

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**Eficiência nutricional de nitrogênio, aminoácidos na planta e proteína
de grão de genótipos de cevada**

Catia Beatris Klein

Passo Fundo

2019

Catia Beatris Klein

Eficiência nutricional de nitrogênio, aminoácidos na planta e proteína de grão de genótipos de cevada

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Doutora em Agronomia.

Orientador:
Pedro Alexandre Varella Escosteguy

Passo Fundo

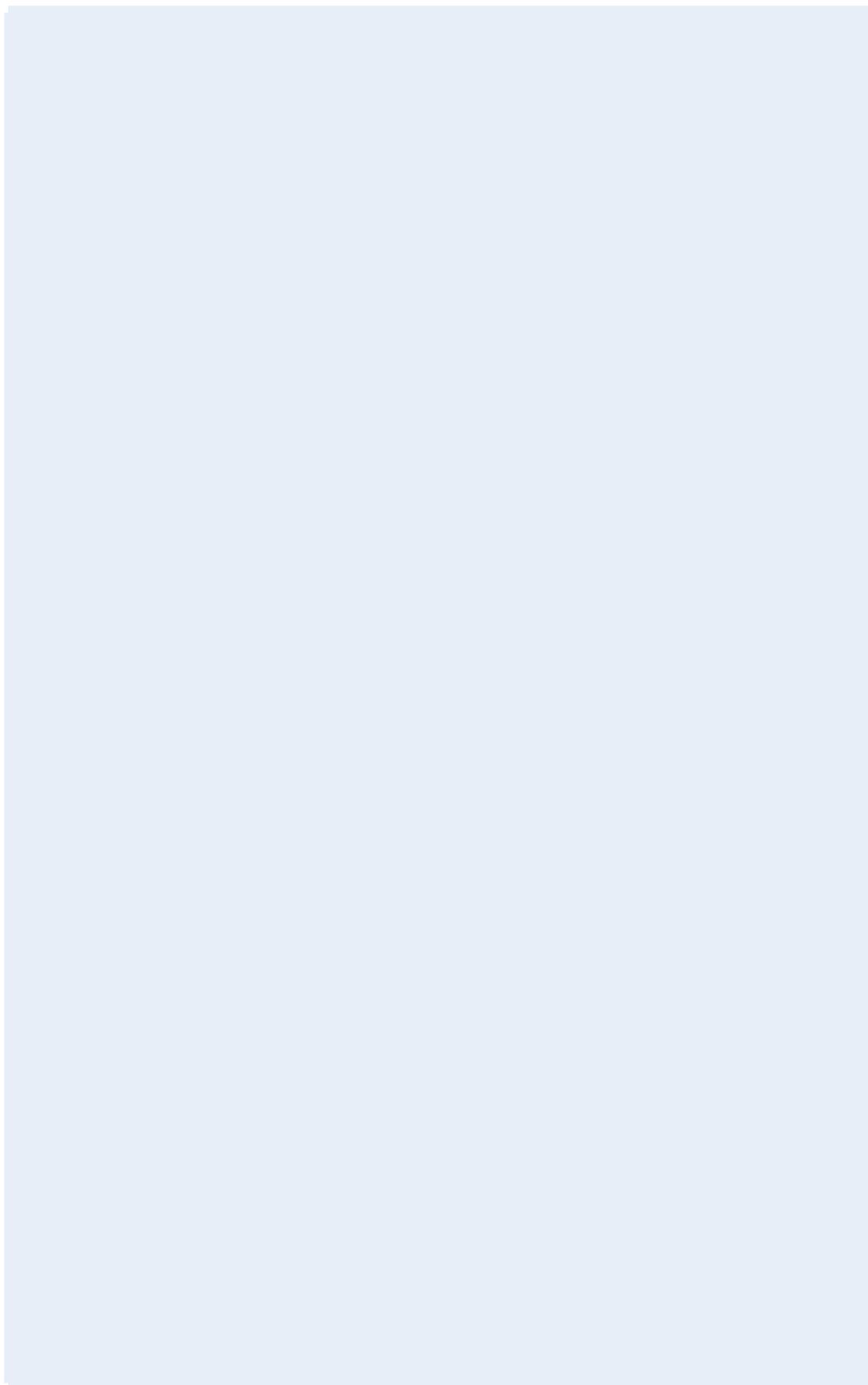
2019

CIP – Catalogação na Publicação

- K64e Klein, Catia Beatris
Eficiência nutricional de nitrogênio, aminoácidos na
planta e proteína de grão de genótipos de cevada / Catia
Beatris Klein. – 2018.
68 f. : il. ; 30 cm.
- Orientador: Pedro Alexandre Varella Escosteguy.
Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de
Passo Fundo, 2018.
1. Cevada. 2. Malte. 3. Plantas - Efeito do nitrogênio.
I. Escosteguy, Pedro Alexandre Varella, orientador.
II. Título.

CDU: 633.16

ATA DE DEFESA DA TESE



DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Ary Klein (*in memoriam*), dedico.

AGRADECIMENTOS

Sempre achei que está seria a melhor parte da tese para escrever. Talvez por poder escrever o que vem à mente através do coração, mas como descrever o agradecimento sem utilizar as ferramentas estatísticas para descobrir a significância de cada pessoa em minha trajetória.

A Deus, primeiramente.

À Universidade de Passo Fundo/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária e seus professores, pela formação de qualidade que me proporcionaram, desde a graduação até o doutorado.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Ensino Superior, pela concessão de bolsa parcial que otimizou o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Pedro A. V. Escosteguy pela orientação, que inicou em 2007 quando ingressei no Laboratório de Solos e será sempre uma referência pessoal e profissional.

Aos colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, pelo convívio, amizade e apoio durante o andamento da tese.

À empresa Ambev, em nome de Vitor Antunes Monteiro e Antonio Alberto Aguinaga por todo apoio prestado.

À minha família, em especial, ao cônjuge Michel Jardim.

A todos que direta ou indiretamente me ajudaram e comigo conviveram durante esse período, o meu muito obrigado!

EPIGRAFE

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz e os seus planos serão bem-sucedidos”.

Provérbios 16:3

RESUMO

KLEIN, Catia Beatris. Eficiência nutricional de nitrogênio, aminoácidos na planta e proteína de grão de genótipos de cevada. 2018. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

Genótipos de cevada com maior eficiência nutricional de nitrogênio e teor de proteína correspondem a demanda atual da indústria cervejeira em produzir maltes especiais. Contudo, essa eficiência é baixa, variando com fatores ambientais e genéticos. Objetivou-se verificar a variação da eficiência nutricional de nitrogênio, do teor aminoácidos da planta e de proteína do grão de genótipos de cevada cultivados sob duas doses desse nutriente. Dezoito genótipos (ABI Balster, ABI Voyager, ANA 2, ANAG 01, Andrea, BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbel, Grace, linhagens A, B, C, D, E, F, G, Merit 57 e MN 6021) foram cultivados, em solo adubado com 30 ou 95 mg/kg de nitrogênio. O experimento foi em câmaras de crescimento, com temperatura de 20 ± 2 °C, fotoperíodo de 12 h/12 h (claro/escuro) e 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de radiação fotossintetizante ativa. O delineamento foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2x18 (doses de N x genótipos de cevada), com duas repetições. A unidade experimental foi composta por vasos com 7,7 kg de solo e as plantas de cevada. Verificou-se efeito da interação entre genótipos e doses de nitrogênio na massa de grão, nos teores de proteína dessa parte da planta e de aminoácidos no xilema e no floema da espiga. As cultivares BRS Brau, Cauê e Korbel e as linhagens F e G foram as mais eficientes em produzir grão, em ambas as doses de nitrogênio. A maior correlação entre a massa seca de grão e os tipos de eficiência nutricional foram observadas com as eficiências de uso e de absorção de nitrogênio, em ambas as doses desse nutriente. As correlações desses dois tipos de eficiência e o teor de proteína do grão foram significativa somente na maior dose de nitrogênio, mas a correlação foi negativa com a eficiência de uso e positiva com a eficiência de absorção desse nutriente. A partição do nitrogênio no colmo é o caracter com a maior contribuição relativa para identificar a variabilidade genética entre os genótipos. Conclui-se que há variabilidade entre genótipos de cevada, cultivados em solo adubado com doses de nitrogênio, quanto a eficiência nutricional desse nutriente, o teor de aminoácidos da seiva do floema e do xilema da espiga e o teor de proteína do grão.

Palavras-chave: 1. Malte especial. 2. Variabilidade genética. 3. *Hordeum vulgare* L. 4. Índice de colheita. 5. Doses de nitrogênio.

ABSTRACT

KLEIN, Catia Beatris. Nutritional efficiency of nitrogen, amino acids in plants and grain protein from barley genotypes. 2018. 68 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.

Brewing industries are increasingly demanding barley genotypes with higher nitrogen nutritional efficiency and protein content to produce special malts. However, this efficiency is in general low and varies with environmental and genetic factors. The objective of this work was to evaluate the nutritional efficiency of nitrogen, plant amino acid content, and grain protein content of barley genotypes grown in soils fertilized with two nitrogen rates. Plants of 18 barley genotypes—9 cultivars (ABI-Balster, ABI-Voyager, ANA-2, ANAG-01, Andrea, BRS-Brau, BRS-Cauê, BRS-Korbel, and Grace) and 9 lineages (A, B, C, D, E, F, G, Merit-57, and MN-6021)—were grown in soils fertilized with 30 or 95 mg kg⁻¹ of nitrogen. The experiment was conducted in a two way completely randomized block design, by testing 2 N rates × 18 barley genotypes, with two replications. The experimental unit were pots with 7.7 kg of soil and barley plants. The plants were grown in growth chambers, under temperature of 20±2 °C, photoperiod of 12 hours, and photosynthetically active radiation of 500 µmol/m²/s. The interaction between genotypes and nitrogen rates had significant effect on grain weight and protein content, and amino acids in the xylem and phloem of the spike. The BRS-Brau, Cauê, and Korbel cultivars, and the F and G lineages were the most efficient genotypes in grain production, in both nitrogen rates. The highest correlations between grain dry weight and nutritional efficiency type were found for nitrogen use and absorption efficiency, in both rates of this nutrient. The correlations between these types of efficiency and grain protein content were significant only with the highest nitrogen rate, but the correlation was negative for nitrogen use efficiency, and positive for absorption efficiency. The nitrogen distribution in the stem had the highest relative contribution to determine the genetic variability among the genotypes. The nutritional efficiency of nitrogen, amino acid content in the phloem and xylem of the spike, and grain protein content of the barley plants present variability due to the genotypes and soil nitrogen fertilization rates.

Key words: 1. Special malt. 2. Genetic variability. 3. *Hordeum vulgare* L. 4. Harvest index. 5. Nitrogen rates.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 15 |
| 2.1 | <i>Cevada cervejeira</i> | 15 |
| 2.1.1 | Qualidade de grão para malte | 16 |
| 2.2 | <i>Nitrogênio</i> | 17 |
| 2.2.1 | Adubação nitrogenada | 18 |
| 2.2.2 | Absorção e assimilação pelas plantas | 19 |
| 2.2.3 | Translocação e remobilização de compostos nitrogenados | 20 |
| 2.2.4 | Eficiência nutricional | 22 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 26 |
| 3.1 | <i>Genótipos de cevada</i> | 26 |
| 3.2 | <i>Delineamento e tratamentos</i> | 26 |
| 3.3 | <i>Procedimentos experimentais</i> | 26 |
| 3.3.1 | Caracteres avaliados | 29 |
| 3.4 | <i>Análise de dados</i> | 32 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 | <i>Diferença entre genótipos e resposta a adubação nitrogenada</i> | 35 |
| 4.2 | <i>Resposta a aplicação de nitrogênio e eficiência de uso desse nutriente</i> | 45 |
| 4.4 | <i>Análise multivariada</i> | 52 |
| 5 | CONCLUSÕES | 59 |
| | REFERÊNCIAS | 60 |

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) representa o quinto lugar em volume de grãos e importância econômica em nível mundial. O mercado consumidor demanda os grãos de cevada, principalmente, para a indústria cervejeira, o que representa mais de 95% da cevada cultivada no Brasil. Os programas de melhoramento genético de cevada no Brasil possuem como foco a qualidade cervejeira de maltes tradicionais. Tem sido crescente a produção de maltes especiais, para atender cervejarias que produzem diferentes estilos cervejeiros. O malte especial é obtido com grãos de cevada com teor de proteína acima de 12%. Porém, genótipos adaptados ao clima regional não ultrapassam esse teor de proteína, mesmo com aumento da adubação nitrogenada. Acredita-se que isto é devido ao processo de seleção de genótipos, nos programas de melhoramento, que selecionam cultivares com teores abaixo de 12%, com vista a produção de malte tradicional.

A produção nacional de cevada cervejeira não é suficiente para a demanda do consumo interno e a qualidade do malte produzido é inferior à de outros países. O aspecto de quantidade e qualidade do malte brasileiro resulta em um alto índice de importação de cevada.

Um componente que influencia a qualidade da cevada cervejeira é o teor de nitrogênio (N) no grão. A qualidade do produto final ocorre pela interação de fatores como o ambiente de cultivo e as características morfológicas e composicionais dos genótipos de cevada cervejeira. O N é o principal responsável pelo aumento do rendimento de grãos e pelo teor de proteína no grão. A eficiência agronômica da adubação nitrogenada depende das condições do solo e do clima, e das características da planta, como taxa de absorção e eficiência de utilização do N. A eficiência do uso do N pode ser influenciada pelo genótipo das plantas.

