnologia, irrigação e transporte. O assentamento das fronteiras do estado emergiu com a migração conhecida como “marcha” para norte e oeste, além do interesse pela mineração nas regiões montanhosas e do Pacífico durante a primeira metade do século XIX (NEBRASKA, 2022b). Uma das principais extensões foi em regiões do Rio Missouri, que possuíam solos férteis, tornando o estado de Nebraska, desde a constituição, um grande produtor agrícola.

A geologia de alicerce dos solos do estado é formada por calcários, xistos, carbonatos e arenito. Grande parte é coberto por sedimentos não consolidados depositados por geleiras, água e vento, apesar de alguns lugares possuírem o leito rochoso exposto resultando em solos rasos (USDA-NRCS, 2021). A principal feição de relevo é a Planície do Rio Missouri, caracterizada por terrenos planos a suavemente ondulados. Possui também, regiões com terrenos íngremes, dunas e colinas, como as *Loess Hills* e *Sand Hills*, que são regiões formadas por depósitos eólicos (SCHULTZ; STOUT, 1980). O estado está inserido na região das Grandes Planícies, no qual uma das principais características são as pradarias, vegetação recoberta em seu estado natural principalmente por gramíneas. Isso interligado ao ecossistema, resulta em solos com horizontes superficiais espessos e de cor escura, como os *Mollisols*, que é uma das principais ordens de solos do estado (ELDER, 1969). No sistema Brasileiro de Classificação de Solos, esse correspondente aos Chernossolos (EMBRAPA, 2018). Devido a alta fertilidade dos *Mollisols* e possibilidade de mecanização, os ambientes que eram recobertos por

gramíneas, foram abruptamente substituídos pela produção de grãos, como milho e soja. Outra grande ordem de solos no estado são os *Entisols*, que ocorrem em várias regiões como depósitos jovens em planícies de inundação (USDA-NRCS, 2021). São solos muito arenosos, ocorrem em colinas e encostas íngremes onde altas taxas de erosão impedem o seu desenvolvimento. Os *Entisols* correspondem aos Neossolos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Devido à rápida recarga do aquífero Ogallala em Nebraska, é viável utilizar a irrigação por meio de poços bombeados, sem causar uma queda brusca nos níveis de água (MCGUIRE, 2017). O uso dessa tecnologia associada as boas condições climáticas para a produção de milho, torna Nebraska o terceiro maior produtor de milho dos EUA. Com a alta produção de grãos, há um fortalecimento para a produção de carnes e etanol. Esses três pilares da produção, conhecido como Triângulo Dourado, favorecem a prosperidade econômica do estado devido a agregação de valor na matéria prima (NEBRASKA, 2022a). Isso destaca o estado como maior produtor e exportador de carne bovina e sexto maior produtor de carne suína dos Estados Unidos (NEBRASKA, 2023).

3. CARACTERIZAÇÃO DA *UNIVERSITY OF NEBRASKA* - LINCOLN

A *University of Nebraska-Lincoln* (UNL) é uma universidade pública de pesquisa, ensino e extensão fundada em 1869 pela Legislatura de Nebraska como parte da Lei Morrill de 1862. Está organizada nas faculdades de Ciências Agrárias e Recursos Naturais, Arquitetura, Artes e Ciências, Negócios, Educação e Ciências Humanas, Engenharia, Belas Artes e Artes Cênicas, Jornalismo, Comunicação e Direito. Entre aproximadamente 300.000 ex-alunos de Nebraska estão três ganhadores do Prêmio Nobel, quatro vencedores do Prêmio Pulitzer, um vencedor do Prêmio Turing e vinte e dois bolsistas Rhodes. A UNL possui classificação de pesquisa "muito alta" com base na Classificação Carnegie (CARNEGIE CLASSIFICATION, 2022).

Vinculado a UNL, o *Institute of Agriculture and Natural Resources* (IANR) realiza atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à produção agrícola, alimentos, água e recursos naturais. Foi criado em 1973 por pressão dos produtores rurais de Nebraska que protestaram devido ao baixo apoio financeiro no desenvolvimento agrícola, que tinha grande importância social e econômica no estado. A inovação desenvolvida pelo IANR é uma ferramenta fundamental na produção de alimentos, gestão ambiental e desenvolvimento de negócios no estado de Nebraska. Associado ao IANR, a

Agricultural Research Division (ARD) é a única entidade pública do estado que realiza pesquisas agrícolas. Atualmente, cerca de 300 projetos de pesquisa estão sendo desenvolvidos por pesquisadores em todo o estado. Esses pesquisadores também podem ocupar cargos de ensino e/ou extensão, atuando como professores e/ou extensionistas. As novas tecnologias, portanto, passam rapidamente do campo ou laboratório à sala de aula e por todo o estado, especialmente aos produtores rurais. O *College of Agricultural Sciences and Natural Resources* da UNL oferece mais de 30 programas de graduação relacionados com a produção agrícola, energia, água e ciências sociais. Nesse sentido, os alunos são preparados para carreiras de desenvolvimento de sistemas de alimentação, tecnologia, combustível, gestão da água e educação.

A UNL é uma das mais de 100 faculdades e universidades dos Estados Unidos que realizam atividades de extensão, além de ensino e pesquisa. Diferentemente do Brasil, onde existem entidades públicas específicas e direcionadas para a extensão rural, como a EMATER-RS no Rio Grande do Sul, nos EUA são as universidades que prestam os serviços de extensão rural. Por meio da extensão, as universidades trazem informações práticas e vitais aos produtores agrícolas, proprietários, pequenas empresas, consumidores, famílias e jovens. Esse segmento é financiado por instituições privadas como grupos de produtores e empresas, além dos investimentos de órgãos públicos, como o *United States Department of Agriculture (USDA)*.

Para o desenvolvimento de pesquisas agrícolas, a UNL possui diversas estações experimentais espalhadas pelo estado com o intuito de desenvolver trabalhos que abrangem todas as configurações climáticas, econômicas e morfológicas do estado. Um exemplo é o *Eastern Nebraska Research, Extension and Education Center (ENREEC)* localizado na cidade de Mead – NE a 70 km de Lincoln. O local consiste em aproximadamente quatro mil hectares, no qual cerca de metade da área cultivada é irrigada, o que representa um cenário típico do estado. O tamanho e a diversidade produtiva, como produção pecuária, forrageira e de grãos, oferecem várias oportunidades de pesquisa e ensino. Há vários trabalhos experimentais coordenados por estudantes de mestrado e doutorado na ENREEC. O desenvolvimento de experimentos, dias de campo e aulas práticas dessa estação tem um modelo de funcionamento semelhante ao da Estação Experimental Agronômica da UFRGS.

Um dos grupos de pesquisa vinculados ao IANR é o “*Resilient Cropping Systems Lab*”, coordenado pela professora Dra. Andrea Basche. Durante o período de abril a novembro de 2022, o grupo contou com um aluno de pós-doutorado, duas alunas de

doutorado, três alunas de mestrado e um aluno estagiário, além de um técnico responsável pelas atividades de campo. As áreas de pesquisa estavam relacionadas 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.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Sistema de produção de milho em Nebraska e problemas com a perda de N

Os Estados Unidos é o maior produtor de milho do mundo, gerando cerca de 360 milhões de toneladas do grão (FAO, 2020), o que representa 33% da produção mundial. Os estados que fazem parte do “Cinturão do Milho” (*Corn belt*) – Nebraska, Kansas, Missouri, Indiana, Ohio, Illinois, Iowa, Minnesota e Dakota do Sul – somam 80 – 90% da produção total do país, no qual Nebraska ocupa a terceira posição no ranking de produção nos EUA, produzindo 47 milhões de toneladas por ano.

As condições ambientais como fertilidade do solo, temperatura, insolação e disponibilidade de água associadas ao melhoramento genético e ao manejo do sistema produtivo, favorecem a região do *corn belt* possuir as maiores produtividades de milho do mundo (GRASSINI et al., 2015). Contudo, os sistemas agrícolas são altamente dependentes de insumos externos, descartando processos ecológicos fundamentais como ciclagem de nutrientes, água e diversificação de culturas (PROKOPY et al., 2020). Com isso, essa monocultura contribui para a deterioração do sistema solo, tornando-se frágil a eventos climáticos extremos e flutuações de mercado (HART et al., 2020).

O N é um dos nutrientes exigidos em maiores quantidades pelas plantas. Embora cerca de 70–75% dos constituintes da atmosfera ser N_2 , as plantas são incapazes de absorvê-lo nesta forma. Por isso os fertilizantes nitrogenados são altamente utilizados para suprir a demanda das plantas e manter o alto teto produtivo, especialmente para cultura do milho no qual a fixação simbiótica é baixa ou inexistente. A aplicação de fertilizantes minerais nitrogenados é, de forma geral, ineficiente, podendo ter perdas de 50% por volatilização e lixiviação (LACEY; ARMSTRONG, 2015). Em ambientes como Nebraska, onde a irrigação ocupa 50% da área cultivada (DIETER et al., 2018), o processo de lixiviação de nitrato é acelerado devido ao maior fluxo de água e disponibilidade do N adicionado no sistema ao mesmo tempo (KHAN et al., 2020).

O carregamento de nitrato de áreas agrícolas à bacia do rio Mississippi é uma das maiores preocupações ambientais dos EUA. Cerca de 1,6 milhão de toneladas de N por ano fluem do rio Mississippi para o Golfo do México, contribuindo para o desenvolvimento da “zona morta do Golfo do México” (BOESCH, 2019). Essa é uma região dos mares ao sul dos EUA com alta presença de N e fósforo (P), que favorece o desenvolvimento de algas, fitoplânctons e outras espécies marinhas (XU et al., 2022). A presença dessas espécies causa a diminuição da concentração de oxigênio na água, que desfavorece a manutenção e permanência de inúmeras outras espécies marinhas. Os estados do *corn belt*, caracterizados pelo uso intensivo de insumos, são os maiores contribuintes do N que vai para o rio Mississippi e chega ao Golfo do México (MCLELLAN et al., 2015). Esse problema é tão preocupante que associações governamentais e não governamentais gastam cerca de US\$2,3 bilhões por ano para reduzir essas emissões, no qual para cada dólar investido foi capaz de reduzir somente 64 gramas de nitrato (TALLIS et al., 2019). Nesse cenário, práticas de manejo que favorecem a redução da perda de nitrogênio do sistema são fundamentais para a sustentabilidade do sistema produtivo.

4.2. Plantas de cobertura como ferramenta de conservação do solo e sustentabilidade

Uma das principais e mais funcionais práticas agrícolas de conservação do solo é o incremento de plantas de cobertura de inverno. Essas incorporam os princípios de ecologia do solo através da maximização da diversidade biológica, fornecendo raízes e cobertura contínua. A utilização desse princípio é amplamente reconhecida como processo para melhorar a capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, diminuir a degradação do solo, melhorar os serviços ecossistêmicos e reduzir o uso de insumos externos (BENDER; WAGG; VAN DER HEIJDEN, 2016; KRUPPEK et al., 2022). Adicionalmente, essas plantas podem reduzir a perda de nutrientes por lixiviação e aumentar a infiltração de água no solo (ASHWORTH; OWENS; ALLEN, 2020; BASCHE; DELONGE, 2019). Outro benefício importante das plantas de cobertura é o controle de plantas daninhas pelo efeito da palha que atua, principalmente, como uma barreira física impedindo a emergência das sementes (TEASDALE; MOHLER, 2000). Além disso, o uso de plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho reduzem o impacto ambiental negativo causado pelo uso intensivo do solo em

monocultivo, além de manter ou aumentar a produtividade (MARCILLO; MIGUEZ, 2017).

Vários estudos demonstraram que as plantas de cobertura de inverno reduzem a lixiviação de nitrato através da absorção do N residual do cultivo de verão e aquele naturalmente mineralizado (LACEY; ARMSTRONG, 2015). Espécies leguminosas, por exemplo, absorvem cerca de 120 kg ha⁻¹ de N na entressafra do milho (THAPA et al., 2018). Sem a presença dessas, parte desse N absorvido seria perdido por lixiviação. Além disso, manter a disponibilidade de N através da degradação da biomassa e sua consequente liberação significa fornecer nutrientes de forma lenta às plantas cultivadas no verão (LANDRISCINI et al., 2019). Ademais, com o aumento de carbono (C) no sistema, as atividades microbianas sustentam as funções do solo relacionadas ao ciclo do C e N, favorecendo aumento da produtividade das culturas e sustentabilidade do sistema.

O centeio (*Secale cereale* L.) e a ervilhaca (*Vicia villosa* Roth.) são espécies amplamente utilizadas como plantas de cobertura na agricultura norte americana. Espécies gramíneas, como o centeio, caracterizam-se por produzirem alta quantidade de biomassa e absorver nutrientes de camadas profundas do solo devido ao sistema radicular bem desenvolvido. Por outro lado, culturas leguminosas como a ervilhaca, caracteriza-se por fixar N biologicamente e possuir baixa relação C:N, o que acelera a decomposição da biomassa (LACEY et al., 2020). Essas culturas são alternadas com culturas de primavera/verão, como milho, tomate, soja e sorgo. Estudos demonstram que a utilização de espécies leguminosas no inverno pode incrementar a produtividade do milho em 21% (MARCILLO; MIGUEZ, 2017). Além disso, essas plantas de cobertura são aplicadas isoladamente ou em combinação, conhecido como “mix”, que aumenta a diversificação do sistema e otimiza as características e funções de cada espécie (FRASIER et al., 2017).

A eficiência da utilização de N pelas plantas é avaliada pelo parâmetro de eficiência do uso de N (NUE) (BENINCASA; GUIDUCCI; TEI, 2011), que depende de dois fatores: a quantidade de N que entra no sistema (N-in) e a quantidade de N que as plantas absorvem (N-up). Portanto, quanto maior a absorção de N por unidade de N sintético aplicado, melhor será o NUE. Em cultivo de milho com o uso de plantas de cobertura no inverno, por exemplo, haverá uma liberação de N ao solo através da decomposição da biomassa, podendo diminuir a dose recomendada de N. Nesse cenário, o cultivo do milho atinge altos N-up, pois absorverá o N sintético e aquele advindo da decomposição da biomassa, atingindo alta NUE. Nota-se, portanto, que as plantas de cobertura são ferramentas importantes no uso eficiente do N.

A relação C:N, que é a proporção de unidade de carbono para unidade de nitrogênio, é um fator determinante na dinâmica do N no solo, pois afeta diretamente os atributos microbianos que o mineralizam. Os resíduos de leguminosas são ricos em N e possuem relação C:N menor que 20:1, enquanto gramíneas costumam apresentar alta relação C:N maior que 20:1 (CHINTA; UCHIDA; ARAKI, 2020). Nesse cenário, as leguminosas oferecem conteúdo residual de menor complexidade, favorecendo os microrganismos do solo a degradar facilmente os resíduos, enquanto as gramíneas são mais complexas e mais difíceis de decompor. Os indicadores de qualidade do resíduo são os teores de N, lignina e celulose, bem como a relação C:N. Por exemplo, a liberação de N de resíduos vegetais diminui com o aumento da concentração de lignina e celulose, enquanto a liberação de N aumenta com o aumento das concentrações de hemicelulose e N, que é o caso das leguminosas (MURUNGU et al., 2011). A decomposição da matéria orgânica e consequente liberação de N é conduzida por atividades enzimáticas através de reações químicas, a qual pode ser usada para entender a resposta funcional microbiana às condições do solo (NEVINS; LACEY; ARMSTRONG, 2020). Nesse caso, a enzima β -glicosidase despolimeriza a celulose, produzindo glicose, enquanto a enzima urease hidrolisa o N orgânico (ACOSTA-MARTÍNEZ; PÉREZ-GUZMÁN; JOHNSON, 2019). A atividade enzimática da β -glicosidase e da urease são enzimas fundamentais na dinâmica do C e N do solo.

4.3. Época de dessecação das plantas de cobertura

A época de dessecação das plantas de cobertura determina vários fatores do sistema que podem influenciar no rendimento do milho (Tabela 1). É comumente assumido que dessecar as plantas de coberturas duas a três semanas antes da semeadura reduz os riscos associados a umidade e temperatura do solo no início do desenvolvimento do milho (REED et al., 2019). Além disso, a dessecação precoce cria uma janela de tempo em que a imobilização de N no solo pode ocorrer sem reduzir o N disponível para as culturas comerciais e diminuir os rendimentos (ROSA et al., 2021). Como regra geral, a quantidade mínima de biomassa necessária para obter um bom retorno sobre o investimento em uma planta de cobertura é de 4.500 kg ha⁻¹ (BAKCOM; SCHOMBERG; LEE, 2020). Contudo, esse valor é relativo e depende de uma série de fatores, como a espécie, ambiente e época de dessecação, que não necessariamente trazem benefícios econômicos mensuráveis a curto prazo. Quantidades menores de biomassa, por exemplo, auxiliam na redução das taxas de erosão comparado a um sistema com solo descoberto.

Tabela 1. Efeitos da época de dessecação das plantas de cobertura no rendimento do milho.

Dessecação antecipada	Dessecação tardia
Baixa biomassa	Alta biomassa
Aumenta o tempo para reabastecimento de água do solo	Maior retenção de umidade do solo durante o crescimento
Favorece o aquecimento do solo no início do desenvolvimento da cultura comercial	Mantem o solo mais frio durante o período de crescimento
Reduz efeito fitotóxicos da decomposição dos resíduos	Controle de plantas daninhas e aumento de compostos alelopáticos
Diminui a sobrevivência de inóculos de doenças	Maior contribuição de N de leguminosas
Facilidade no funcionamento de equipamentos de semeadura	Competição por luz, água e nutrientes na fase inicial da cultura comercial
Melhora a mineralização de N de curto prazo a partir de culturas de cobertura com baixa relação C:N	Persistência de resíduos por período mais longo

Fonte: Adaptado de Bakcom, Schomberg e Lee (2020)

A dessecação de uma cultura de cobertura em duas a quatro semanas antes da semeadura milho faz com que os resíduos sequem e se tornem "quebradiços", permitindo que o equipamento de semeadura corte a palha facilmente, facilitando a prática de semeadura (KASPAR; BAKKER, 2015). Quando as plantas de cobertura são desseçadas tardiamente, é mais difícil de cortar o resíduo durante a semeadura, que ficará preso no sulco, reduzindo o contato entre a semente e o solo, resultando em uma má germinação da semente. Além disso, os compostos alelopáticos se tornam um problema maior nesse cenário, pois os resíduos se acumulam na zona de deposição das sementes. Nesse cenário, permitir um período de duas a quatro semanas entre a dessecação das plantas de cobertura e semeadura do milho permite que os aleloquímicos se dissipem antes que a cultura seja estabelecida.

5. ATIVIDADES REALIZADAS

5.1. Condução do experimento a campo – Centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação

Um experimento foi conduzido na estação experimental da *University of Nebraska – Lincoln* (ENREC), no município de Mead do estado de Nebraska, EUA (41° 09' 24" N, 96° 24' 46" W). O experimento foi instalado em outubro de 2021 e consistiu no cultivo de milho após utilização de centeio e ervilhaca como plantas de cobertura de inverno. Essas foram desseçadas 14 dias antes da semeadura do milho – dessecação

antecipada – e 7 dias após a semeadura do milho – dessecação tardia. Além disso, há um tratamento adicional com centeio em dessecação tardia com aplicação adicional de N em cobertura no milho e uma testemunha sem planta de cobertura. O experimento foi disposto em delineamento experimental de blocos casualizados, em fatorial com cinco repetições. Esse estudo estava vinculado ao grupo *Precision Sustainable Agriculture*, que possuía colaboradores de diversos estados dos EUA com objetivo de conectar os agricultores com conhecimento específico do local, através de tecnologias para a tomada de decisão em tempo real e o planejamento de longo prazo.