A qualidade dos grãos da cevada é fator determinante para a sua utilização na indústria. As características qualitativas estão relacionadas, principalmente, à qualidade do malte, que por sua vez possui relação com o teor de N do grão. O acúmulo de N determina o teor de proteína nos grãos. As proteínas são sintetizadas essencialmente a partir do N absorvido pela planta, sendo influenciada por fatores ambientais e pela genética dos genótipos.

O N é o principal responsável, além da qualidade do grão, pelo aumento de rendimento de grãos. Genótipos de cevada eficientes no uso de N aumentam a produção de grãos, reduzem o uso de fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, reduzem o custo de insumos. O rendimento de grão e o teor de proteína do grão são os caracteres de maior importância econômica para o agricultor que produz cevada.

A caracterização e a diversidade de genótipos de cevada são importantes em programas de melhoramento, tanto para a obtenção de populações com ampla variabilidade genética, como para a busca das melhores combinações de cruzamento quando se objetiva maior rendimento de proteína.

Selecionar genótipos com maior rendimento de grão e acúmulo de proteína tem sido o desafio de alguns programas de melhoramento, que visam obter genótipos adequados para maltes especiais. Considerando que os genótipos de cevada exibam variabilidade quanto à eficiência nutricional ao N no teor de proteína no grão, a concentração de aminoácidos da seiva do floema poderia explicar tais diferenças.

O fluxo de aminoácido na cevada é um dos mecanismos que regula a absorção de N (ALCANTARA et al., 2009, p. 12). Esse mecanismo pode ser utilizado para identificar a capacidade de genótipos de cevada com maior capacidade de acúmulo de proteína no grão.

Nesta tese, a pergunta de pesquisa consiste em:

Há variabilidade em cevada cervejeira quanto à eficiência nutricional do nitrogênio, teor de aminoácidos na planta e de proteína do grão, quando cultivada em solo adubado com duas doses de nitrogênio?

A hipótese testada neste trabalho foi a de que há variação genotípica em cevada quanto à eficiência nutricional do nitrogênio, teor de aminoácidos na planta e de proteína do grão, quando cultivada em solo adubado com duas doses de nitrogênio.

Assim, objetivou-se verificar a variação da eficiência nutricional do nitrogênio, teor de aminoácidos na planta e de proteína do grão, quando cultivada em solo adubado com duas doses de nitrogênio.

Os objetivos específicos foram:

a) avaliar se o teor de proteína e a massa seca do grão e o teor de aminoácidos da seiva do xilema e do floema variam entre linhagens e cultivares de cevada cervejeira e se respondem distintamente à adubação nitrogenada;

b) verificar se genótipos de cevada respondem a aplicação de nitrogênio e se são eficientes no uso desse nutriente, em relação a massa seca e o teor de proteína do grão;

c) verificar se a eficiência de uso, de absorção e de utilização de nitrogênio e os índices de colheita de grão e de nitrogênio se correlacionam com o teor de proteína e a massa seca de grão;

d) verificar e ilustrar a divergência genética dos genótipos de cevada;

Com o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados pela cevada, a indústria cervejeira e o produtor serão beneficiados. Com grãos de qualidade, conforme exigência da indústria, essa produz produtos de melhor qualidade e o agricultor recebe melhor remuneração. Conhecendo o desempenho agrônômico e a eficiência de uso de N

no grão dos genótipos é possível identificar se há diferença na capacidade de expressar o teor de proteína nos grãos de cevada.

Com a determinação de uma correlação entre os caracteres do desempenho agrônomo de cevadas cervejeiras e o teor de N do grão, a ciência pode ser beneficiada e instigar a realização de novas pesquisas que esclareçam os mecanismos que definam o potencial de N do grão de cevada, avançando o conhecimento que se obtém até o momento.

A estrutura deste documento se configura da seguinte forma: a primeira seção é composta por esta introdução; na segunda seção, é apresentada a revisão da literatura, abordando cevada cervejeira, qualidade de grão para malte, adubação nitrogenada, absorção e assimilação de N pelas plantas, translocação e remobilização de compostos nitrogenados e eficiência nutricional; na terceira seção, apresentam-se os materiais e métodos; na quarta, são apresentados os resultados e sua discussão e, por fim, na quinta seção, são apresentadas as conclusões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cevada cervejeira

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) possui o ciclo de aproximadamente 100 a 140 dias. É uma planta herbácea com altura ente 60 a 110 centímetros, de ciclo anual e raiz fasciculada (EMBRAPA, 2017). As espiguetas são agrupadas em inflorescências do tipo espiga dística e possuem aristas longas. Os grãos na espiga podem ser alinhados em duas ou seis fileiras. A composição da cevada de duas fileiras é considerada ideal para a produção de cerveja, sendo conhecida como cevada cervejeira (HOUGH, 1990, p. 14).

A cevada representa o quinto lugar em volume de colheita de grãos e importância econômica em nível mundial. É usada para alimentação animal e humana, porém, economicamente, é mais importante para indústria cervejeira, assim como é o principal cereal utilizado para a produção de malte cervejeiro. Os programas de melhoramento genético de cevada no Brasil possuem como foco a qualidade cervejeira, pois mais de 95% da cevada é cultivada para fins cervejeiros (EMBRAPA, 2017).

A cevada cervejeira é uma importante alternativa de cultivo de inverno para a Região Sul do Brasil, tendo como principais vantagens, sobre as outras culturas, o alto potencial de rendimento das cultivares disponíveis e a liquidez de mercado (definido em contrato de compra e venda entre produtor e indústria), possibilitando ao produtor um melhor planejamento de sua propriedade rural (EMBRAPA, 2017).

A produção de maltes especiais tem sido crescente, mas a indústria brasileira tem dificuldade em atender a essa demanda, principalmente, devido ao menor teor de proteína dos genótipos. Em parte, essa característica dos genótipos brasileiros resulta de muitos anos de melhoramento genético, priorizando a seleção de genótipos para a produção de

malte tradicional, cujo teor de proteína adequado é menor que 12%. Por outro lado, teor mais elevado que esse é necessário para maltes especiais (KUNZE, 1994).

2.1.1 Qualidade de grão para malte

Grãos de cevada requerem características que atendam a exigência da indústria cervejeira, pois influenciam a qualidade do malte, que é importante para a qualidade da cerveja. Isso porque a composição da cerveja é resultante das características físico-químicas e organolépticas (aroma e paladar) (KUNZE, 2006). Além dessas características, para garantir um malte cervejeiro de qualidade, fatores como variedade, viabilidade, composição, umidade, tamanho do grão e poder germinativo devem ser considerados (PROUDLOVE; DAVIES; MCGILL, 1990).

O mercado brasileiro de cevada cervejeira segue os padrões de qualidade estabelecidos na Portaria 691/96 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Segundo essa portaria, a cevada para malte deve apresentar índice mínimo de 95% de poder germinativo e máximo de 13% para umidade, 12% para proteínas, 3% para matérias estranhas e 5% para grãos avariados (EMBRAPA, 2017). A qualidade do malte depende da composição do grão e é afetada pelo genótipo, ambiente e manejo e, especialmente, pela adubação nitrogenada. A influência da composição do grão depende de vários fatores, principalmente, da quantidade e da propriedade de proteínas e aminoácidos. Assim, o teor de proteína dos grãos é de grande interesse agrônomo (VELIZ et al., 2014).

Teores de proteína maiores que o 12% em grão de cevada é indesejável para a indústria cervejeira que fabrica maltes tradicionais porque prolonga o processo de maltagem e produz cerveja com baixa estabilidade (BERTHOLDSSON, 1999). Entretanto, com o melhoramento genético, houve aumento do rendimento de grão das cultivares de cevada. Isso resultou de cruzamentos artificiais com materiais europeus e de outros países, com maiores potenciais produtivos, mas menores teores de proteína do grão. Há tendência de maiores teores de proteínas em materiais com menor potencial

produtivo, tendo em vista que, quando o rendimento de grão é baixo, o conteúdo proteico é distribuído entre os grãos produzidos (KREN et al., 2014; O'DONOVAN et al., 2011).

A qualidade da cevada, em relação à qualidade malteira, pode ser melhorada com práticas agronômicas, como a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a seleção de genótipos adequados (EDNEY et al., 2012; O'DONOVAN et al., 2011). A variabilidade entre as cultivares tem sido demonstrada em estudos realizados em outros países (CANCI et al., 2003; FOX et al., 2006; MOLINA-CANO et al., 1997).

2.2 Nitrogênio

Por ser um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas, o N é componente de clorofilas, proteínas, aminoácidos e enzimas. Esse nutriente influencia a formação de raízes, a fotossíntese, a produção, a translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento da planta. O N é um dos principais constituintes dos aminoácidos e, portanto, é necessário para a síntese de proteínas e de outros compostos (TUCKER, 1999). O teor de proteína também é influenciado por características genéticas da planta (QI; ZHANG; ZHOU, 2006). Dessa forma, o N é um elemento chave para a obtenção de maior rendimento e melhor qualidade de grãos de cereais (KAZEMZADEH; PEIGHAMBAR DOUST, 2013; KRAISER et al., 2011).

A principal função das proteínas de armazenamento em cevada é a reserva de N. Durante a germinação, as proteínas são mobilizadas por enzimas hidrolíticas, peptídeos e aminoácidos, para serem utilizadas no crescimento das plântulas (GUBATZ; SHEWRY, 2011). Nas folhas fotossinteticamente ativas, até 75% do N está na forma de proteína, encontrando-se no cloroplasto (HORTENSTEINER; FELLER, 2002).

A principal finalidade do N, em grãos de cereais, é a produção de proteínas, porém vários processos estão envolvidos, como a absorção, a assimilação, a translocação e a remobilização desse nutriente (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010; XU; FAN; MILLER, 2012).

2.2.1 Adubação nitrogenada

A eficiência da adubação nitrogenada depende de condições edáficas e meteorológicas, das características de cada genótipo, como a taxa de absorção e a eficiência de utilização do nutriente (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007). Também depende, das práticas de manejo, como época, dose, forma de aplicação e da fonte de fertilizante utilizada (FONTOURA et al., 2013).

A época de aplicação de N em cereais é umas das principais formas para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, aumentando o rendimento de grão (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007), desde que a adubação nitrogenada seja eficiente (SOLTANI et al., 2013). Isso ocorre quando há maior disponibilidade de N e maior contato entre o solo e a raiz, estimulando o crescimento da planta (EBRAHIMIAN et al., 2016).

Os estádios de maior demanda de N pela planta estão relacionados, principalmente, com a época de formação das estruturas que originam os componentes do rendimento. Cada componente do rendimento tem resposta diferenciada, em relação à adubação nitrogenada, de acordo com o estágio fenológico. Por isso, é necessário estabelecer os estádios fenológicos da cultura, em que se deve aplicar N para propiciar as melhores condições (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007).

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, por meio da Comissão de Química e Fertilidade do Solo, sugere a seguinte recomendação de N, para a cultura da cevada:

Aplicar 15 a 20 kg de N/ha na semeadura e o restante em cobertura, no início do afilhamento (em geral, entre 30 e 45 dias após a emergência). Em cultivares resistentes ao acamamento, não aplicar mais que 80 kg de N/ha. Quantidades maiores que 40 kg de N/ha podem ser parceladas, em duas aplicações: no início do afilhamento e, o restante, no início do alongamento (CQFS-RS/SC, 2016, p. 121).

2.2.2 Absorção e assimilação pelas plantas

A absorção e assimilação de N pela planta são processos regulados ao metabolismo geral da planta. São processos complexos e específicos, assim como limitantes para o incremento do rendimento de grão. A incorporação de nutrientes minerais em substâncias orgânicas, tais como pigmentos, co-fatores enzimáticos, lipídios, ácidos nucleicos e aminoácidos, é denominada de assimilação, que por sua vez requer uma série de reações bioquímicas que estão entre as reações que mais requerem energia nos organismos vivos (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 355).

A absorção do N ocorre nas formas de nitrato e de amônio, que atravessam a membrana plasmática das células da epiderme e do córtex da raiz por meio de transportadores ou carregadores específicos (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Esses transportadores podem ser de baixa ou alta afinidade, os transportadores de baixa afinidade operam quando a concentração externa de N é alta e são caracterizados por serem constitutivos e não sujeitos à regulação. Já os transportadores de alta afinidade atuam em baixas concentrações externas de N e podem ser constitutivos ou induzidos pela exposição ao N (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 361).

O teor absorvido de N varia durante o ciclo de desenvolvimento da planta, em função da quantidade de raízes e da taxa de absorção por unidade de peso de raiz (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Os mecanismos internos, como o fluxo de aminoácidos entre o colmo e a raiz e o suprimento de carboidratos às raízes influenciam a absorção de N pela planta (IMSANDE; TOURAINÉ, 1994). Esses autores observaram que o nível de aminoácidos no floema da raiz regula a absorção e a assimilação de N pelas plantas. Além disso, constataram que as taxas de síntese de aminoácidos nas folhas são maiores, onde são utilizados para a síntese de clorofila, rubisco e proteínas, mas é menor o nível de aminoácidos no floema que entra nas raízes.

O N pode ser assimilado na raiz ou ser transportado para as folhas, local onde ocorre a assimilação, com energia gerada na fotossíntese, no citosol e nos mitocôndrios (HUPPE; TURPIN, 1994). A forma de assimilação de N depende da forma em que ele é

obtido pela planta. Se o N é fornecido na forma de nitrato, a planta, primeiramente, reduz esse íon para nitrito e, então, para amônio, sendo este último assimilado nos compostos orgânicos (aminoácidos). Quando a planta absorve amônio, ele pode ser imediatamente assimilado em compostos orgânicos (TAIZ, ZEIGER, 2013, p. 358). A exigência energética da assimilação do amônio é menor do que a exigência energética para a assimilação do nitrato, em razão do primeiro não precisar ser reduzido para sua incorporação em aminoácidos (ALCANTARA et al., 2009, p. 14).