Foi proposto ao estudante a condução de um estudo adicional na mesma área, com o propósito de explorar os conhecimentos técnicos e científicos. Esse estudo teve por objetivo avaliar o rendimento de milho, a decomposição de centeio e de ervilhaca e liberação de N durante o desenvolvimento do milho. Utilizou-se somente duas repetições das cinco devido à disponibilidade de material. Além disso, utilizou-se somente os tratamentos com planta de cobertura, épocas de dessecação e a testemunha, descartando o tratamento com centeio dessecado tardiamente com N adicional. Uma breve descrição da área experimental e da seleção dos tratamentos para o estudo adicional está apresentada na Figura 1.

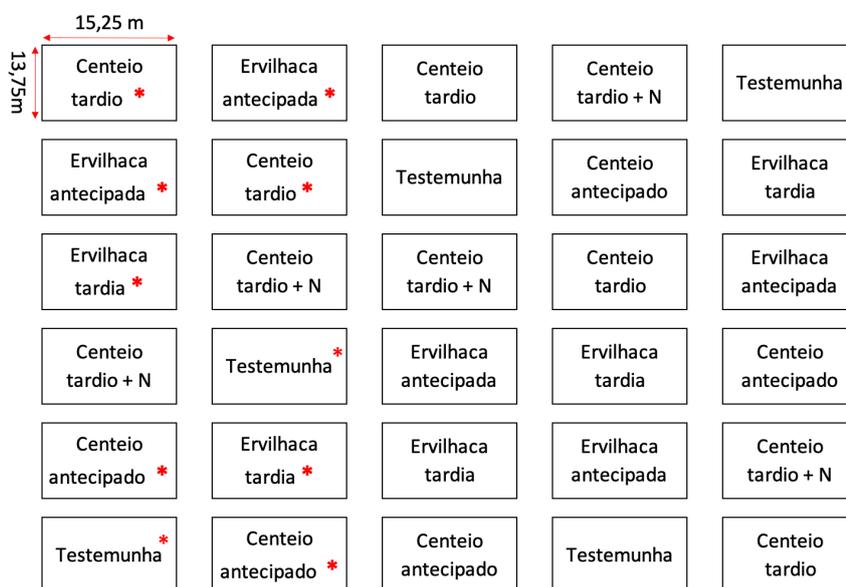


Figura 1. Croqui do experimento instalado em 2021 em Nebraska, EUA. * representa os tratamentos utilizados para avaliação do rendimento do milho, decomposição de biomassa e liberação de N.

Na safra anterior à instalação do experimento, a área foi cultivada com aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.). Após a colheita da aveia, em outubro de 2021, foi realizado a semeadura das plantas de cobertura com uma semeadora mecanizada.

5.1.1. Atividades a campo e avaliações realizadas no experimento completo

Em maio de 2022 realizou-se a dessecação das plantas de cobertura para os tratamentos com dessecação antecipada. Passados 17 dias, todo o experimento foi semeado com milho com adição de 35 kg ha⁻¹ de N. Após 11 dias de semeadura, realizou-se a dessecação dos tratamentos com dessecação tardia. Utilizou-se a formulação de 1120 g i.a. ha⁻¹ de glifosato para a dessecação na área experimental, que foi aplicada com pulverizador acoplado a um trator. Para coleta da biomassa, foi utilizado um quadrante de 1,0 m² coletando duas subamostras por parcela, separando a biomassa de plantas de cobertura das daninhas. As amostras foram secas em estufa de ar forçado a 60 °C até atingir massa constante e reservadas para pesagem.

Após a emergência do milho, avaliou-se a qualidade de emergência da cultura através da contagem de plântulas emergidas em uma área conhecida. No estágio V3 do milho, foi realizada uma aplicação de herbicida glifosato (1400 g i.a. ha⁻¹) para o controle de plantas daninhas em 75% da área de cada tratamento, formando outro fator ao experimento. Além disso, coletou-se plantas de milho juntamente com o sistema radicular para avaliação de doenças radiculares e ataques de insetos na planta. No estágio V5 realizou-se a aplicação de nitrogênio na forma de ureia, com dose de 110 kg N ha⁻¹, aplicada de forma manual, dividindo a dose do tratamento por linhas contidas no tratamento. O N do tratamento com dose adicional foi aplicado no mesmo momento dos outros tratamentos, porém com a dose adicional de 35 kg ha⁻¹, totalizando 145 kg ha⁻¹. Em V6, realizou-se a avaliação de produção de biomassa de plantas daninhas nos tratamentos sem dessecação (fator adicional), coletando duas amostras por parcela. Nos estágios V3, V6 e RT realizou-se avaliação de predação de insetos, constituído na adição de lagartas presas em bolas de argila com alfinete, protegidas com uma caixa perfurada para evitar ataques de predadores maiores como ratos. Essa avaliação teve o objetivo de identificar a presença de insetos benéficos que capturam insetos indesejáveis nos diferentes tratamentos do experimento. As lagartas presas em bolas de argila foram colocadas no campo após às 18 horas da noite. No dia seguinte a instalação foi realizada duas avaliações: uma antes das 6 horas da manhã e a outra após às 18 horas. A avaliação consistiu na identificação de predação classificadas em três categorias: não predada, parcialmente predada ou/e em predação e predada totalmente.

Quando o milho atingiu a maturação fisiológica, realizou-se uma avaliação para identificar o número de nós e entrenós abaixo da espiga, além de identificar doenças no caule. Para isso, foram selecionadas cinco plantas por parcela nas quais realizou-se um corte no meio do caule e identificou-se a incidência de doença de forma visual. Em outubro de 2022, após maturação fisiológica, foi realizada a colheita do milho separadamente nas parcelas com e sem adição de herbicida. A colheita foi realizada com uma colhedora autopropelida, coletando três linhas por subparcela. Uma subamostra de grãos foi recolhida para avaliação nutricional. Para avaliação de rendimento, as amostras foram corrigidas para umidade padrão de 130 g kg⁻¹.

5.1.2. Atividades a campo e avaliações realizadas no experimento para decomposição de biomassa e liberação de N

No mesmo período de coleta de biomassa das plantas de cobertura, foi coletado a biomassa para avaliação de decomposição. Coletou-se duas amostras em quadrantes de 1 m² (Figura 2 A). As amostras de biomassa das plantas de cobertura foram pesadas e divididas em seis subamostras com massa conhecida. Essas foram acomodadas em sacos “*litter bags*” que são sacos de plástico com perfurações, material comumente utilizado para esse tipo de avaliação, com identificações para o tempo de coleta. Para avaliação da decomposição as amostras foram acomodadas no campo (Figura 2 B) no mesmo dia de dessecação. A coleta foi dividida nos tempos zero (recolhido juntamente com a coleta de biomassa), 15, 30, 60 e 120 dias após a dessecação, portanto, a coleta dos tratamentos com dessecação antecipada e tardia foi realizada em momentos diferentes.

Após a coleta no campo, em cada tempo de avaliação, as amostras foram secas a 60 °C até atingir massa constante. Depois de secas, foram pesadas, moídas em malha 1 mm e reservada para posterior análise. Uma subamostra com massa conhecida foi submetida a queima do material orgânico em mufla para avaliação de impurezas. Os teores totais de C e N das amostras foram determinados por combustão seca. Os dados meteorológicos de precipitação e temperatura do ar da região foram obtidos da estação meteorológica de Mead, Nebraska.

A proporção de massa seca (MS%) e N remanescente (NR%) foram calculados através da equação (1):

$$MS \text{ ou } NR = 100 \times (X_t/X_i) \quad (1)$$

onde X_t é o conteúdo de massa seca ou N no tempo (t), e X_i é o conteúdo inicial de massa seca ou N. A taxa de liberação de biomassa e N das plantas de cobertura foi analisada ajustando os dados observados a um modelo de decaimento exponencial negativo (POFFENBARGER et al., 2015). O modelo tem a seguinte equação (2):

$$X_t = X_f \times e^{(-k_f \times t)} + (100 - X_f) \quad (2)$$

onde X_t é a porcentagem restante de biomassa ou N, X_f é a porcentagem inicial de biomassa ou N que se decompõe na taxa de decomposição k_f (dia^{-1}) e t é o tempo em dias após a dessecação. O ajuste do modelo foi calculado para cada tratamento individualmente usando o software R Core Team 2023. Foi gerado o coeficiente de determinação para cada análise como estimativa de precisão. A diferença dos parâmetros do modelo entre os tratamentos foi determinada usando o teste de comparação múltipla de Tukey a $p < 0,05$. Os resultados desse estudo estão apresentados no item 6.

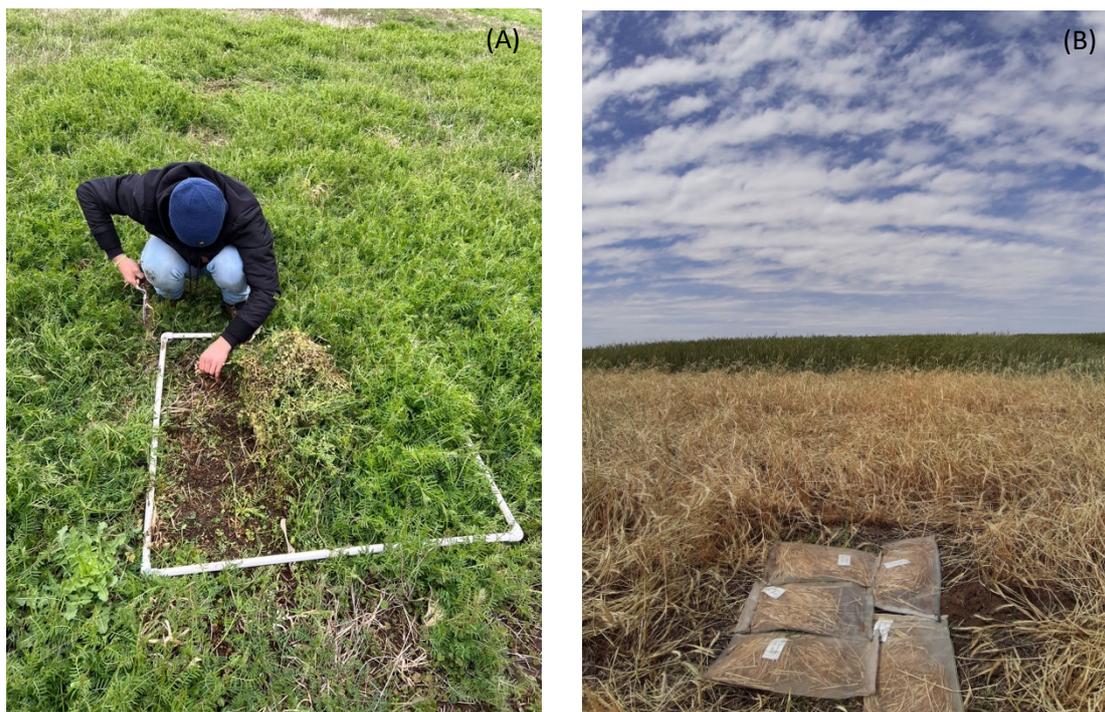


Figura 2. Coleta de biomassa das plantas de cobertura (A) para avaliação de rendimento e disposição dos *litter bags* no campo (B) para simular a decomposição de biomassa.

5.2. Condução de experimento a campo – dose ideal de N para o milho semeado após centeio, ervilhaca e centeio + ervilhaca

O experimento foi instalado em setembro de 2021 na estação experimental da *University of Nebraska – Lincoln* (ENREC), no município de Mead do estado de Nebraska, EUA (41° 09' 24" N, 96° 24' 46" W), próximo ao experimento citado no item 5.1. O delineamento experimental é um fatorial de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Existem outros 14 experimentos com o mesmo protocolo espalhados em diferentes estados dos EUA. O objetivo do estudo foi avaliar a adaptabilidade das plantas de cobertura em cada estado, determinar a dose ideal de N em cobertura para o milho com o uso de diferentes plantas de cobertura de inverno, avaliar a decomposição de biomassa e liberação temporal de N. Os tratamentos consistiram na utilização de centeio, ervilhaca e o mix de centeio e ervilhaca como plantas de cobertura no período hibernal anterior ao cultivo do milho, além de um tratamento testemunha sem planta de cobertura. Para cada tratamento, no estágio V5 do milho foi aplicado 0, 40, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Foram avaliadas a decomposição de biomassa das plantas de cobertura, liberação temporal de N das plantas de cobertura e rendimento do milho.

As plantas de cobertura foram semeadas em setembro de 2021 com uma semeadora tratorizada. Em maio de 2022 realizou-se a coleta de biomassa para avaliação da produtividade e para preparar o estudo de decomposição de biomassa, com o mesmo protocolo do item 5.1. Nos 20 dias antes da semeadura do milho, foi coletado amostras de solo com um trado calador na camada 0-25 cm para avaliação de nitrogênio residual (Figura 3). As amostras foram secas, moídas, peneiradas e enviadas para análise. A dessecação das plantas de cobertura foi realizada 17 dias antes da semeadura do milho utilizando uma formulação de 1120 g i.a. ha⁻¹ de glifosato. Passados os 17 dias, realizou-se a semeadura do milho com espaçamento de 70 cm entrelinhas e densidade de semeadura de 9,5 plantas m². No estágio V5 do milho foi aplicado o N de forma manual com a dose dos respectivos tratamentos, dividindo a dose pelas linhas contidas no tratamento. A colheita foi realizada com uma colhedora autopropelida, coletando três linhas por parcela. Coletou-se amostras para avaliação de rendimento com correção de umidade dos grãos para 130 g kg⁻¹. Uma subamostra foi recolhida para avaliação nutricional dos grãos.



Figura 3. Coleta de solo em um dos tratamentos antes da semeadura do milho para avaliação de N residual.

5.3. Condução de experimento a campo – Disponibilidade de água no solo, decomposição de biomassa e liberação de N para o milho em duas fazendas do estado de Nebraska

O experimento possui parceria com o grupo *Precision Agriculture Sustainable* e foi instalado em duas fazendas produtoras de milho em Nebraska. Os experimentos “*on-farm*” consistem em avaliar aspectos físicos do solo, como umidade e temperatura, e a liberação temporal de N das plantas de cobertura para o cultivo do milho. Os tratamentos consistiram na utilização de plantas de cobertura (mix de centeio e ervilhaca) e um tratamento testemunha, sem a adição de plantas de cobertura sendo distribuídos em duas repetições. O experimento teve início em 2020 com a semeadura das plantas de coberturas e início das avaliações em 2021. Em 2022 repetiu-se o mesmo protocolo. As plantas de cobertura foram semeadas em outubro de 2021 e dessecadas no início de maio de 2022, período que se realizou a semeadura do milho. Juntamente com a semeadura do milho foram instalados sensores de umidade e temperatura (Figura 4) nas profundidades de 5, 15, 45 e 80 cm do solo. Esses sensores estavam conectados a uma nuvem coletando dados de temperatura e umidade do solo automaticamente a cada 15 minutos. A instalação dos *litterbags* para avaliação da decomposição de biomassa e liberação de N, foi realizada com o mesmo processo daquele descrito no item 5.1. Para esse experimento, foram dispostas duas repetições em cada um dos tratamentos com plantas de cobertura.



Figura 4. Instalação dos sensores de umidade e temperatura do solo e deposição dos *litterbags* logo após a semeadura do milho em uma fazenda em Nebraska, Estados Unidos da América.

As atividades desenvolvidas nesses experimentos consistiram na instalação dos sensores no solo, coleta de solo para caracterização físico-química, coleta de biomassa para análise de rendimento e preparação dos *litterbags*, coleta de dados dos componentes de rendimento e coleta manual de milho para avaliação de rendimento. Além disso, o estudante auxiliou o grupo na análise dos dados dos sensores de umidade e temperatura obtidos no ano de 2021. Trabalhou-se nos dados com linguagem de programação R, organizando variáveis e transformando-as em conjunto de dados menores e simplificados para posterior análises estatísticas e apresentação em ilustrações gráficas.

5.4. Condução de experimento a campo – uso de NPK e interação entre genótipo, ambiente e manejo no cultivo de kernza no estado de Nebraska

O grupo *Resilient Cropping Systems* possui uma área de pesquisa para o desenvolvimento da cultura da kernza (*Thinopyrum intermedium*) no estado de Nebraska (Figura 5 A, B e C). Essa é uma cultura nova para os Estados Unidos de forma geral. A gramínea possui potencial para a produção de biomassa para forragem e produção de grãos para a fabricação de farinhas, massas e cerveja. Essas plantas possuem um sistema radicular bastante desenvolvido, podendo absorver água e nutrientes em grandes profundidades. Nesse cenário, estudos sobre materiais genéticos mais adaptáveis ao clima de Nebraska, diferentes densidades de semeadura, consorciação com leguminosas e

diferentes níveis de adubações são fundamentais para determinar os genótipos e formas de manejo que incrementam nessa cultura.

Dois experimentos foram instalados em Mead, Nebraska, EUA. Um consiste na utilização de kernza cultivada em diferentes níveis de adubação NPK e parcelas com cultivo de milho e soja. O objetivo geral do estudo é avaliar a viabilidade econômica da kernza comparada ao milho e soja, a resposta das plantas à adubação, à lixiviação de nutrientes e umidade do solo. O segundo experimento consiste na utilização de diferentes genótipos semeados com diferentes densidades, consorciados com trevo ou alfafa. Esse tem por objetivo avaliar a produção de biomassa, em cultivo solteiro e consorciado com leguminosas e determinar os melhores genótipos e condições de manejo para estado. As atividades consistiram na limpeza das áreas; instalação de lisímetros para avaliação de lixiviação de nutrientes e sensores para avaliação de umidade de solo; coleta de biomassa para determinação da qualidade forrageira; coleta de solo para avaliação de nitrato; e avaliações de acamamento, rendimento de biomassa e de grãos.

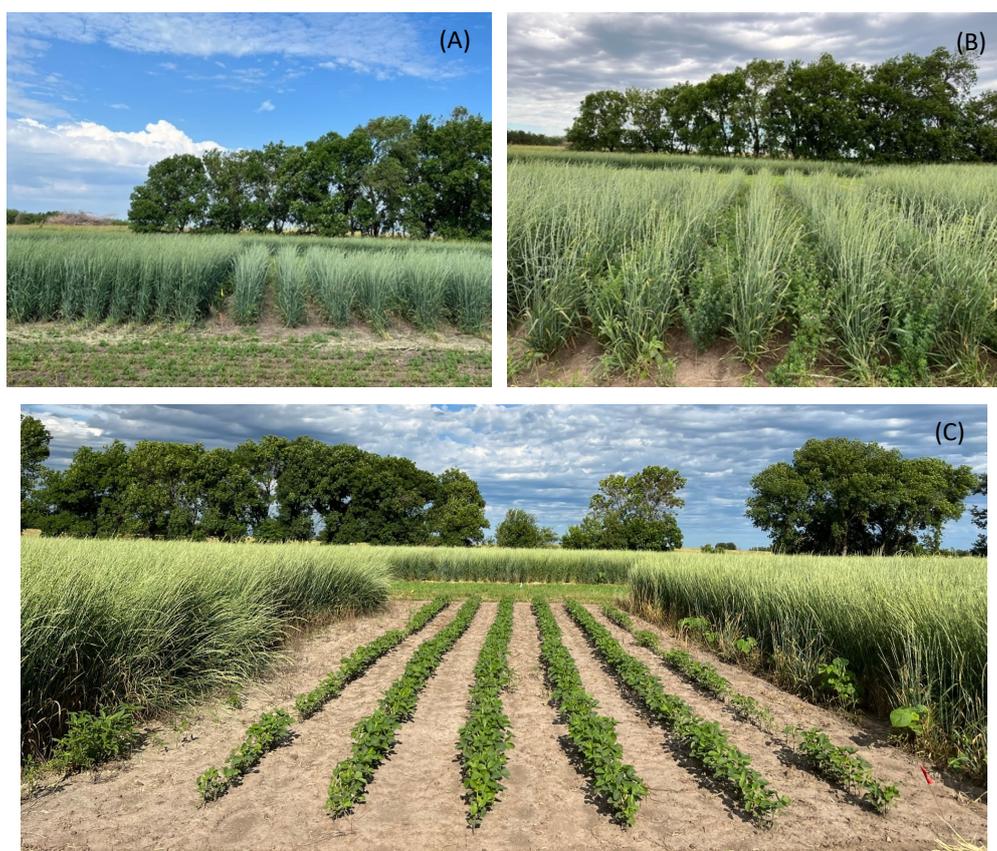


Figura 5. Diferença entre tratamentos com diferentes densidades de semeadura de kernza (A), tratamento com consórcio de kernza com alfafa (B) e tratamento com cultivo de soja ao lado das parcelas cultivadas com kernza (C).