Durante o período de enchimento de grão, em condições de deficiência de N no solo, a absorção desse nutriente pode ser menor que a demanda da espiga, onde ocorre a síntese das proteínas nos grãos (BARNEIX, 2007). Em condição contrária, a capacidade da raiz absorver N é reprimida, porque os tecidos estão com alta concentração de aminoácidos, reduzindo a sua absorção. Essa redução da absorção limita a exportação de aminoácidos para o floema. Pode ocorrer ainda, em plantas com teor alto de N, a manutenção de elevado nível de citocininas, resultando na não degradação das proteínas.

2.2.3 Translocação e remobilização de compostos nitrogenados

O sistema vascular da planta é a principal rota de transporte de proteínas e aminoácidos. Esse sistema consiste de duas vias, o xilema, que conduz água e nutrientes, e o floema, que transporta compostos orgânicos como aminoácidos (LUCAS et al., 2013). Enquanto o transporte via xilema é unidirecional, ocorrendo sempre da raiz para a parte aérea da planta, seguindo a corrente transpiratória, o transporte via floema pode ocorrer bidirecionalmente, ou seja, da parte aérea para a raiz e da raiz para a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 144).

A translocação dos solutos no sistema vascular ocorre nos estádios vegetativo e reprodutivo. Durante o crescimento das plantas, os solutos são direcionados para as novas folhas, desenvolvendo ápices, estruturas florais e sementes em que ocorre o processamento metabólico (WILLIAMS; MILLER, 2001). No período da maturação, a remobilização de metabólitos e minerais ocorre das folhas senescentes para o armazenamento em órgãos reprodutivos, como sementes (MAILLARD et al., 2015).

A remobilização de compostos nitrogenados das folhas para os grãos não é exclusivamente regulada pelas proteínas de armazenamento dos grãos, e pode ser aumentada pela incorporação instantânea de aminoácidos (EGLE; BESCHOW; MERBACH, 2015). A baixa degradação das proteínas diminui a taxa de exportação de aminoácidos livres no floema. A concentração de proteína do grão, no estágio da maturação, expressa o potencial genético e a matéria seca da planta vai ter alta concentração de N, diminuindo o índice de colheita (BARNEIX, 2007).

Durante o período reprodutivo, a remobilização de N é alterada para o desenvolvimento das inflorescências. Os carboidratos vindos da parte aérea geram a energia para as raízes, que absorvem os íons (HUPPE; TURPIN, 1994). A cada emissão de folhas, parte dos carboidratos é direcionada para as folhas novas, ocorrendo diminuição na taxa de translocação de compostos para o sistema radicular, diminuindo a disponibilidade de energia nas raízes, o que reduz a taxa de absorção de N (ALCANTARA et al., 2009, p. 13).

Aminoácidos são transportados pelo floema pela força hidrostática, a qual é gerada pela diferença de pressão entre fonte e dreno (STEFANUTTO; GONÇALVEZ, 2012). Os tecidos dos colmos das plantas consistem de espaços intercelulares e de espaço vacuolar (DONG et al., 1994). A seiva desses espaços está envolvida com o transporte de minerais importantes para a nutrição da planta (STEFANUTTO; GONÇALVEZ, 2012).

No enchimento de grãos, o N remobilizado para esse órgão é, predominantemente, fornecido das folhas e dos caules. Além disso, o N do grão é resultante da absorção de N do solo. Em grande parte, a remobilização do N ocorre com os aminoácidos. Essa remobilização representa um fator-chave para a eficiência de uso do N e para o rendimento de proteína porque a absorção de N do solo diminui, durante a maturação da planta e o enchimento de grãos (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010).

Embora as plantas tenham sistemas altamente eficientes para a absorção de N em diferentes concentrações (MILLER; SHEN; XU, 2009), havendo períodos de limitação de N, pode ocorrer reajuste metabólico e impactar no rendimento das culturas

(COMADIRA et al., 2015). A deficiência de N estimula a expressão de genes envolvidos no catabolismo de aminoácidos e degradação proteica (SCHLÜTER et al., 2012).

O crescimento de plantas, em condição de deficiência de N resulta na utilização do N disponível em processos metabólicos essenciais e síntese de compostos de defesa, e as plantas apresentam várias respostas adaptativas. Por exemplo, teores de proteína foliar e altos níveis de aminoácidos podem ser mantidos sob deficiência de N se a taxa de crescimento for baixa (TSCHOEP et al., 2009). A limitação prolongada do N diminui a clorofila nas folhas, uma característica da senescência, porém os níveis de proteína permanecem constantes durante o período de deficiência de N, embora os valores sejam inferiores aos de folhas cultivadas em condições sem deficiência (COMADIRA et al., 2015). Durante o enchimento de grãos ocorre o acúmulo de N e compostos nitrogenados na espiga (ZHANG et al., 2007). Contudo, não há evidência sobre os fatores que controlam o transporte desses compostos nos grãos (EGLE; BESCHOW; MERBACH, 2015).

2.2.4 Eficiência nutricional

A utilização de plantas mais eficientes em nutrientes é importante para melhorar a eficiência de uso de N das culturas (HAKEEM et al., 2011; WEIH; ASPLUND; BERGKVIST, 2011). A eficiência nutricional das plantas cultivadas é obtida aumentando o rendimento de grãos e reduzindo o uso de fertilizantes, com consequente diminuição dos custos (GONDIM et al., 2010).

Uma definição comum na literatura é que a eficiência nutricional expressa a relação entre a produção obtida (matéria seca ou grãos) e os insumos aplicados (FAGERIA, 1998). Para conceituar a eficiência nutricional é necessário levar em consideração que a diferença entre genótipos referentes a esta característica está relacionada com a absorção, o transporte e a utilização no interior da planta, que são afetados por fatores morfológicos e fisiológicos, assim como pela demanda por nutrientes (MARSCHNER, 2012, p. 233).

Os mecanismos que envolvem a aquisição e a utilização de nutrientes devem ser bem interpretados, para que não ocorram equívocos no estudo nutricional, pois cultivares podem apresentar semelhanças na absorção ou no acúmulo de um determinado nutriente, mas, mesmo assim podem acontecer diferenças na produção de biomassa (EBERHARDT; SILVA; RIEFFEL NETO, 1999).

A demanda nutricional é impulsionada pelo metabolismo da planta. Desta forma, os fatores intrínsecos das plantas e os fatores ambientais podem interferir no processo de absorção de nutrientes. A eficiência de absorção de nutrientes das plantas está relacionada a alguns fatores, como volume e arquitetura do sistema radicular, alterações químicas na rizosfera, tolerância a condições de baixo pH, taxa mais rápida de absorção sob condições de baixas concentrações de nutrientes, entre outros (FAGERIA, 1998; FAGERIA; MOREIRA, 2011). Os aspectos morfológicos radiciais podem refletir em diferenças na capacidade das raízes explorarem o solo e, conseqüentemente, de absorver água e nutrientes. A variabilidade genética existente reflete nas diferenças dos aspectos morfológicos.

Trabalhos de pesquisa mostraram que a eficiência da adubação nitrogenada tende a decrescer com o aumento da quantidade de N aplicada (FAGERIA, 1998; FONTOURA et al., 2013). Essa eficiência pode ser mensurada pela quantidade do N aplicado com o fertilizante, que é recuperada pela planta (FAGERIA, 1998).

A eficiência nutricional é diretamente proporcional à eficiência de absorção (EAN), de remobilização (ERN) e de utilização de N (EUtN) (BECHE et al., 2014). A eficiência de uso de N (EUN) seria o produto da EAN pela EUtN. Essas eficiências dependem das características morfológicas e fisiológicas e da demanda dos genótipos por esse nutriente (MARSCHNER, 2012, p. 232). Embora a eficiência nutricional pode ser caracterizada por vários tipos de eficiência, como EAN, ERN e EUtN, a EUN tem sido a mais utilizada (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001; GARNETT et al., 2015; MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010).

A EUN de um genótipo depende da EAN e da EUtN (GOOD; SHRAWAT; MUENCH, 2004; MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982). A EAN expressa a quantidade do N que foi aplicado e absorvido pelo genótipo, enquanto que a EUtN expressa a quantidade desse nutriente presente na parte colhida (HAWKESFORD, 2012). Assim, a EUN reflete o rendimento de massa seca de grão, em função da quantidade total de N absorvida pela planta (ABELEDIO; CALDERINI; SLAFER, 2008; FAGERIA; BALIGAR, 2005).

Genótipos com maior EUN, geralmente, além de terem maior rendimento de grão, têm maior teor e produção de proteína (GONDIM et al., 2010; MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010). Assim, genótipos com maior eficiência requerem menor quantidade de fertilizante nitrogenado por unidade de produto colhido (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007), com conseqüente diminuição de custos (GONDIM et al., 2010), mas com boa produção e qualidade de grão.

Em cereais, a EUN é baixa (RAUN et al., 2002), principalmente, devido à baixa recuperação do N aplicado, cerca de 40% (SYLVESTER-BRADLEY; KINDRED, 2009). Embora isso tenha relação com a perda do N aplicado no solo por inúmeros processos, como lixiviação, volatilização e desnitrificação (TIDAKERA et al., 2016), geralmente expressiva, essa baixa eficiência pode ser melhorada utilizando genótipos com maior eficiência nutricional (RASMUSSEN; DRESSBOLL; THORUP-KRISTENSEN, 2015).

Melhorando a eficiência do uso de N por meio do melhoramento de plantas pode melhorar aspectos qualitativos e quantitativos dos grãos, assim como reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados, e dessa forma reduzir o custo de insumos e a contaminação do meio ambiente (ANBESSA; JUSKIW, 2012).

Em programas de melhoramento, a caracterização e a avaliação da diversidade dos genótipos são importantes, quando se objetiva maior rendimento de grãos e percentual de proteína, tanto para a obtenção de populações com ampla variabilidade genética, como para a busca das melhores combinações de cruzamento (MOHAMMADI; PRASANNA, 2003).

Cultivares de cevada diferem em sua resposta à adubação nitrogenada e ao acúmulo de proteína no grão (O'DONOVAN et al., 2011, 2015). O teor de proteína dos grãos de cevada é instável, pois é desencadeado pela resposta de cada genótipo e a sua interação com fatores ambientais (QI et al., 2005). Assim como os fatores que afetam o rendimento de grãos são as condições climáticas, a adubação nitrogenada e o genótipo (KREN et al., 2014; MIRALLES; ARISNABARRETA; ALZUETA, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Genótipos de cevada

Dezoito genótipos de cevada, obtidos por diferentes instituições, foram utilizadas no trabalho. Os genótipos avaliados foram onze cultivares e sete linhagens (Tabela 1). A escolha das cultivares foi motivada por serem as mais utilizadas para a produção de cevada cervejeira, no Brasil, e por terem genealogia e origem distintas. As linhagens utilizadas foram sugeridas pela Ambev, que considerou o potencial dessas em acumular proteína no grão, além dos outros critérios mencionados.

3.2 Delineamento e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 18 (dose de N x genótipo de cevada), com duas repetições. As doses de N foram 30 e 95 mg N/kg de solo (0,23 e 0,73 g N/vaso). A unidade experimental foi composta por vasos retangulares de 8 L (44 cm de comprimento, 15 cm de largura e 12 cm de altura), contendo 7,7 kg solo/vaso.

3.3 Procedimentos experimentais

O experimento foi conduzido em câmaras de crescimento com ambiente controlado (Figura 1C) (20 ± 2 °C), fotoperíodo de 12 h/12 h (claro/escuro) e 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ radiação fotossintetizante ativa, na Universidade de Passo Fundo, em Passo Fundo, RS, em 2016.

As sementes foram tratadas para superar a dormência, com pré-esfriamento à 5 °C, por sete dias. Os vasos, contendo 7,7 kg de solo seco, receberam 22 sementes pré-germinadas (Figura 1A) (papel Germitest, 20 °C, 7 dias). Dessas 22 plântulas, duas eram

Tabela 1 - País de origem e genealogia dos genótipos de cevada utilizados no trabalho

| Genótipo | Genealogia | País | Lançamento | Proteína (%) * | PMG (g) * | Empresa (Obtendor) |
|-------------|--|------------------|------------|----------------|-----------|--------------------|
| ABI Balster | 2B99 2763/2B00 0719 | Estados Unidos | 2015 | 11,4 | 45,2 | Inbev |
| ABI Voyager | 2B96 5038/2B97 4796 | Estados Unidos | 2000 | 12,4 | 43,2 | Inbev |
| ANA 2 | Conchita/Lilly | Brasil/Alemanha | 2017 | 10,5 | 41,0 | Fapa |
| ANAG 01 | Alwyene/Shakira | Brasil/Alemanha | 2015 | 11,4 | 41,7 | Fapa |
| Andrea | ... | Argentina | 2011 | 12,6 | 48,3 | Ambev |
| BRS Brau | MN 698/3/BRS 195//Schooner/Embrapa 129 | Brasil | 2009 | 10,7 | 46,6 | Embrapa |
| BRS Cauê | BRS Borema/BRS 195 | Brasil | 2008 | 11,0 | 39,9 | Embrapa |
| BRS Korbel | BRS Sampa/BRS Danuta | Brasil | 2013 | 12,2 | 44,0 | Embrapa |
| Grace | ... | Uruguai | 2008 | 13,4 | 43,5 | Ambev |
| Linhagem A | ... | Brasil | ... | 10,2 | 41,6 | Fapa |
| Linhagem B | LP 620.3.99/Vivendi | República Tcheca | ... | 12,2 | 41,9 | Limagrain |
| Linhagem C | BRS 195/MN 858 | Brasil | ... | 11,3 | 40,0 | Ambev |
| Linhagem D | ABRS02 152/BRS 195 | Brasil | ... | 12,3 | 43,6 | Ambev |
| Linhagem E | ... | Brasil | ... | 10,8 | 39,6 | Ambev |
| Linhagem F | ... | Brasil | ... | 11,0 | 41,0 | Fapa |
| Linhagem G | ... | Brasil | ... | 11,1 | 44,3 | Fapa |
| Merit 57 | C96-4052/ C96-4009 | Estados Unidos | 1996 | 12,2 | 46,2 | Inbev |
| MN 6021 | Dominique/Quilmes Ayelen | Argentina | 2012 | 10,9 | 38,8 | Ambev |

Fonte: elaborado pelo autor, com as informações de Vítor Antunes Monteiro (Pesquisa e Desenvolvimento de Cevada, Ambev-Brasil).

* Análise realizada pela autora com as sementes recebidas para a implantação do experimento.

... Dado numérico não disponível.

reservas, em caso de não haver o desenvolvimento de alguma plântula. Assim, a população de plantas do experimento foi 20 por vaso, equivalente a 300 sementes/m².

Figura 1 - Plântulas de cevada germinada em papel Germitest (A) e no estabelecimento (B) e plantas já estabelecidas na câmara de crescimento (C). Passo Fundo – 2016



Fotografias: Catia Beatris Klein

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico húmico, proveniente da Área Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF. Ele foi cultivado com culturas de grãos, em semeadura direta e com rotação de culturas, nos últimos de 15 anos. Esse solo foi analisado, conforme Tedesco et al. (1995), e os resultados indicaram: 5,5 de pH em água; 5,8 cmol_c/dm³ de H+Al (pH 7,0); 0,0 cmol_c/dm³ de Al trocável; 5,3 cmol_c/dm³ de Ca trocável; 2,4 cmol_c/dm³ de Mg trocável; 287 mg/dm³ de K disponível; 14,1 mg/dm³ de P disponível; 3,0% de matéria orgânica oxidável (solução sulfocrômica); 60% de saturação por bases; CTC potencial (pH 7,0) de 13,8 cmol_c/dm³; 40,0 mg/dm³ de enxofre; 0,3 mg/dm³ de boro; 17,9 mg/dm³ de manganês; 2,7 mg/dm³ de zinco e 1,4 mg/dm³ de cobre.

A aplicação de N foi em três épocas: 15 mg N/kg de solo, em semeadura; 60% do restante da dose de N, no início do perfilhamento; e 40% do restante da dose no final do perfilhamento. A ureia (45% de N) foi utilizada como fonte de N, após ser diluída em água destilada.

A quantidade de água acrescentada em cada vaso foi o necessário para manter a umidade do solo a 70% do valor da capacidade de retenção de água. O volume adicionado de água foi calculado com a pesagem dos vasos.

O controle de plantas daninhas nos vasos foi realizado manualmente, com a retirada das plantas indesejáveis, logo após a emergência. As pragas foram controladas preventivamente, com atenção especial aos afídeos, utilizando o inseticida imidacloprido. O controle de doenças fúngicas da parte aérea foi realizado com o fungicida azoxistrobina + ciproconazol (0,3 L de princípio ativo/ha) mais óleo mineral.

3.3.1 Caracteres avaliados

Foram avaliados 28 caracteres (Tabela 2). A extração de aminoácidos da seiva foi realizada conforme metodologia descrita por Urquhart e Joy (1981). O material vegetal (colmo, folha e espiga) picado foi imerso em uma solução de EDTA (20 mmol/L), por 15 minutos, no escuro e em recipiente de vidro, para extrair a seiva do xilema. Retirou-se o EDTA e adicionou-se novamente esse quelato, deixando por 3 h, no escuro, para evitar a transpiração, para extrair a seiva do floema. A seiva extraída foi armazenada em freezer, a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, até o momento das análises químicas.

O teor de aminoácidos foi determinado com colorímetro empregando o reagente de ninidrina (MAGNÉ; LARHER, 1992).

O índice de colheita de grão (ICG) foi calculado utilizando a equação 1:

$$\text{ICG} = \frac{\text{MSG (g/vaso)}}{\text{MSG (g/vaso)} + \text{MSC (g/vaso)} + \text{MSF (g/vaso)}} \quad (1)$$

em que:

MSG: massa seca de grão;

MSC: massa seca de colmo; e

MSF: massa seca de folha.

O ICG expressa a eficiência da planta em produzir grão, ou a proporção de massa seca resultante dos fotoassimilados direcionada a essa parte da planta. Para avaliar a eficiência dos genótipos em transferir N aos grãos, foi calculado o índice de colheita de nitrogênio (ICN), utilizando a equação 2:

$$ICN = \frac{NG \text{ (mg/vaso)}}{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}} \quad (2)$$

em que:

NG: nitrogênio do grão;

NC: nitrogênio do colmo; e

NF: nitrogênio da folha.

Os tipos de eficiência nutricional mencionados abaixo foram calculados conforme Moll, Kamprath e Jackson (1982), utilizando as equações 3, 4 e 5:

$$EUN = \frac{MSG \text{ (g/vaso)}}{N \text{ fornecido (g/vaso)}} \quad (3)$$

em que:

MSG: massa seca de grão; e

N fornecido: nitrogênio fornecido no vaso.

$$EAN = \frac{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}}{N \text{ fornecido (g/vaso)}} \quad (4)$$

em que:

NG: nitrogênio do grão;

NC: nitrogênio do colmo;

NF: nitrogênio da folha; e

N fornecido: nitrogênio fornecido no vaso.

$$EUtN = \frac{MSG \text{ (g/vaso)}}{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}} \quad (5)$$

em que:

MSG: massa seca de grão;

NG: nitrogênio do grão;

NC: nitrogênio do colmo; e

NF: nitrogênio da folha.

A partição do N na planta foi calculada utilizando as equações 6, 7 e 8:

$$\text{Part. NC} = \frac{NC \text{ (mg/vaso)} \times 100}{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}} \quad (6)$$

$$\text{Part. NF} = \frac{NF \text{ (mg/vaso)} \times 100}{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}} \quad (7)$$

$$\text{Part. NG} = \frac{NG \text{ (mg/vaso)} \times 100}{NG \text{ (mg/vaso)} + NC \text{ (mg/vaso)} + NF \text{ (mg/vaso)}} \quad (8)$$

em que:

NC: nitrogênio do colmo;

NG: nitrogênio do grão; e

NF: nitrogênio da folha.

3.4 Análise de dados

Os dados de algumas variáveis (número de colmos e espigas, aminoácidos no xilema do colmo, folha e espiga, aminoácidos no floema do colmo, folha e espiga, EUN, EAN, EUtN, ICG, ICN, NC e NF) foram transformados (logaritmo ou raiz quadrada), para atender o princípio de distribuição normal, necessário para a análise da variância. Essa condição foi avaliada com o teste de D'Agostino-Pearson. Contudo, os resultados foram expressos com os valores originais (não transformados). Os dados foram submetidos à análise de variância e os genótipos foram comparados com teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

Para classificar os genótipos quanto à eficiência ou não eficiência de utilizar o N para produzir MS de grão ou concentrar proteína nessa parte da planta e quanto a capacidade de resposta a aplicação desse nutriente, eles foram distribuídos no diagrama nutricional proposto por Fox (1978). Esse representa a posição gráfica dos genótipos no plano cartesiano, a fim de classificá-los quanto a EUN e a capacidade de resposta a aplicação de N.

Os resultados foram avaliados com técnicas multivariadas ($p < 0,05$). As variáveis analisadas com essas técnicas foram aquelas em que a análise da variância indicou efeito simples para genótipos e que não tenha elevada covariância entre as variáveis (estatura, PMG, número de colmos, espigas e grãos, MSG, MSC, proteína, partição do N no colmo, folha e grão, aminoácidos no xilema da espiga, aminoácidos no floema da espiga e colmo). Foi gerada a matriz de distâncias de Mahalanobis, que, simultaneamente, indica a análise da contribuição relativa dos caracteres para divergência entre os genótipos, pelo método de Singh (1981). Após, foi gerado um dendrograma, com base no método de Ward. As análises dos componentes principais foram realizadas com uso da metodologia descrita por Cruz; Regazzi e Carneiro (2004).

Tabela 2 - Caracteres avaliados em genótipos de cevada submetidos a duas doses de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Caracter | Sigla | Unidade | Procedimento |
|--|----------|--------------|--|
| Estatura | - | cm | Medida da base do colmo ao final das aristas |
| Diâmetro do colmo | - | mm | Medido no primeiro entrenó |
| Número de colmos | - | Colmos/vaso | Contagem de todos os colmos do vaso, após a colheita dos grãos |
| Número de espigas | - | Espigas/vaso | Contagem de todas as espigas do vaso |
| Número de grãos | - | Grãos/vaso | Contagem de todos os grãos do vaso |
| Peso de mil grãos | PMG | g | Estimado a partir do peso de cem grãos |
| Massa seca de folhas | MSF | g/vaso | Pesagem de todas as folhas do vaso, após a colheita dos grãos |
| Massa seca de colmos | MSC | g/vaso | Pesagem de todos os colmos do vaso, após a colheita dos grãos |
| Massa seca de grão | MSG | g/vaso | Pesagem dos grãos no vaso inteiro após o corte da colheita |
| Nitrogênio do colmo | NC | mg/vaso | Método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) |
| Nitrogênio da folha | NF | mg/vaso | Método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) |
| Nitrogênio do grão | NG | mg/vaso | Método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) |
| Partição de nitrogênio no colmo | Part.NC | % | Equação 6 |
| Partição de nitrogênio na folha | Part.NF | % | Equação 7 |
| Partição de nitrogênio no grão | Part.NG | % | Equação 8 |
| Proteína | - | % | Percentual de nitrogênio no grão multiplicado por 6,25 |
| Nitrogênio na planta na antese | N-antese | % | Método de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Duas plantas/ vaso. |
| Índice de colheita do grão | ICG | - | Equação 1 |
| Índice de colheita de nitrogênio | ICN | - | Equação 2 |
| Aminoácidos no xilema do colmo | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Aminoácidos no xilema da folha | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Aminoácidos no xilema da espiga | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Aminoácidos no floema do colmo | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Aminoácidos no floema da folha | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Aminoácidos no floema da espiga | - | nmol/mL | Descrito no item 1.3.1 |
| Eficiência de uso de nitrogênio | EUN | g/g | Equação 3 |
| Eficiência de absorção de nitrogênio | EAN | mg/g | Equação 4 |
| Eficiência de utilização de nitrogênio | EUtN | g/mg | Equação 5 |

Fonte: Dados do autor.

Foi determinado o número de componentes principais, que representaram, no mínimo, 80% da variação e foram estimados os escores para cada componente principal e sua importância relativa.

Os resultados ainda foram avaliados com a partição dos coeficientes de correlação de Pearson, em efeitos diretos e indiretos. Foram correlacionadas as variáveis MS de grão e teor de proteína dessa parte da planta com a EUN, EAN, EUtN, ICG e ICN, utilizando a análise de trilha (WRIGHT, 1921). Essa análise foi realizada, após comprovar a multicolinearidade entre as variáveis (MONTGOMERY; PECK, 1981), separando os resultados das doses de N, pois a análise da variância indicou interação entre esse fator e os genótipos. O menor valor de k foi utilizado na análise de trilha, pois possibilita incluir todas as variáveis (CARVALHO, 1995). Essa análise foi realizada com o programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diferença entre genótipos e resposta a adubação nitrogenada

A análise da variância dos caracteres indicou interação entre os genótipos e níveis de N em onze (MSG, proteína, PMG, aminoácidos no xilema e floema da espiga, EUN, EAN, EUtN, ICN, NG e Part.NG) dos 28 caracteres (Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10). Efeito simples de genótipos em nove caracteres (estatura, número de colmos, espigas e grãos, ICG, MSC, NC, Part.NC e Part.NF) (Tabelas 3, 4, 5, 6 e 8) e efeito simples de dose de N em oito caracteres (estatura, aminoácidos no xilema da folha e no floema do colmo, ICG, MSC, NC, Part.NC e Part.NF) (Tabelas 3, 4, 5, 6, 8, 9 e 10). Apenas seis caracteres não variaram com os tratamentos testados (diâmetro de colmo, N na antese, aminoácidos no xilema do colmo, aminoácidos no floema da folha, MSF e NF). Assim, evidenciou-se variabilidade genética, dentro das doses de N ou na média dessas, para a maioria dos caracteres avaliados. Isso era esperado devido à utilização de cultivares e linhagens de diferentes genealogias. Diferenças genéticas também foram verificadas por Záková e Benkov (2006) e Verma e Sarkar (2010), em relação à resposta diferenciada dos genótipos a dose de N, que pode aumentar a variação dos caracteres nos diferentes acessos de cevada (MOLINA-CANO et al., 1997).

A estatura de planta na menor dose de N não variou entre os genótipos, mas esse caracter diferiu na maior dose de N. As cultivares ANA 2, ANAG 01, Andrea, BRS Korbel e as linhagens, B, C e G expressaram as maiores estaturas (Tabela 3). O número de colmos, de espigas e de grãos, embora tenha sido influenciado pelo efeito simples de genótipos de cevada, não diferiram quando avaliados com o teste de médias (Tabela 3).

Nos tratamentos com a menor dose de N, a cultivar BRS Cauê se destacou entre os genótipos, devido a maior MSG. Essa cultivar foi seguida pelas cultivares Andrea, BRS Brau, BRS Korbel e as linhagens F e G. Esses genótipos também produziram maior

MSG nos tratamentos com a maior dose de N, além das cultivares ANA 2, ANAG01 e da linhagem E (Tabela 4). Extrapolando a MSG média do experimento para um hectare, o valor corresponde a 1.250 kg/ha, que é considerado baixo. Contudo, um dos maiores valores de MSG do experimento foi obtido com a cultivar ANAG 01 (2.630 kg/ha), que é semelhante à média mundial do período 2000 a 2009, estimada em 2.500 kg/ha (DE MORI; MINELLA, 2012).