5.5. Participação em eventos

Durante o período de estágio, foi possível participar de eventos técnicos e científicos. A conexão entre os três pilares da universidade (pesquisa, ensino e extensão) com os produtores rurais e a comunidade científica de modo geral é uma característica forte de Nebraska.

5.5.1. Participação em eventos técnicos

No mês de junho de 2022, ocorreu um dia de campo na propriedade em que está instalado um dos experimentos de disponibilidade de água no solo, decomposição de biomassa e liberação de N para o milho em duas fazendas do estado de Nebraska (item 5.3). Nesse dia, ocorreu palestras com extensionistas, produtores rurais e pesquisadores abordando a eficiência do uso de plantas de cobertura na dinâmica e uso de N e nas propriedades físicas do solo. O aluno foi coautor de um dos trabalhos apresentados no dia do evento (ANEXO A).

No mês seguinte, em julho de 2022, ocorreu um evento técnico direcionado para produtores e estudantes com palestras, debates e aulas práticas sobre a eficiência do uso de nitrogênio e enxofre na cultura do milho e soja. Nesse dia, por exemplo, foi demonstrado em aula prática o processo de aquisição de dados NDVI com um leitor manual e elaboração de cálculos para de dose ideal de N.

5.5.2. Participação em eventos científicos

No mês de agosto de 2022, ocorreu o *Nitrogen Use Efficiency Workshop*, evento que trata das novas tecnologias de pesquisa para o uso eficiente de nitrogênio. O evento consistiu em workshops, competições entre estudantes e visita a *Greenhouse Innovation Center*, que é um dos mais tecnológicos espaços de fenotipagem de plantas do mundo. O evento apresentou algumas pesquisas em desenvolvimento, dentre elas a do estudo de dose ideal de N para o milho semeado após centeio, ervilhaca e centeio + ervilhaca (item 5.2), no qual o estudante foi coautor do trabalho. Os autores apresentaram dados de dose ideal de N para a cultura do milho cultivado sobre diferentes plantas de cobertura.

Em novembro de 2022, ocorreu a 2022 *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 Baltimore, no estado de Maryland, USA e consistiu em reuniões das grandes redes de pesquisa, como a *Precision Sustainable Agriculture*, workshops, confraternizações e competições entre estudantes. Nesse evento, o estudante teve a oportunidade de apresentar um trabalho em formato de pôster abordando o efeito das plantas de cobertura e época de dessecação no rendimento de milho e supressão de plantas daninhas (APÊNDICE A). Esse trabalho foi desenvolvido com o experimento sobre centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação (item 5.1) desenvolvido no ano de 2021. O trabalho obteve destaque sendo premiado em terceira posição pela *ASA Cover Crop Management Community* (ANEXO B).

6. RESULTADOS

6.1. Condições climáticas, produção de biomassa e rendimento do milho após o uso de centeio e ervilhaca submetidos a duas épocas de dessecação

A precipitação normal em Mead, Nebraska, no período do desenvolvimento do milho e decomposição das plantas de cobertura (maio a outubro), foi cerca de 554 mm (Figura 6 A). Contudo, durante esse período em 2022, choveu apenas 330 mm. Além disso, no período de desenvolvimento das plantas de cobertura (setembro de 2021 a maio de 2022), a precipitação normal tem sido de 466 mm, mas choveu apenas 385 mm, mesmo com precipitação acima do normal em outubro de 2021 (Figura 6 A).

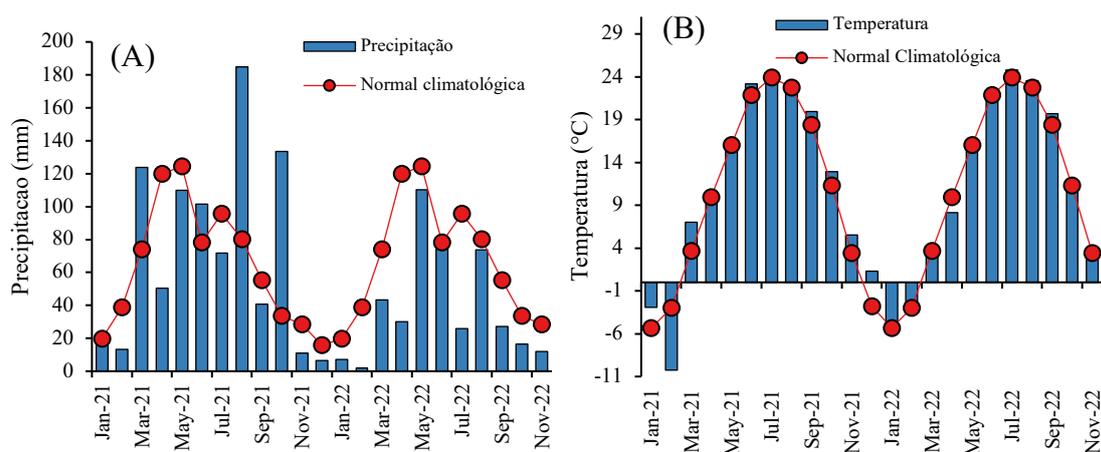


Figura 6. Precipitação (A) e temperatura (B) nos meses de janeiro de 2021 a novembro de 2022, com as respectivas normais climatológicas, em Mead, Nebraska, Estados Unidos da América. Fonte: National Weather Service.

A produção total de biomassa seca das plantas de cobertura variou de 9500 kg ha⁻¹ para centeio com dessecação tardia (C-DT) a 1900 kg ha⁻¹ para a ervilhaca dessecada antecipadamente (E-DA) (Figura 7 A). O centeio produziu maior quantidade de biomassa quando foi dessecado mais tarde, enquanto a produção de biomassa da ervilhaca não foi diferente entre as épocas de terminação (Figura 7 A).

O uso de ervilhaca como planta de cobertura (leguminosa) (E-DA e E-DT) resultou em maior rendimento do milho (Figura 7 B). Por outro lado, o rendimento do milho cultivado após o centeio com dessecação tardia (C-DT) foi 90% inferior aos tratamentos com leguminosas (Figura 7 B).

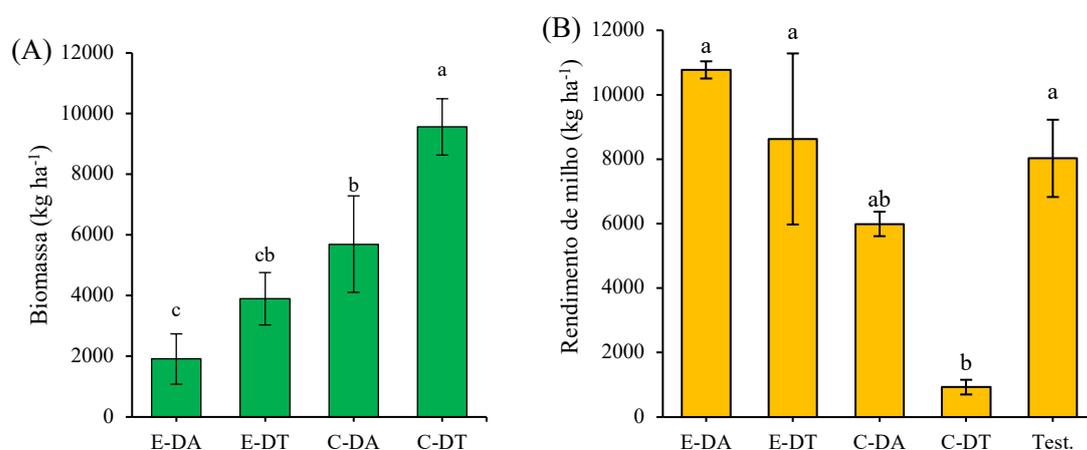


Figura 7. Rendimento de biomassa das plantas de cobertura (A) e grãos de milho (B) após uso de centeio e ervilhaca com dessecação antecipada e tardia. E-DA: ervilhaca com dessecação antecipada; E-DT: ervilhaca com dessecação tardia; C-DA: centeio com dessecação antecipada; C-DT: centeio com dessecação tardia; Test.: testemunha sem planta de cobertura.