Tabela 3 - Estatura, diâmetro de colmo e número de colmo, espiga e grãos de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Estatura (cm) | | Diâmetro de colmo (mm) | Número/vaso | | |
|-------------|---------------|------------|------------------------|-------------|---------|---------|
| | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | | Colmos | Espigas | Grãos |
| ABI Balster | 47,5 ns | 55,0 b | 2,8 ns | 21,0 ns | 12,5 ns | 81,0 ns |
| ABI Voyager | 57,5 | 52,5 b | 2,8 | 28,8 | 21,5 | 74,5 |
| ANA 2 | 52,5 | 57,5 a | 3,0 | 31,8 | 20,3 | 124,5 |
| ANAG 01 | 60,0 | 62,5 a | 2,8 | 27,5 | 21,3 | 101,3 |
| Andrea | 52,5 | 62,5 a | 2,8 | 35,3 | 28,0 | 99,5 |
| BRS Brau | 45,0 | 45,0 b | 2,8 | 27,5 | 21,0 | 109,0 |
| BRS Cauê | 47,5 | 47,5 b | 2,8 | 23,0 | 19,5 | 202,0 |
| BRS Korbel | 52,5 | 57,5 a | 3,0 | 28,0 | 17,3 | 136,8 |
| Grace | 50,0 | 50,0 b | 2,8 | 25,5 | 16,0 | 84,3 |
| Linhagem A | 47,5 | 52,5 b | 2,9 | 22,3 | 14,3 | 108,8 |
| Linhagem B | 50,0 | 62,5 a | 2,9 | 34,0 | 20,3 | 101,5 |
| Linhagem C | 50,0 | 62,5 a | 2,7 | 33,5 | 21,5 | 79,0 |
| Linhagem D | 52,5 | 50,0 b | 2,6 | 24,8 | 12,5 | 107,8 |
| Linhagem E | 50,0 | 50,0 b | 2,8 | 26,8 | 18,0 | 120,5 |
| Linhagem F | 52,5 | 55,0 b | 2,8 | 28,0 | 17,5 | 124,3 |
| Linhagem G | 55,0 | 57,5 a | 2,9 | 30,5 | 21,0 | 119,3 |
| Merit 57 | 45,0 | 50,0 b | 2,9 | 33,5 | 18,3 | 45,8 |
| MN 6021 | 50,0 | 52,5 b | 2,7 | 32,0 | 13,8 | 62,0 |
| Média | 51,0 B | 54,6 A | 2,8 | 28,5 | 18,6 | 104,5 |
| C.V. (%) | 8,4 | | 8,3 | 6,2 | 13,3 | 12,8 |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 4 - Massa seca e peso de mil grãos, massa seca de folha e de colmo de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Massa seca de grão (g/vaso) | | Peso de mil grãos (g) | | Massa seca de folha (g/vaso) | Massa seca de colmo (g/vaso) | |
|-------------|-----------------------------|------------|-----------------------|------------|------------------------------|------------------------------|------------|
| | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg |
| ABI Balster | 3,4 c | 5,4 b | 45,6 ns | 38,5 B | 2,7 ns | 5,3 b A | 3,7 nsB |
| ABI Voyager | 3,2 c | 4,0 c | 49,7 | 50,6 A | 3,3 | 6,4 b B | 7,1 A |
| ANA 2 | 2,8 c | 8,2 a | 40,6 | 45,0 B | 3,3 | 5,7 b B | 7,9 A |
| ANAG 01 | 2,7 c | 10,4 a | 48,0 | 46,3 B | 3,4 | 7,4 b B | 9,9 A |
| Andrea | 4,5 b | 6,0 b | 54,6 | 50,2 A | 3,6 | 9,3 a B | 10,5 A |
| BRS Brau | 4,3 b | 8,3 a | 49,8 | 43,4 B | 3,2 | 3,7 b A | 5,0 B |
| BRS Cauê | 7,4 a | 8,5 a | 40,9 | 40,8 B | 3,0 | 3,7 b A | 3,8 B |
| BRS Korbel | 5,1 b | 6,9 a | 45,8 | 42,2 B | 3,1 | 7,7 a B | 7,7 A |
| Grace | 1,8 d | 5,4 b | 48,1 | 42,8 B | 3,1 | 5,3 b B | 6,5 A |
| Linhagem A | 2,9 c | 6,2 b | 48,7 | 39,9 B | 3,1 | 4,1 b A | 4,2 B |
| Linhagem B | 2,9 c | 5,2 b | 40,8 | 48,7 A | 3,8 | 7,7 a B | 7,6 A |
| Linhagem C | 1,1 d | 6,2 b | 43,9 | 47,9 A | 3,2 | 6,0 b B | 10,9 A |
| Linhagem D | 2,4 c | 5,8 b | 42,4 | 36,7 B | 2,9 | 5,2 b A | 3,7 B |
| Linhagem E | 1,5 d | 7,1 a | 46,7 | 43,5 B | 3,0 | 6,0 b A | 4,5 B |
| Linhagem F | 5,3 b | 6,9 a | 44,9 | 52,5 A | 3,2 | 8,1 a B | 7,3 A |
| Linhagem G | 4,6 b | 8,3 a | 47,9 | 58,7 A | 3,2 | 7,0 a B | 9,0 A |
| Merit 57 | 1,6 d | 2,5 c | 41,6 | 45,7 B | 3,4 | 4,7 b B | 8,8 A |
| MN 6021 | 1,3 d | 2,9 c | 39,3 | 39,2 B | 3,5 | 3,2 b B | 6,8 A |
| Média | 3,3 B | 6,3 A | 45,5 | 45,1 | 3,2 | 5,9 B | 6,9 A |
| C.V. (%) | 18,7 | | 9,1 | | 16,5 | 12,1 | |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

Quanto ao PMG, um dos caracteres muito utilizado em programas de melhoramento (ZÁKOVÁ; BENKOVÁ, 2006), houve diferença entre genótipos e doses de N. De acordo com o teste de média, a diferença entre genótipos ocorreu somente na maior dose de N (Tabela 4). Os genótipos com maior PMG foram ABI Voyager, Andrea, linhagens B, C, F e G, sendo os demais genótipos com menor PMG. A média do PMG dos genótipos foi 45 gramas, valor normalmente observado em cevada (KUCZYNSKA et al., 2007), e semelhante ao das sementes que foram utilizadas na semeadura do experimento, 43 gramas (Tabela 1). A média da MSF foi 3,2 g/vaso, sete genótipos tiveram valores inferiores à média (ABI Balster, BRS Cauê, BRS Korbel, Grace, linhagens A, D e E), e em sete genótipos a MSF foi superior à média dos genótipos (ABI

Voyager, ANA 2, ANAG 01, Andrea, linhagem B, Merit 57 e MN 6021). A menor dose de N acumulou mais MSC nas cultivares ABI Balster, BRS Brau e BRS Cauê e nas linhagens D e E (Tabela 4). Os demais genótipos acumularam mais MSC na maior dose de N. A MSC na menor dose foi superior em cinco genótipos (Andrea, BRS Korbel, linhagens B, F e G) enquanto que na maior dose de N não houve diferença entre os genótipos (Tabela 4).

A partição de N na planta (colmo, folha e grão) diferiu entre as doses desse nutriente e genótipos (Tabela 5). Na maior dose de N, esse nutriente concentrou mais no grão (50%, na média dos genótipos), enquanto que na menor dose, concentrou mais no colmo e na folha (22,7 e 39,8%, na média dos genótipos, respectivamente).

A maior variabilidade entre os genótipos foi observada em relação a Part.NG. As cultivares BRS Brau e Cauê foram os genótipos com maior Part.NG, nos tratamentos com a menor dose de N (57 e 65%, respectivamente). Por outro lado, em cinco genótipos a partição de N nessa parte da planta foi menor que 28% (ANA 2, linhagens B, C e E, Merit 57 e MN 6021). Nos tratamentos com maior dose de N, os genótipos com maior Part.NG foram ABI Balster, ANA 2, ANAG 01, BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbel, Grace e as linhagens A, D, E e F (Tabela 5).

Em relação à Part.NF, os genótipos diferiram apenas na menor dose desse nutriente, formando dois grupos. O grupo com maior percentual de N foi formado pelas cultivares ANA 2, Grace, Merit 57 e MN 6021 e as linhagens B, C e E, enquanto que o outro grupo foi formado pelos outros genótipos (Tabela 5).

A quantidade de N do colmo e da folha não diferiu entre os tratamentos, mas a do grão variou entre genótipos, em ambas as doses de N. A maior quantidade no grão foi observada na BRS Cauê, no tratamento com a menor dose de N, enquanto que na maior dose, isso foi observado nas cultivares ANA 2, ANAG 01, BRS Brau, BRS Cauê e na linhagem A. Por outro lado, os genótipos com menor extração de N/vaso foram a cultivar Grace, Merit 57 e MN 6021 e as linhagens C e E (menor dose); e as cultivares ABI Voyager, Merit 57 e MN 6021 (maior dose). Na média dos genótipos, a extração de N do

grão dos tratamentos com a maior dose desse nutriente foi 45% maior, que o observado na menor dose (Tabela 6).

Tabela 5 - Partição de nitrogênio (N) de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Partição de nitrogênio (%) | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | Colmo | | Folha | | Grão | |
| | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | 30 mg N/kg | 95mg N/kg |
| ABI Balster | 26,9 ns | 10,7 ns | 34,1 b | 23,9 ns | 39,0 b | 65,4 a |
| ABI Voyager | 24,7 | 25,0 | 39,2 b | 34,0 | 36,1 c | 41,0 b |
| ANA2 | 19,7 | 17,0 | 52,5 a | 17,1 | 27,9 d | 65,9 a |
| ANAG01 | 23,1 | 17,5 | 36,5 b | 28,9 | 40,4 b | 53,6 a |
| Andrea | 26,3 | 23,6 | 30,9 b | 35,7 | 42,8 b | 40,7 b |
| BRS Brau | 12,4 | 13,4 | 30,9 b | 24,2 | 56,7 a | 62,5 a |
| BRS Cauê | 8,9 | 13,0 | 26,2 b | 25,7 | 64,8 a | 61,3 a |
| BRS Korbel | 19,5 | 17,1 | 34,7 b | 24,4 | 45,8 b | 58,5 a |
| Grace | 22,7 | 21,2 | 45,1 a | 25,5 | 32,1 c | 53,2 a |
| Linhagem A | 20,4 | 12,2 | 36,4 b | 30,4 | 43,2 b | 57,4 a |
| Linhagem B | 29,4 | 19,5 | 45,1 a | 38,5 | 25,5 d | 42,0 b |
| Linhagem C | 29,5 | 22,5 | 54,1 a | 32,7 | 16,5 d | 44,8 b |
| Linhagem D | 30,3 | 13,5 | 35,8 b | 33,7 | 33,9 c | 52,8 a |
| Linhagem E | 26,8 | 16,4 | 45,5 a | 25,8 | 27,6 d | 57,8 a |
| Linhagem F | 18,7 | 13,2 | 35,0 b | 32,3 | 46,3 b | 54,5 a |
| Linhagem G | 26,0 | 21,3 | 25,0 b | 31,5 | 49,0 b | 47,2 b |
| Merit 57 | 22,8 | 38,1 | 51,3 a | 39,0 | 25,8 d | 22,9 c |
| MN 6021 | 19,7 | 21,1 | 58,3 a | 55,7 | 22,1 d | 23,2 c |
| Média | 22,7 A | 18,7 B | 39,8 A | 31,0 B | 37,5 B | 50,3A |
| C.V. (%) | 12,8 | | 12,8 | | 20,3 | |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

O percentual de proteína do grão foi superior ao normalmente encontrado em cultivo extensivo a campo (EMBRAPA 2017). O que é favorável para a fabricação de maltes especiais. Como a MSG foi menor nesses tratamentos, isso indica que ocorreu

concentração de proteína no grão e diluição quando houve maior MSG, resultante da aplicação da maior dose de N. Os genótipos não diferem em relação ao teor de proteína.

Tabela 6 - Quantidade de nitrogênio (N) extraída pelo colmo, folha e grão, e teor de proteína nessa parte da planta e desse nutriente em toda a planta na antese, em amostras de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Nitrogênio (mg/vaso) | | | | Proteína (%) | | Nitrogênio na planta na antese (%) |
|-------------|----------------------|---------|------------|-----------|--------------|-----------|------------------------------------|
| | Colmo | Folha | Grão | | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | |
| | | | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | | | |
| ABI Balster | 16,4 ns | 28,4 ns | 72,1 c | 124,2 b | 13,3 ns | 14,6 ns | 0,9 ns |
| ABI Voyager | 19,1 | 25,1 | 64,7 c | 84,3 c | 12,6 | 13,1 | 1,2 |
| ANA2 | 19,3 | 24,6 | 57,4 c | 195,0 a | 13,0 | 15,0 | 1,0 |
| ANAG01 | 20,2 | 31,7 | 66,8 c | 200,6 a | 15,7 | 12,1 | 1,2 |
| Andrea | 17,0 | 25,6 | 103,8 b | 129,1 b | 14,4 | 13,4 | 1,1 |
| BRS Brau | 13,1 | 20,9 | 90,9 b | 177,6 a | 13,2 | 13,4 | 0,7 |
| BRS Cauê | 15,1 | 34,3 | 178,3 a | 200,5 a | 14,9 | 14,8 | 0,9 |
| BRS Korbel | 13,6 | 20,7 | 102,3 b | 140,9 b | 12,5 | 12,9 | 0,8 |
| Grace | 16,8 | 23,3 | 43,9 d | 119,7 b | 15,0 | 13,8 | 1,0 |
| Linhagem A | 11,5 | 32,2 | 64,8 c | 155,8 a | 13,7 | 15,7 | 1,3 |
| Linhagem B | 19,7 | 35,5 | 58,5 c | 113,9 b | 12,7 | 13,6 | 0,9 |
| Linhagem C | 24,6 | 28,2 | 26,0 d | 117,3 b | 15,2 | 11,7 | 1,1 |
| Linhagem D | 16,0 | 26,1 | 56,8 c | 104,4 b | 14,7 | 11,3 | 1,4 |
| Linhagem E | 13,0 | 21,5 | 35,5 d | 121,8 b | 14,4 | 10,9 | 0,7 |
| Linhagem F | 14,7 | 50,6 | 112,3 b | 140,7 b | 13,2 | 12,8 | 1,1 |
| Linhagem G | 20,1 | 24,2 | 111,8 b | 135,8 b | 15,2 | 10,6 | 1,0 |
| Merit 57 | 35,4 | 27,3 | 33,8 d | 67,0 c | 13,3 | 16,9 | 1,2 |
| MN 6021 | 13,6 | 41,4 | 39,0 d | 62,2 c | 18,6 | 13,2 | 0,7 |
| Média | 17,7 | 29,0 | 73,3 | 132,8 | 14,2 | 13,3 | 1,0 |
| C.V. (%) | 9,7 | 10,2 | 22,1 | | 11,4 | | 17,9 |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

A EUN, a EAN e a EUN variaram mais com a menor dose de N (Tabela 7), indicando variabilidade genética da eficiência nutricional dos genótipos avaliados, conforme constatado em outros trabalhos (DAWSON; HUGGINS; JONES, 2008;

MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010; XU et al., 2012), já que essa eficiência é melhor avaliada em ambientes com baixa disponibilidade de N (BÄNZIGER; BETRÁN; LAFITTE, 1997; DAWSON; HUGGINS; JONES, 2008).

Tabela 7 - Eficiência nutricional em relação ao nitrogênio de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Eficiência de uso (g/g) | | Eficiência de absorção (mg/g) | | Eficiência de utilização (g/mg) | |
|-------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | 30 mg N/kg | 95mg N/kg | 30 mg N/kg | 95mg N/kg |
| ABI Balster | 14,67 c | 7,39 b | 52,45 c | 23,50 b | 0,28 a | 0,31 a |
| ABI Voyager | 14,09 c | 5,50 c | 49,58 c | 16,05 b | 0,28 a | 0,33 a |
| ANA2 | 11,98 c | 11,20 a | 47,88 c | 35,27 a | 0,26 a | 0,32 a |
| ANAG01 | 11,59 c | 14,30 a | 53,13 c | 35,00 a | 0,22 b | 0,41 a |
| Andrea | 19,48 b | 8,24 b | 57,13 c | 25,47 b | 0,35 a | 0,32 a |
| BRS Brau | 18,59 b | 11,32 a | 61,13 c | 28,90 a | 0,31 a | 0,39 a |
| BRS Cauê | 32,37 a | 11,62 a | 100,60 a | 34,24 a | 0,33 a | 0,34 a |
| BRS Korbel | 22,24 b | 9,40 a | 60,94 c | 25,11 b | 0,36 a | 0,38 a |
| Grace | 7,83 d | 7,44 b | 33,75 c | 22,88 b | 0,23 b | 0,33 a |
| Linhagem A | 12,76 c | 8,46 b | 41,53 c | 27,88 a | 0,31 a | 0,30 a |
| Linhagem B | 12,57 c | 7,15 b | 42,79 c | 24,47 b | 0,30 a | 0,30 a |
| Linhagem C | 4,63 d | 8,55 b | 28,61 c | 25,50 b | 0,16 c | 0,33 a |
| Linhagem D | 10,50 c | 7,94 b | 47,34 c | 19,78 b | 0,22 b | 0,40 A |
| Linhagem E | 6,61 d | 9,75 a | 31,34 c | 21,58 b | 0,21 b | 0,44 a |
| Linhagem F | 23,02 b | 9,38 a | 96,37 a | 24,74 b | 0,26 a | 0,38 a |
| Linhagem G | 20,11 b | 11,34 a | 69,88 b | 25,95 b | 0,29 a | 0,46 a |
| Merit 57 | 6,87 d | 3,39 c | 30,02 c | 21,00 b | 0,23 b | 0,17 a |
| MN 6021 | 5,78 d | 4,01 c | 40,59 c | 14,98 b | 0,15 c | 0,27 a |
| Média | 14,20 | 8,69 | 52,50 | 25,13 | 0,26 | 0,34 |
| C.V. (%) | 9,0 | | 6,2 | | 16,8 | |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

Nos tratamentos com a menor dose de N, a cultivar BRS Cauê se destacou entre os genótipos com maior EUN. A EUN dessa cultivar foi seguida das cultivares Andrea, BRS Brau, BRS Korbel e das linhagens F e G. A cultivar BRS Cauê também se destacou

em acompanhar o grupo de genótipos com maior EAN e EUN (Tabela 7). Os resultados dessa tabela ainda indicam que houve maior variabilidade genotípica da EUN, em relação a EAN e a EUN. Por outro lado, a menor EUN foi observado com os genótipos Grace, linhagens C e E, Merit 57 e MN 6021.

Nos tratamentos com a maior dose de N, os genótipos com maior EUN e EAN foram as cultivares ANA 2, ANAG 01, Andrea, BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbel e as linhagens A, B, D, E, F e G (Tabela 7). A EUN diminuiu com o aumento da dose de N, como ocorre quando a aplicação desse nutriente aumenta a massa de grão (CORMIER et al., 2013).

O ICG, na menor dose de N, não diferiu entre os genótipos, mas na maior dose, foi superior com a cultivar ANAG 01 e as linhagens C e G (Tabela 8). Enquanto que o maior valor do ICN foi observado com a cultivar BRS Cauê e a linhagem G, na menor dose de N, na maior dose, isso foi observado com as cultivares ANA 2, BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbel e as linhagens E e F.

A concentração de aminoácidos do xilema do colmo e da folha não diferiu entre os genótipos (Tabela 9). No entanto, na média desses, essa concentração foi 23% superior na folha das plantas adubadas com a maior dose de N. A concentração de aminoácidos do xilema da espiga, das plantas adubadas com a menor dose de N, foi maior nas cultivares ANA 2, BRS Brau, Grace e na linhagem F. Enquanto que nas plantas adubadas com a maior dose, isso ocorreu com as cultivares ABI Balster, BRS Cauê, Grace e as linhagens A, B, C, D e F e MN 6021 (Tabela 9).

Tabela 8 - Índice de colheita de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Índice de colheita de grão | | Índice de colheita de nitrogênio | |
|-------------|----------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg |
| ABI Balster | 0,17 ns | 0,24 b | 32,7 b | 57,6 b |
| ABI Voyager | 0,18 | 0,24 b | 29,8 b | 32,9 b |
| ANA2 | 0,11 | 0,55 a | 32,4 b | 58,8 b |
| ANAG01 | 0,78 | 0,38 b | 12,8 b | 129,7 a |
| Andrea | 0,26 | 0,29 b | 37,2 b | 58,2 b |
| BRS Brau | 0,21 | 0,38 b | 43,1 b | 82,0 a |
| BRS Cauê | 0,32 | 0,33 b | 82,9 a | 102,9 a |
| BRS Korbel | 0,28 | 0,25 b | 44,2 b | 94,3 a |
| Grace | 0,08 | 0,24 b | 21,2 b | 61,5 b |
| Linhagem A | 0,13 | 0,27 b | 34,4 b | 69,0 b |
| Linhagem B | 0,12 | 0,25 b | 32,8 b | 52,6 b |
| Linhagem C | 0,05 | 0,61 a | 12,2 b | 31,1 b |
| Linhagem D | 0,11 | 0,26 b | 26,8 b | 60,2 b |
| Linhagem E | 0,06 | 0,30 b | 18,0 b | 77,7 a |
| Linhagem F | 0,29 | 0,31 b | 45,4 b | 79,8 a |
| Linhagem G | 0,17 | 0,54 a | 75,0 a | 53,8 b |
| Merit 57 | 0,07 | 0,12 b | 20,0 b | 26,3 b |
| MN 6021 | 0,07 | 0,11 b | 14,0 b | 38,0 b |
| Média | 0,2 B | 0,3 A | 34,2 | 64,8 |
| C.V. (%) | 26,4 | | 16,8 | |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p>0,05$). ns e NS = não significativo ($p>0,05$).

Tabela 9 - Concentração de aminoácidos no xilema do colmo, folha e espiga, de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Aminoácidos no xilema (nmol/mL) | | | | |
|-------------|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Colmo | Folha | | Espiga | |
| | | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg |
| ABI Balster | 21,7 ns | 10,0 ns | 25,8 ns | 13,1 b | 36,3 a |
| ABI Voyager | 27,5 | 13,6 | 19,2 | 14,2 b | 15,6 b |
| ANA2 | 22,1 | 26,2 | 21,5 | 7,9 b | 16,9 b |
| ANAG01 | 33,1 | 12,1 | 24,0 | 26,9 a | 14,6 b |
| Andrea | 25,3 | 9,5 | 11,4 | 7,7 b | 12,9 b |
| BRS Brau | 35,4 | 15,2 | 11,9 | 26,5 a | 10,7 b |
| BRS Cauê | 43,0 | 16,3 | 34,6 | 11,4 b | 30,9 a |
| BRS Korbel | 30,3 | 13,6 | 17,7 | 13,5 b | 12,8 b |
| Grace | 26,4 | 22,9 | 19,0 | 31,6 a | 25,6 a |
| Linhagem A | 31,5 | 16,7 | 21,4 | 12,2 b | 29,9 a |
| Linhagem B | 41,2 | 12,1 | 30,5 | 12,5 b | 43,7 a |
| Linhagem C | 23,8 | 15,9 | 18,4 | 11,7 b | 25,8 a |
| Linhagem D | 25,8 | 13,7 | 28,9 | 10,7 b | 42,3 a |
| Linhagem E | 21,2 | 11,2 | 15,7 | 9,6 b | 12,7 b |
| Linhagem F | 32,0 | 32,3 | 17,0 | 26,0 a | 36,1 a |
| Linhagem G | 23,7 | 12,1 | 33,5 | 8,1 b | 15,3 b |
| Merit 57 | 35,1 | 14,6 | 12,8 | 14,5 b | 10,4 b |
| MN 6021 | 43,7 | 24,5 | 21,1 | 10,9 b | 24,0 a |
| Média | 30,2 | 16,3 B | 21,4 A | 15,0 | 23,1 |
| C.V. (%) | 14,5 | 14,3 | | 14,7 | |

Fonte: Dados do autor.

Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

A concentração de aminoácidos do floema diferiu entre os genótipos apenas na espiga (Tabela 10). Na média dos genótipos, somente no colmo houve diferença entre as doses de N. Os resultados obtidos com a menor dose de N indicam maior variabilidade genotípica, com a formação de três grupos. Nessa dose, a cultivar ANAG 01 concentrou mais aminoácidos na seiva do floema na espiga. Na maior dose de N, as linhagens C e F se destacaram dos demais genótipos, quanto a concentração de aminoácidos na seiva do

floema na espiga. Os tratamentos com maior dose de N possibilitaram maior concentração de aminoácidos no floema.

Tabela 10 - Concentração de aminoácidos no floema do colmo, folha e espiga de genótipos de cevada, cultivados em Latossolo adubado com duas doses de nitrogênio (N). Passo Fundo – 2016

| Genótipo | Aminoácidos no floema (nmol/mL) | | | | |
|-------------|---------------------------------|------------|---------|------------|------------|
| | Colmo | | Folha | Espiga | |
| | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg | | 30 mg N/kg | 95 mg N/kg |
| ABI Balster | 16,6 ns | 38,7 ns | 26,5 ns | 60,3 b | 71,7 b |
| ABI Voyager | 42,4 | 24,1 | 34,0 | 48,3 c | 61,5 b |
| ANA2 | 12,7 | 26,8 | 28,0 | 38,9 c | 62,6 b |
| ANAG01 | 20,9 | 39,1 | 32,3 | 99,5 a | 62,5 b |
| Andrea | 16,7 | 19,8 | 20,9 | 55,7 b | 53,6 b |
| BRS Brau | 18,0 | 16,8 | 29,0 | 68,2 b | 55,9 b |
| BRS Cauê | 12,4 | 34,5 | 27,4 | 40,3 c | 63,1 b |
| BRS Korbel | 11,5 | 21,6 | 21,5 | 60,9 b | 48,1 b |
| Grace | 21,6 | 16,2 | 19,7 | 60,9 b | 67,2 b |
| Linhagem A | 17,2 | 26,6 | 25,9 | 40,1 c | 56,7 b |
| Linhagem B | 18,2 | 33,3 | 24,2 | 32,1 c | 67,2 b |
| Linhagem C | 12,3 | 24,7 | 36,2 | 56,2 b | 89,0 a |
| Linhagem D | 10,3 | 22,9 | 23,7 | 37,9 c | 46,1 b |
| Linhagem E | 12,1 | 10,8 | 23,1 | 48,1 c | 51,4 b |
| Linhagem F | 19,9 | 35,8 | 17,9 | 76,4 b | 110,6 a |
| Linhagem G | 13,7 | 15,5 | 32,3 | 36,7 c | 51,6 b |
| Merit 57 | 27,8 | 21,6 | 19,2 | 60,5 b | 67,1 b |
| MN 6021 | 36,9 | 31,3 | 29,2 | 71,2 b | 59,1 b |
| Média | 19,0 B | 25,6 A | 26,1 | 55,1 | 63,6 |
| C.V. (%) | 15,9 | | 12,1 | 5,1 | |

Fonte: Dados do autor.