6.2. Decomposição da biomassa e liberação de nitrogênio

A decomposição de biomassa foi diferente entre as espécies e épocas de dessecação, que teve uma fase inicial mais rápida, seguida de uma mais lenta (Figura 8 A, B). A massa seca de ambos os tratamentos de ervilhaca e centeio com dessecação antecipada (C-DA) apresentaram decomposição a uma taxa mais rápida do que o centeio com C-DT (Figura 8 A, B). A proporção de massa seca remanescente do C-DT no final da safra de milho (136 dias após a dessecação) foi de 75%, maior do que todos os outros tratamentos (Figura 8 A, B). Por outro lado, a massa seca remanescente da E-DA foi de 25%, 2 vezes menor quando comparado a E-DT. No dia do plantio do milho, o N remanescente no C-DA e na E-DA era de cerca de 80% e 55%, respectivamente (Figura

8 C). Os tratamentos com dessecação tardia continuaram a absorver N até o período de terminação, 11 dias após o plantio do milho ou aproximadamente quatro semanas após os tratamentos com dessecação antecipada. Passados 35 dias após o plantio do milho, que coincidiu com o estágio V6, período no qual a demanda por N no milho aumenta, o N remanescente foi de 76%, 62%, 54%, e 32% no C-DT, E-DT, C-DA e E-DA, respectivamente (Figura 8 C, D). A proporção de N remanescente no C-DT no final do cultivo de milho foi de 60%, superior a todos os outros tratamentos (Tabela 2; Figura 8 B).

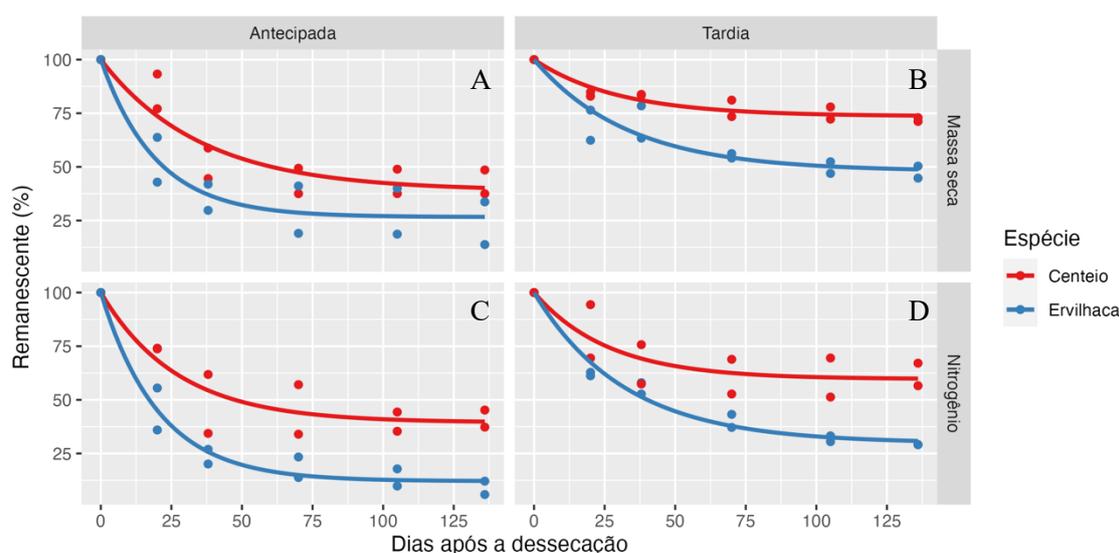


Figura 8. Massa seca (A e B) e nitrogênio remanescente (C e D) de centeio e ervilhaca com dessecação antecipada (A e C) e tardia (B e D).

A relação C:N das leguminosas e do C-DA foi inferior à do C-DT (Tabela 2). Com isso, a quantidade de biomassa das leguminosas e do C-DA decomposta no final da avaliação foi maior que a do C-DT (Tabela 2). A taxa de decomposição (k_f) de N foi similar entre os tratamentos, não sendo significativamente diferente entre as espécies e épocas de dessecação (Tabela 2). Apesar do experimento possuir somente duas repetições, o modelo para estimar o N remanescente ao longo do tempo mostrou-se adequado, resultando valores de R^2 de 0,74 – 0,98.

Apesar da maior produção de biomassa de C-DT, a absorção total de N foi semelhante nas duas épocas de terminação (110 kg ha^{-1}), e similar ao E-DT (Figura 9). As plantas com dessecação tardia permanecerem 28 dias a mais no campo, contudo, apenas a ervilhaca aumentou a absorção total de N (Figura 9). Durante toda a safra de milho, o N liberado pela E-DT foi de 70% do N total acumulado, ou seja, dos 115 kg ha^{-1}

¹ de N absorvidos, 80 kg ha⁻¹ de N foram liberados (Figura 9). O C-DA apresentou quantidades e taxas de liberação semelhantes à E-DT, liberando 60% dos 110 kg ha⁻¹ de N absorvidos. A E-DA liberou somente 21 kg ha⁻¹ de N, mas isso representa 91% do N total absorvido pela espécie. Por outro lado, do total de 110 kg ha⁻¹ absorvidos pelo C-DT 70 kg ha⁻¹ ficaram imobilizados na biomassa no final do cultivo do milho.

Tabela 2. Relação C:N das plantas de cobertura de inverno no momento da dessecação e ajustes dos parâmetros do modelo para estimativa de N remanescente.

Espécie	Dessecação	Relação C:N	Estimativa dos parâmetros do modelo		
			Xf estimado (%)	kf estimado (dias ⁻¹)	R ²
Ervilhaca	Antecipada	11,6 b	88,0 a	0,04996 ns	0,96
Ervilhaca	Tardia	10,7 b	70,2 b	0,03145 ns	0,98
Centeio	Antecipada	18,1 ab	61,3 b	0,03529 ns	0,87
Centeio	Tardia	23,6 a	41,2 c	0,03920 ns	0,74

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não são diferentes segundo teste de Tukey a $p < 0,05$.

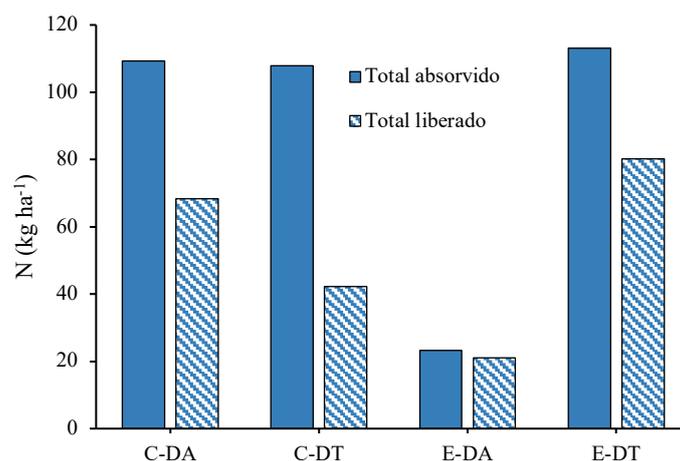


Figura 9. Absorção total de nitrogênio durante o desenvolvimento das plantas de cobertura e liberação do N através da decomposição da biomassa durante o cultivo do milho.

7. DISCUSSÃO

7.1. Relação entre espécies e épocas de dessecação de plantas de cobertura na decomposição da biomassa e liberação de N

A falta de chuva ocorreu em momentos importantes para o desenvolvimento das plantas de cobertura e do milho. Antecedendo o cultivo do milho, em abril de 2022, a precipitação foi abaixo do normal. Com o aumento da temperatura nesse período (Figura 6 B), haveria um desenvolvimento favorável das plantas de cobertura se as precipitações

fossem normais. O mesmo cenário de restrição hídrica ocorreu no mês de julho de 2022, período em que o milho estava em pleno desenvolvimento. Nesse caso, portanto, o potencial produtivo das plantas de cobertura e do milho podem ter sido reduzidos devido às condições climáticas. A maior produção de biomassa de centeio comparado a ervilhaca é uma característica da espécie. Ademais, em virtude do centeio apresentar um sistema radicular de maior profundidade, possivelmente a referida espécie pôde obter uma vantagem comparativa sobre a leguminosa em um contexto de escassez hídrica durante o período de desenvolvimento.

A relação C:N é um dos fatores importantes na decomposição da biomassa. Está bem estabelecido que espécies de culturas de cobertura com resíduos de baixa relação C:N se decompõem mais rapidamente do que aquelas com resíduos de relação C:N mais alta (LACEY; ARMSTRONG, 2015; POFFENBARGER et al., 2015). Assim, a escolha de espécies de plantas de cobertura é uma importante ferramenta de manejo que o produtor pode utilizar para minimizar a imobilização de N, os impactos negativos no rendimento do milho e, possivelmente, reduzir as doses de N no milho. Uma estratégia que os produtores podem implementar para gerenciar as proporções C:N e a liberação resultante de N e C é selecionar espécies de cobertura com alto teor de N, como leguminosas. Alguns estudos mostram que a taxa de decomposição da ervilhaca é de 2,1 a 3,3 vezes maior que o centeio (LACEY et al., 2020; SIEVERS; COOK, 2018). No presente estudo, foi observado que os tratamentos com leguminosas tiveram constantes médias de liberação de N 1,3 vezes maior que os tratamentos com gramíneas. As diferenças nas taxas sugerem que a relação C:N inicial da biomassa da cultura de cobertura é uma variável determinante na decomposição e liberação de N. A combinação de condições climáticas, como umidade e temperatura associadas a composição química inicial do material das culturas, regula decomposição e liberação de nutrientes nos sistemas de cultivo (VARELA et al. 2014). A baixa decomposição dos materiais mais resistentes, como o centeio com dessecação tardia (C-DT), possivelmente ocorreu devido as baixas precipitações verificadas no período avaliado.