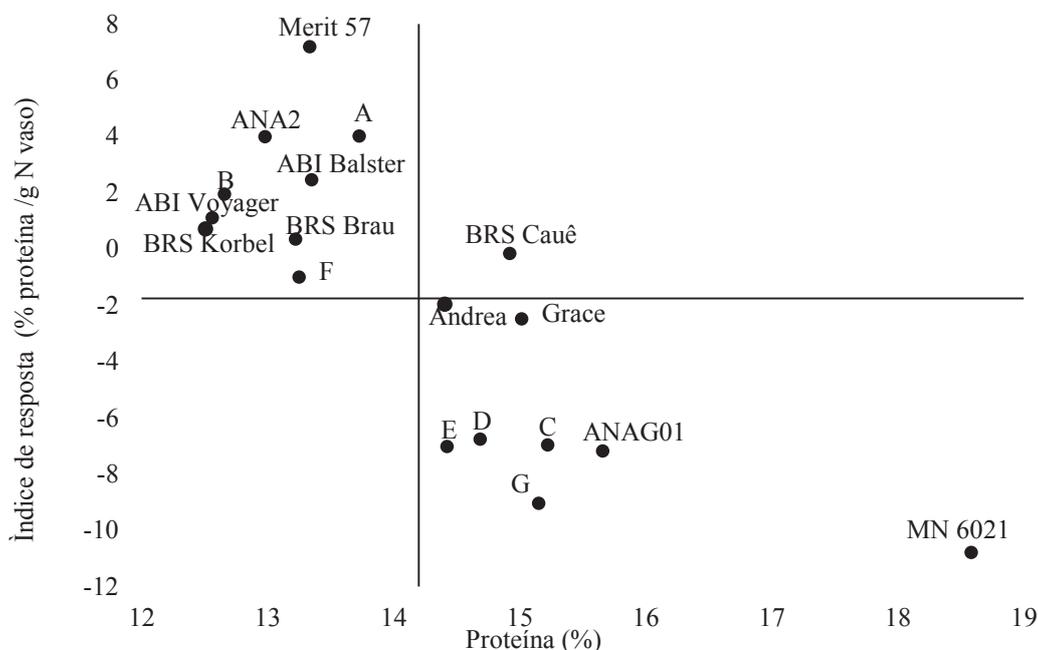
Nota: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). ns e NS = não significativo ($p > 0,05$).

4.2 Resposta a aplicação de nitrogênio e eficiência de uso desse nutriente

A distribuição dos genótipos de cevada nos quadrantes do diagrama de resposta a aplicação de N (Eixo Y) e de eficiência de uso desse nutriente (Eixo X) (Figuras 2 e 3),

mostra que houve variabilidade entre os genótipos, quanto ao teor de proteína do grão e a MSG (Figuras 4 e 5), em ambas as doses de N aplicadas.

Figura 2 - Diagrama de resposta a aplicação de nitrogênio (N) e eficiência nutricional em relação a esse nutriente, obtido com o teor de proteína do grão de genótipos de cevada, adubados com 30 mg N/kg. Passo Fundo – 2016



Fonte: Dados do autor.

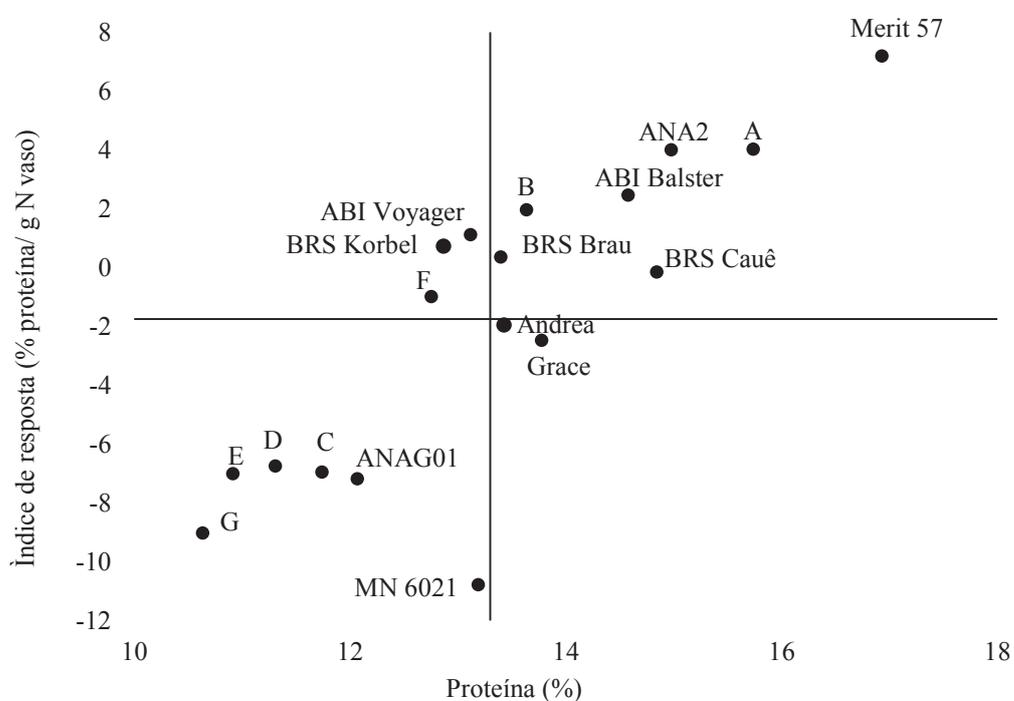
Com a menor dose de N aplicada, as cultivares BRS Cauê, Andrea, Grace e ANAG 01 e as linhagens C, D, E, G foram eficientes em usar esse nutriente para acumular PB no grão, no entanto, entre esses, somente o BRS Cauê respondeu ao aumento da dose de N, sendo, portanto, eficiente e responsivo (Figura 2). Os demais genótipos não foram eficientes em usar o N, mas foram responsivos ao aumento da dose desse nutriente (Figura 2).

Com a maior dose de N aplicada, a distribuição dos genótipos no diagrama foi alterada. Seis genótipos não foram eficientes em usar o N para proteína e também não responderam ao aumento da dose desse nutriente (ANAG 01, MN 6021, linhagens C, D, E e G). As cultivares Andrea e Grace não responderam ao aumento da dose de N, mas foram eficientes em acumular proteína. As cultivares ANA 2, BRS Brau, BRS Cauê, ABI

Balster, Merit 57 e as linhagens A e B foram eficientes em produzir proteína e responderam ao N (Figura 2).

Os únicos genótipos que mantiveram a mesma performance de EUN e de resposta a adubação, em ambas as doses testadas, foram as cultivares BRS Cauê, Andrea e Grace. Esses genótipos foram eficientes em acumular proteína nos grãos, mas somente a BRS Cauê respondeu a adubação e, portanto, foi o genótipo com a melhor performance, considerando o diagrama das duas doses de N (Figuras 2 e 3).

Figura 3 - Diagrama de resposta a aplicação de nitrogênio (N) e eficiência nutricional em relação a esse nutriente, obtido com o teor de proteína do grão de genótipos de cevada, adubados com 95 mg N/kg. Passo Fundo – 2016

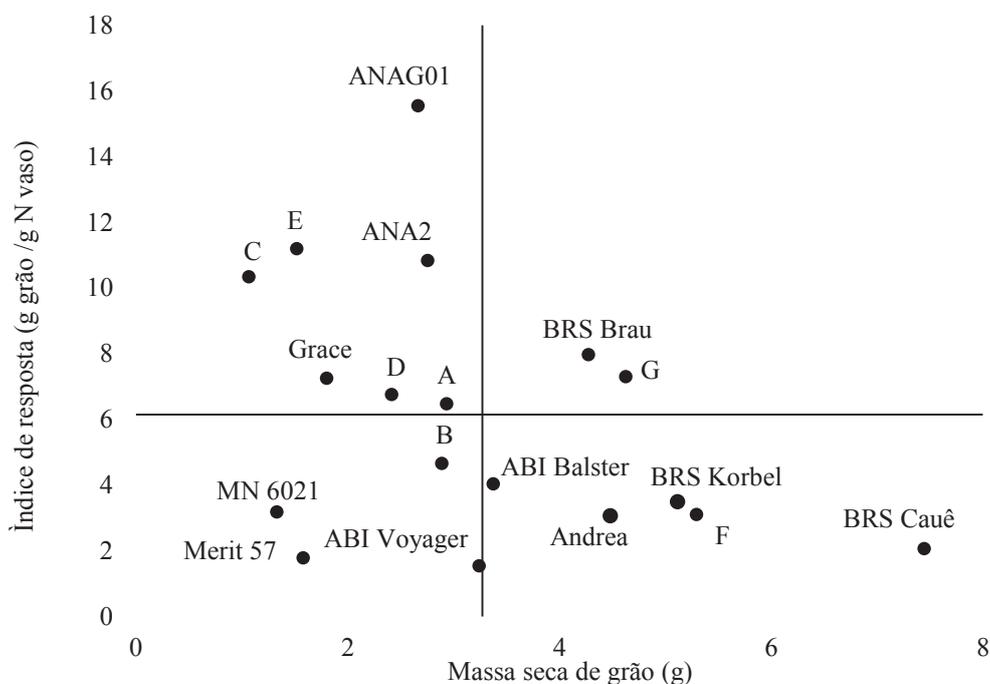


Fonte: Dados do autor.

Com a menor dose de N aplicada, as cultivares Andrea, ABI Balster, BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbelt e as linhagens F e G foram eficientes em usar esse nutriente para acumular MSG, no entanto, entre esses, BRS Brau e linhagem G responderam ao aumento da dose de N, sendo, portanto, eficientes e responsivos. As cultivares ANAG 01, ANA 2,

Grace e as linhagens A, C, D e E não foram eficientes em usar o N, mas foram responsivos ao aumento da dose desse nutriente (Figura 4).

Figura 4 - Diagrama de resposta a aplicação de nitrogênio (N) e eficiência nutricional em relação a esse nutriente, obtido com a massa seca de grãos de genótipos de cevada, adubados com 30 mg N/kg. Passo Fundo – 2016



Fonte: Dados do autor.

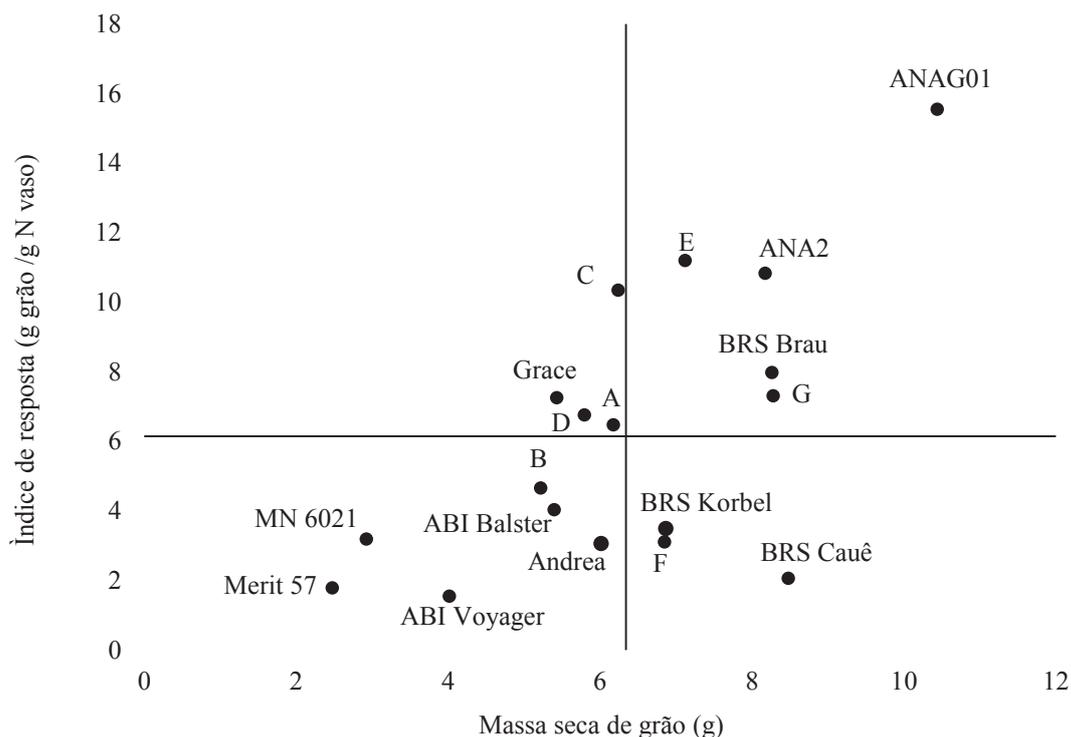
Com a maior dose de N aplicada, a distribuição dos genótipos no diagrama foi alterada os genótipos ANAG 01, ANA 2, BRS Brau e as linhagens E e G foram eficientes em usar o N para MSG e também responderam ao aumento da dose desse nutriente. Os genótipos BRS Cauê, BRS Korbel e linhagem F não responderam ao aumento da dose de N, mas foram eficientes em acumular MSG (Figura 5).

As cultivares BRS Brau, BRS Cauê, BRS Korbel e as linhagens F e G, foram eficientes em produzir MSG, em ambas as doses de N aplicadas (Figuras 4 e 5).