A dessecação das plantas de cobertura duas a três semanas antes do plantio reduz os riscos associados a umidade e temperatura do solo, doenças, insetos e alelopatia (ROSA et al. 2021). Ademais, a dessecação antecipada das plantas de cobertura cria uma janela de tempo em que a imobilização de N no solo pode ocorrer antes do estágio de alta demanda de nitrogênio da cultura subsequente, evitando assim a redução nos rendimentos. Os dados do presente estudo mostram que uma liberação significativa de

biomassa e N ocorre após a semeadura de milho, mesmo com dessecação 17 dias antes da semeadura. Isso estende potencialmente o período de imobilização de N devido à resposta do microbioma do solo à entrada de C da planta de cobertura. Alguns autores mostram que a resposta microbiana ao C da planta de cobertura se estende até o final do período vegetativo da cultura subsequente. Em um estudo no leste dos EUA, com as plantas de cobertura dessecadas 14 dias antes do cultivo do milho, Nevins; Nakatsu e Armstrong (2018) mostraram que a diversidade microbiana diminuiu no crescimento do milho até V5 a medida que as entradas de C atingiram o pico, indicando que ocorreu seleção de microrganismos especializados na degradação da biomassa. Esses autores mostram também que a atividade da β -glicosidase do solo, uma enzima associada à quebra dos compostos de C, aumentou após o estágio V5 do milho, atingindo um pico no estágio VT. A literatura descreve que mais de 50% da liberação de N da biomassa deve ocorrer antes que o milho complete o crescimento vegetativo devido à sincronia com as demandas de N do milho. Ao considerar o potencial para entradas totais de C e N durante o desenvolvimento do milho, os dados do presente estudo mostram que a biomassa e a atividade da comunidade microbiana do solo podem aumentar nos períodos de maior demanda de N do milho, resultando em menor disponibilidade de N na solução do solo para o milho.

A imobilização de N no tratamento com C-DT associado a competição por luz, água e nutrientes entre planta de cobertura e o milho, além das precipitações abaixo da média no período de desenvolvimento do milho reduziram drasticamente o rendimento do milho. Nesse cenário, a adoção da prática de dessecar as plantas de cobertura tardiamente, após a semeadura do milho, deve ser analisada com cautela. Com a dessecação tardia ocorre a imobilização de N, especialmente em anos com baixas precipitações e quando a espécie de planta de cobertura é uma gramínea como o centeio, aumenta a produção de biomassa, favorecendo a competição com o milho por recursos podendo diminuir o rendimento da cultura subsequente.

7.2. Relações entre o uso de plantas de cobertura e o cultivo de grãos nos Estados Unidos e no Brasil

O propósito de utilização de plantas de cobertura no Brasil e nos Estados Unidos são semelhantes. Alguns exemplos de propósitos são a utilização para diminuir a erosão, incrementar carbono ao solo, ciclar nutrientes, diminuir a incidência de plantas daninhas

e aumentar a infiltração de água no solo. As principais diferenças estão no manejo cultural e no aporte tecnológico do processo de produção.

As condições tropicais e subtropicais no Brasil possibilitam o desenvolvimento vegetal durante todo o ano. Esse fator associado ao mercado tem possibilitado a produção de soja no verão e trigo no inverno, cenário típico na metade sul do Brasil, apesar de grande parte da área cultivada com grãos permanecer em pousio na entressafra da soja. Nos EUA ocorre eventos de baixas temperaturas por 5 a 6 meses, evitando o desenvolvimento vegetal. Nesse cenário, as janelas para a produção de plantas de cobertura são distintas entre os dois locais. No meio oeste americano, somente 7,2% da área é cultivada com culturas de cobertura na entressafra (ZHOU et al., 2022). Isso é justificado pelos custos para produção dessas plantas associado a baixa resposta em produção de biomassa até o período de semeadura de uma cultura de verão. No Brasil, não há uma referência bem estabelecida da área cultivada com plantas de cobertura no inverno devido a diversificação dos sistemas na entressafra, como safrinhas, pastagem, produção de grãos miúdos e pousio com infestação de plantas daninhas, o que dificulta uma medição em larga escala.

Nos EUA há um incentivo maior para a produção das plantas de cobertura, que parte desde a produção de sementes (MARTINS et al., 2021) até a venda de créditos de carbono (SELLARS et al., 2021), que impulsionou o uso devido ao atrativo econômico (BERGTOLD et al., 2019). Por outro lado, um incentivo em produzir plantas de cobertura na entressafra no Brasil é a comercialização dos grãos, como trigo e aveia, ou a produção de forragem para a atividade pecuária.

O monocultivo de soja no Brasil proporciona um balanço negativo de carbono no solo devido ao baixo aporte de biomassa, que pode levar a degradação do solo a longo prazo. Para a produção sustentável em um cenário de monocultura como no Brasil, faz-se necessário a consorciação entre a utilização de plantas de cobertura associadas ao sistema de rotação de culturas (ANGHINONI et al., 2021). Com o aumento da diversidade de espécies e do aporte de carbono no solo, há um aumento da sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas (AMBROSINI et al., 2022).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio curricular obrigatório realizado na *University of Nebraska – Lincoln* e o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso foram fundamentais à expansão e aprofundamento do conhecimento na área de manejo e conservação do solo. Ter o privilégio de acompanhar profissionais em uma instituição de pesquisa norte americana, com estudos em diferentes áreas e com metodologias específicas para conduzi-las, agregou muito as experiências pré-profissionais. É inevitável, portanto, que o contato com a academia e o corpo científico em uma universidade nos Estado Unidos trouxe luz às razões que fazem o país desenvolver inovação com amplo espectro de aplicação.

O trabalho com práticas conservacionistas de manejo do solo foram fundamentais para associar com as atividades teóricas desenvolvidas durante o curso. Está bem estabelecido que as plantas de cobertura de solo são fundamentais aos agroecossistemas em todo o mundo. Durante o estágio, foi possível observar que práticas de manejo bem conduzidas beneficiam os sistemas produtivos e o meio ambiente.

A oportunidade educacional e troca cultural com cidadãos norte-americanos e estrangeiros de várias partes do mundo, que estavam presentes na universidade, possuem caráter imensurável que foi além da academia. Além disso, o desenvolvimento de habilidades interpessoais, melhoria a tomada de decisões e aumento da produtividade foram enriquecidas pelo trabalho em grupo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; PÉREZ-GUZMÁN, L.; JOHNSON, J. M. F. Simultaneous determination of β -glucosidase, β -glucosaminidase, acid phosphomonoesterase, and arylsulfatase activities in a soil sample for a biogeochemical cycling index. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 142, p. 72–80, out. 2019.

AMBROSINI, V. G. et al. Effect of diversified cropping systems on crop yield, legacy, and budget of potassium in a subtropical Oxisol. **Field Crops Research**, [Oxford], v. 275, p. 108342, 1 jan. 2022.

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.

ASHWORTH, A. J.; OWENS, P. R.; ALLEN, F. L. Long-term cropping systems management influences soil strength and nutrient cycling. **Geoderma**, Amsterdam, v. 361, p. 114062, mar. 2020.

BAKCOM, K.; SCHOMBERG, H.; LEE, R. Cover Crop Management. In: Jason Bergtold and Marty Sailus (ed.). **Conservation Tillage Systems in the Southeast**. Washington: Digital Repository at the University of Maryland, 2020. Cap. 5, p. 56-79.

BASCHE, A. D.; DELONGE, M. S. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 14, n. 9, p. e0215702, 19 set. 2019.

BENDER, S. F.; WAGG, C.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 31, n. 6, p. 440–452, jun. 2016.

BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M.; TEI, F. The Nitrogen Use Efficiency: Meaning and Sources of Variation—Case Studies on Three Vegetable Crops in Central Italy. **HortTechnology**, Alexandria, v. 21, n. 3, p. 266–273, 1 jun. 2011.

BERGTOLD, J. S. et al. A review of economic considerations for cover crops as a conservation practice. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 34, n. 1, p. 62–76, fev. 2019.

BOESCH, D. F. Barriers and Bridges in Abating Coastal Eutrophication. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, 2019.

CARNEGIE CLASSIFICATION. **Carnegie Classification of Institutions of Higher Education**. 2022. Disponível em: <https://carnegieclassifications.acenet.edu/>. Acesso em: 5 maio. 2023.

CHINTA, Y. D.; UCHIDA, Y.; ARAKI, H. Availability of nitrogen supply from cover crops during residual decomposition by soil microorganisms and its utilization by lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 270, p. 109415, 25 ago. 2020.

DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E.; MCISAAC, G. F. Sources of Nitrate Yields in the Mississippi River Basin. **Journal of Environmental Quality**, New Delhi, v. 39, n. 5, p. 1657–1667, set. 2010.

DIETER, C. A. et al. **Estimated use of water in the United States in 2015 Estimated use of water in the United States in 2015**: Circular. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2018. Disponível em: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1441>>. Acesso em: 6 jun. 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. 2022.

EMBRAPA. **Correlação com WRB/FAO e Soil Taxonomy - SiBCS**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/correlacao-com-wrb-fao-e-soil-taxonomy>. Acesso em: 08 de jun. 2023.

FAO, **FAOSTAT - Crops and livestock products**. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 21 out. 2022.

FRASIER, I. et al. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 214, p. 104–112, 1 dez. 2017.

GLOBAL DATA LAB. **Sub-national Human Development Index**. 2022. Disponível em: <https://globaldatalab.org/shdi/shdi/>. Acesso em: 4 set. 2022.

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.

HART, C. E. et al. **The Impact of COVID-19 on Iowa's Corn, Soybean, Ethanol, Pork, and Beef Sectors**. Iowa: Center for Agricultural and Rural Development, 2020. Disponível em: <https://www.card.iastate.edu/products/publications/pdf/20pb28.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2022.

IBIS WORLD. **Nebraska: Economic Profiles**. 2023. Disponível em: <https://www.ibisworld.com/united-states/economic-profiles/nebraska/>. Acesso em: 19 jun. 2023.

KASPAR, T. C.; BAKKER, M. G. Biomass production of 12 winter cereal cover crop cultivars and their effect on subsequent no-till corn yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 70, n. 6, p. 353–364, 1 nov. 2015.

KHAN, S. et al. Impact of various irrigation practices on nitrate movement in soil profile and wheat productivity. **Applied Water Science**, Beverly, v. 10, n. 6, p. 151, 30 maio 2020.

KRUPEK, F. S. et al. Ecological intensification with soil health practices demonstrates positive impacts on multiple soil properties: A large-scale farmer-led experiment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 409, p. 115594, mar. 2022.

- LACEY, C. et al. Carbon and nitrogen release from cover crop residues and implications for cropping systems management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 75, n. 4, p. 505–514, 2020.
- LACEY, C.; ARMSTRONG, S. The Efficacy of Winter Cover Crops to Stabilize Soil Inorganic Nitrogen after Fall-Applied Anhydrous Ammonia. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 44, n. 2, p. 442–448, mar. 2015.
- LANDRISCINI, M. R. 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, 1 jan. 2019.
- LAWSON, A. et al. Nitrogen contribution of rye-hairy vetch cover crop mixtures to organically grown sweet corn. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 28, n. 1, p. 59–69, mar. 2013.
- MARCILLO, G. S.; MIGUEZ, F. E. Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 72, n. 3, p. 226–239, 2017.
- 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.
- MCGUIRE, V.L., 2017. Water-level and recoverable water in storage changes, High Plains aquifer, predevelopment to 2015 and 2013–15: **U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2017–5040**, 14 p. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/sir20175040>. Acesso em: 10 maio 2023.
- MCLELLAN, E. et al. Reducing Nitrogen Export from the Corn Belt to the Gulf of Mexico: Agricultural Strategies for Remediating Hypoxia. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 51, n. 1, p. 263–289, 2015.
- MURUNGU, F. S. et al. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter-grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 89, n. 1, p. 115–123, jan. 2011.
- NEBRASKA. **Corn Board - Golden Triangle Program**. 2022a. Disponível em: <https://nebraskacorn.gov/cornstalk/animals/golden-triangle/>. Acesso em: 10 de set. 2022.
- NEBRASKA. **Nebraska Department of Agriculture – Nebraska Agriculture**. 2023. Disponível em: https://nda.nebraska.gov/publications/ne_ag_facts_brochure.pdf. Acesso em: 4 maio. 2023.
- NEBRASKA. **Nebraska State Historical Society - Nebraska State Facts**. 2022b. Disponível em: <https://history.nebraska.gov/nebraska-state-facts>. Acesso em: 10 set. 2022.
- NEVINS, C. J.; LACEY, C.; ARMSTRONG, S. The synchrony of cover crop decomposition, enzyme activity, and nitrogen availability in a corn agroecosystem in

the Midwest United States. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 197, p. 104518, 1 mar. 2020.

NEVINS, C. J.; NAKATSU, C.; ARMSTRONG, S. Characterization of microbial community response to cover crop residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, [Oxford], v. 127, p. 39–49, dez. 2018.

POFFENBARGER, H. J. et al. Legume Proportion, Poultry Litter, and Tillage Effects on Cover Crop Decomposition. **Agronomy Journal**, Beltsville, v. 107, n. 6, p. 2083–2096, 2015.

PROKOPY, L. S. et al. The urgency of transforming the Midwestern U.S. landscape into more than corn and soybean. **Agriculture and Human Values**, Dordrecht, v. 37, n. 3, p. 537–539, 1 set. 2020.

REED, H. K. et al. Planting Green Effects on Corn and Soybean Production. **Agronomy Journal**, Beltsville, v. 111, n. 5, p. 2314–2325, 2019.

ROSA, A. T. et al. Implications of cover crop planting and termination timing on rainfed maize production in semi-arid cropping systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 271, p. 108251, set. 2021.

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.

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.

SIEVERS, T.; COOK, R. L. Aboveground and Root Decomposition of Cereal Rye and Hairy Vetch Cover Crops. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 82, n. 1, p. 147–155, 2018.

TALLIS, H. et al. Five financial incentives to revive the Gulf of Mexico dead zone and Mississippi basin soils. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 233, p. 30–38, mar. 2019.

TEASDALE, J.; MOHLER, C. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. **Weed Science**, 48(3), 385-392. 2000

THAPA, R. et al. Biomass Production and Nitrogen Accumulation by Hairy Vetch–Cereal Rye Mixtures: A Meta-Analysis. **Agronomy Journal**, Beltsville, v. 110, n. 4, p. 1197–1208, 2018.

UNITED STATES CENSUS. **Census Bureau QuickFacts: Nebraska**. Disponível em: <https://www.census.gov/quickfacts/NE>. Acesso em: 4 set. 2022.

USDA-NRCS. Natural Resources Conservation Service - **Nebraska's Soil Resources**. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/ne/soils/>. Acesso em: 21 set 2022.

VARELA, M. F. et al. Cover crop effects on soybean residue decomposition and P release in no-tillage systems of Argentina. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 143, p. 59–66, 1 nov. 2014.

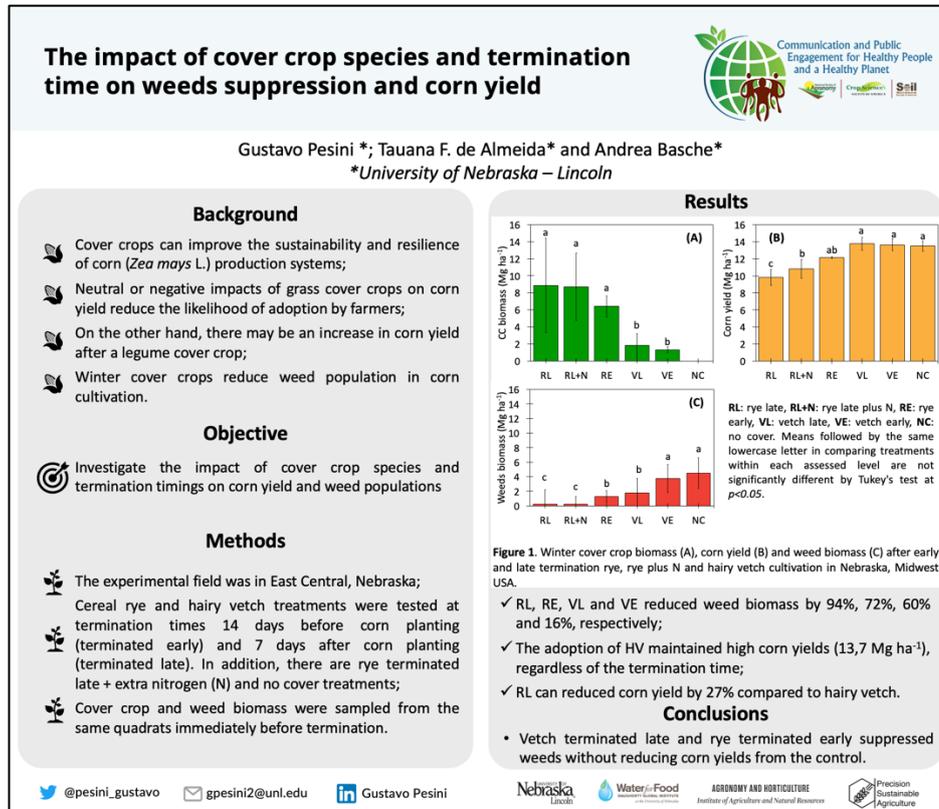
VAUGHAN, J. D.; EVANYLO, G. K. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. **Agronomy Journal**, Beltsville, v. 90, n. 4, p. 536–544, ago. 1998.

XU, Y. et al. Integrated assessment of nitrogen runoff to the Gulf of Mexico. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 67, p. 101279, fev. 2022.

ZHOU, Q. et al. Recent Rapid Increase of Cover Crop Adoption Across the U.S. Midwest Detected by Fusing Multi-Source Satellite Data. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 49, n. 22, 28 nov. 2022.

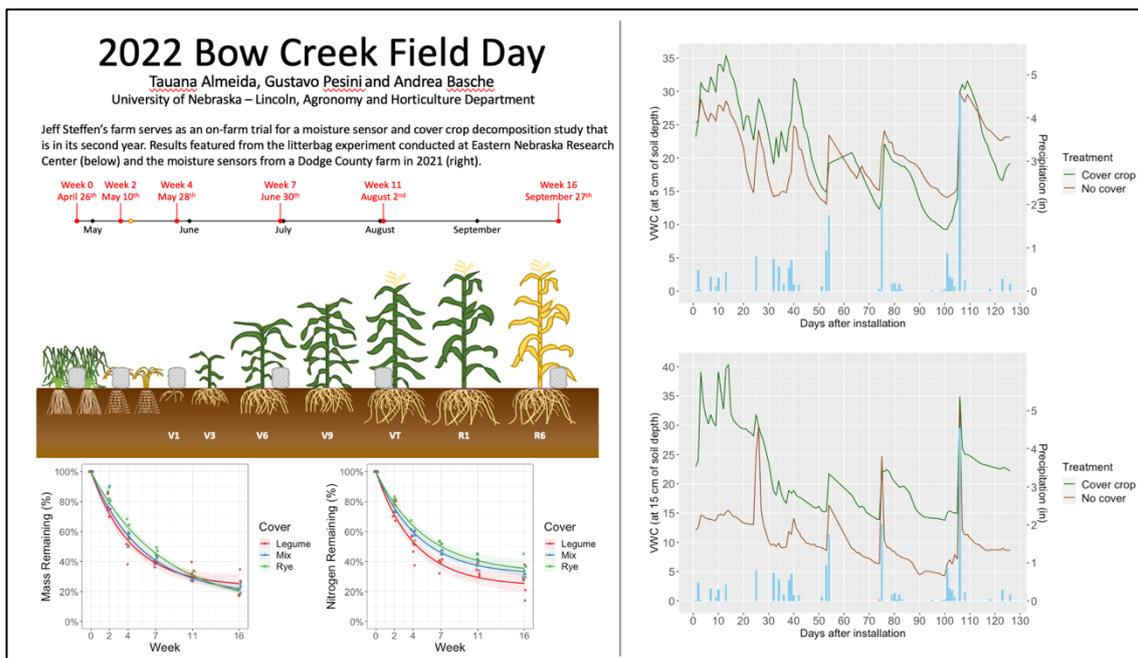
APÊNDICES

APÊNDICE A – Pôster apresentado na 2022 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting



ANEXOS

ANEXO A – Pôster apresentado aos produtores rurais de Nebraska



ANEXO B – Premiação da apresentação na 2022 *ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting*