Os genótipos que responderam ao aumento da dose de N, na menor e maior dose aplicada foram os mesmos para MSG. Contudo, as cultivares ANAG 01, ANA 2 e a linhagem E, não foram eficientes em usar o N, na menor dose aplicada desse nutriente

(Figura 4), mas foram eficientes, na maior dose (Figura 5). Por outro lado, as cultivares ABI Balster e Andrea, que em ambos os tratamentos de N não responderam a aplicação desse elemento, foram eficientes, na menor dose de N (Figura 4), mas não foram eficientes, na maior dose (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama de resposta a aplicação de nitrogênio (N) e eficiência nutricional em relação a esse nutriente, obtido com a massa seca de grãos de genótipos de cevada, adubados com 95 mg N/kg. Passo Fundo – 2016



Fonte: Dados do autor.

4.3 Análise de trilha

A MSG e a proteína de grãos são caracteres complexos, cuja expressão depende de vários fatores, que podem influenciar de forma direta ou indireta esses caracteres. Isso pode ser observado com os valores dos coeficientes de correlação de Pearson, obtidos utilizando a análise de trilha para avaliar o efeito de algumas variáveis na MSG e na proteína (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 - Partição dos coeficientes de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos, obtidos com a análise de trilha, e algumas variáveis componentes da massa seca de grão de genótipos de cevada, cultivados em duas doses de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Componentes Massa seca de grão | Efeitos diretos | Efeitos indiretos | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | EUN ¹ | EAN ² | EUtN ³ | ICG ⁴ | ICN ⁵ |
| 30 mg N/kg | | | | | | |
| EUN ¹ | 0,30 | - | 0,25 | 0,15 | 0,03 | 0,18 |
| EAN ² | 0,27 | 0,29 | - | 0,10 | 0,03 | 0,16 |
| EUtN ³ | 0,20 | 0,24 | 0,15 | - | 0,01 | 0,13 |
| ICG ⁴ | 0,15 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | - | 0,02 |
| ICN ⁵ | 0,20 | 0,28 | 0,23 | 0,13 | 0,01 | - |
| Coefficiente de determinação | 0,92 | | | | | |
| Efeito da variável residual | 0,27 | | | | | |
| 95 mg N/kg | | | | | | |
| EUN ¹ | 0,32 | - | 0,21 | 0,15 | 0,11 | 0,17 |
| EAN ² | 0,25 | 0,27 | - | 0,05 | 0,09 | 0,14 |
| EUtN ³ | 0,21 | 0,23 | 0,06 | - | 0,08 | 0,12 |
| ICG ⁴ | 0,16 | 0,21 | 0,15 | 0,10 | - | 0,03 |
| ICN ⁵ | 0,22 | 0,26 | 0,16 | 0,11 | 0,02 | - |
| Coefficiente de determinação | 0,96 | | | | | |
| Efeito da variável residual | 0,19 | | | | | |

Fonte: Dados do autor.

¹Eficiência de uso de nitrogênio. ²Eficiência de absorção de nitrogênio. ³Eficiência de utilização de nitrogênio. ⁴Índice de colheita de grão. ⁵Índice de colheita de nitrogênio.

Os valores dos coeficientes de correlações variaram entre -0,65 e 0,54 (Tabelas 11 e 12). O maior valor de coeficiente foi observado entre os caracteres proteína e a EAN (0,54), e o menor valor (-0,65) entre a proteína e a EUtN, obtidos no tratamento com a maior dose de N (Tabela 12). Observou-se também que os valores dos coeficientes de correlações entre os componentes da MS de grão foram positivos, em ambas as doses de N, porém alguns foram próximos a zero. Estimativas de correlação genética próximas de zero são indicativas da independência entre os componentes e, portanto, de que o componente não afeta o desempenho dos demais.

Os maiores valores dos coeficientes de correlação com efeito direto na MSG foram obtidos com os resultados da EUN e da EAN, em ambos níveis de N (Tabela 11),

indicando que esses componentes de eficiência nutricional foram, relativamente, importantes para influenciar a MSG dos genótipos. Isso é importante para fins de melhoramento vegetal, pois considera-se importantes os componentes com maiores correlações com a característica desejada e de maior efeito direto, em sentido favorável à seleção, de tal modo que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO; 2004).

Tabela 12 - Partição dos coeficientes de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos, obtidos com a análise de trilha, e algumas variáveis componentes da proteína dos grãos de genótipos de cevada, cultivados em duas doses de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Componente Proteína dos grãos | Efeitos diretos | Efeitos indiretos | | | | |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | EUN ¹ | EAN ² | EUtN ³ | ICG ⁴ | ICN ⁵ |
| 30 mg N/kg | | | | | | |
| EUN ¹ | -0,06 | - | 0,04 | -0,39 | 0,04 | 0,08 |
| EAN ² | 0,05 | -0,05 | - | 0,26 | 0,05 | 0,08 |
| EUtN ³ | -0,50 | -0,04 | 0,02 | - | 0,03 | 0,06 |
| ICG ⁴ | 0,11 | -0,02 | 0,02 | -0,11 | - | 0,01 |
| ICN ⁵ | 0,10 | -0,05 | 0,04 | -0,33 | 0,01 | - |
| Coefficiente de determinação | 0,31 | | | | | |
| Efeito da variável residual | 0,83 | | | | | |
| 95 mg N/kg | | | | | | |
| EUN ¹ | -0,09 | - | 0,46 | -0,46 | -0,19 | -0,05 |
| EAN ² | 0,54 | -0,07 | - | -0,15 | -0,18 | -0,05 |
| EUtN ³ | -0,65 | -0,06 | 0,12 | - | -0,15 | -0,04 |
| ICG ⁴ | -0,30 | -0,06 | 0,32 | -0,32 | - | 0,00 |
| ICN ⁵ | -0,07 | -0,07 | 0,36 | -0,35 | -0,04 | - |
| Coefficiente de determinação | 0,78 | | | | | |
| Efeito da variável residual | 0,46 | | | | | |

Fonte: Dados do autor.

¹Eficiência de uso de nitrogênio. ²Eficiência de absorção de nitrogênio. ³Eficiência de utilização de nitrogênio. ⁴Índice de colheita de grão. ⁵Índice de colheita de nitrogênio.

As correlações entre os componentes da proteína dos grãos, calculadas com os resultados dos tratamentos com a menor dose de N, não foram significativas, portanto, os efeitos diretos e indiretos foram inferiores ao efeito da variável residual (Tabela 12),

indicando que as características analisadas na trilha podem não trazer consequências para a seleção de genótipos com base nessa variável.

Em geral, os coeficientes de determinação foram satisfatórios ($> 0,70$), quando as análises de trilha foram realizadas com os resultados da MSG e de proteína obtidos com a maior dose de N. Por outro lado, isso não foi obtido com os resultados de proteína do tratamento com a menor dose de N ($r^2 < 0,31$). Os valores obtidos com essa dose indicam que o grau de correlação foi fraco entre essa variável e as variáveis explicativas. Dessa forma, o modelo não contemplou todas as variáveis necessárias para explicar a proteína, em baixa dose de N, mas foi adequado nos tratamentos com a maior dose desse nutriente, indicando que essa variável foi influenciada pela EUtN e a EAN dos genótipos (Tabela 12).

4.4 Análise multivariada

A análise multivariada possibilitou quantificar as similaridades e dissimilaridades entre os genótipos, nas duas condições testadas de N.

A análise de componentes principais pode ser utilizada para selecionar genótipos que resultem em combinações de características favoráveis para o uso em programas de melhoramento genético. A partir dessa análise, a proporção acumulada nos dois componentes principais obtidos conseguiu explicar cerca de 85 e 82% da variabilidade total dos genótipos de cevada, na menor e na maior dose de N, respectivamente (Tabelas 13 e 14).

A análise das variáveis relacionadas com cada um desses eixos mostrou que o componente principal 1 está mais associado com o número de grãos; e o segundo componente principal está mais associado à concentração de aminoácidos no floema da espiga, em ambas as doses de N (Tabelas 13 e 14).

Tabela 13 - Análise dos componentes principais de genótipos de cevada associados a caracteres, incluindo os autovalores e o percentual da variação associada aos dois eixos e os autovetores dos caracteres de cada eixo. Resultados dos tratamentos com a menor dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Variância | Componentes Principais | |
|---|------------------------|-------------|
| | 1 | 2 |
| Total (%) | 70,6 | 14,4 |
| Acumulada (%) | 70,6 | 85,0 |
| Caractere | Auto-vetor | |
| Massa seca de grão (g) | 0,03 | 0,04 |
| Proteína (%) | -0,01 | 0,01 |
| Massa seca de colmo (g) | 0,00 | 0,01 |
| Estatuta (cm) | -0,02 | 0,03 |
| Número de colmos | 0,02 | -0,13 |
| Número de espigas | 0,05 | 0,01 |
| Número de grãos | 0,94 | 0,07 |
| Peso de mil grãos (g) | 0,00 | 0,08 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | -0,04 | 0,30 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | -0,12 | 0,05 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | -0,20 | 0,79 |
| Partição do nitrogênio no colmo (%) | -0,07 | -0,18 |
| Partição do nitrogênio na folha (%) | -0,12 | -0,23 |
| Partição do nitrogênio no grão (%) | 0,18 | 0,41 |

Fonte: Dados do autor.

A Part.NC foi o caractere com a maior contribuição relativa para identificar a variabilidade genética entre os genótipos, em ambas as doses de N (Tabelas 15 e 16). Seguido pela Part.NG, na menor dose (Tabela 15) e pela MSC na maior dose de N (Tabela 16).

A dissimilaridade entre os genótipos foi evidenciada com o dendrograma, que agrupou as amostras dos tratamentos com a maior dose de N em quatro grupos, e em cinco grupos, com os resultados dos tratamentos com a menor dose de N (Figuras 6 e 7).

Tabela 14 - Análise dos componentes principais de genótipos de cevada associados a caracteres, incluindo os autovalores e o percentual da variação associada aos dois eixos e os autovetores dos caracteres de cada eixo. Resultados dos tratamentos com a maior dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Variância | Componentes Principais | |
|---|------------------------|-------------|
| | 1 | 2 |
| Total (%) | 69,8 | 69,8 |
| Acumulada (%) | 12,6 | 82,4 |
| Caractere | Auto-vetor | |
| Massa seca de grão (g) | 0,04 | 0,00 |
| Proteína (%) | -0,01 | 0,01 |
| Massa seca de colmo (g) | -0,02 | -0,01 |
| Estatura (cm) | -0,02 | 0,06 |
| Número de colmos | -0,07 | -0,07 |
| Número de espigas | 0,00 | -0,07 |
| Número de grãos | 0,96 | 0,00 |
| Peso de mil grãos (g) | -0,02 | 0,02 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | 0,03 | 0,45 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | 0,03 | 0,33 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | -0,09 | 0,80 |
| Partição do nitrogênio no colmo (%) | -0,10 | -0,13 |
| Partição do nitrogênio na folha (%) | -0,10 | -0,02 |
| Partição do nitrogênio no grão (%) | 0,20 | 0,15 |

Fonte: Dados do autor.

Nos tratamentos com a menor dose de N, a contribuição relativa para a análise multivariada de apenas dois caracteres (Part.NC e Part.NG) foi de 78 % de (Tabela 15). Conforme o dendrograma, o Grupo 4, foi formado pelas cultivares BRS Brau, BRS Cauê e BRS Korbel e a Linhagem F (Figura 6). A Part.NC desses genótipos (56 %) foi menor que o observado com os genótipos dos outros Grupos (Tabela 17). Por outro lado, o valor dessa variável foi maior nos genótipos do Grupo 3, enquanto que os valores da Part.NG, da MSG e do número de grãos foi maior com os genótipos do Grupo 4. Esses ainda apresentaram valores menores de proteína, aminoácidos no floema do colmo e de partição de N na folha (Tabela 17).

Tabela 15 - Contribuição relativa de caracteres de genótipos de cevada, obtido com o método de Singh (1981) e os resultados dos tratamentos em que foi aplicada a menor dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Caractere | Contribuição relativa (%) |
|---|---------------------------|
| Partição do nitrogênio no colmo (%) | 56,9 |
| Partição do nitrogênio no grão (%) | 21,5 |
| Massa seca de grão (g) | 9,8 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | 3,2 |
| Proteína (%) | 2,4 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | 2,2 |
| Massa seca de colmo (g) | 1,2 |
| Número de espigas | 0,9 |
| Estatura (cm) | 0,9 |
| Peso de mil grãos (g) | 0,6 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | 0,3 |
| Número de colmos | 0,0 |
| Número de grãos | 0,0 |
| Partição do nitrogênio na folha (%) | 0,0 |

Fonte: Dados do autor.

Tabela 16 - Contribuição relativa de caracteres de genótipos de cevada, obtido com o método de Singh (1981) e os resultados dos tratamentos em que foi aplicada a maior dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Caractere | Contribuição relativa (%) |
|---|---------------------------|
| Partição de nitrogênio no colmo (%) | 62,5 |
| Massa seca de colmo (g) | 5,6 |
| Massa seca de grão (g) | 5,3 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | 4,8 |
| Número de espigas | 4,5 |
| Proteína (%) | 3,4 |
| Peso de mil grãos (g) | 3,3 |
| Número de grãos | 2,8 |
| Estatura (cm) | 2,7 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | 2,2 |
| Número de colmos | 2,1 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | 0,7 |
| Partição de nitrogênio na folha (%) | 0,0 |
| Partição de nitrogênio no grão (%) | 0,0 |

Fonte: Dados do autor.

Figura 6 - Dendrograma de dissimilaridade obtido pelo método de Ward, a partir da distância generalizada de Mahalanobis, e os resultados dos genótipos de cevada cultivados nos tratamentos com a menor dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

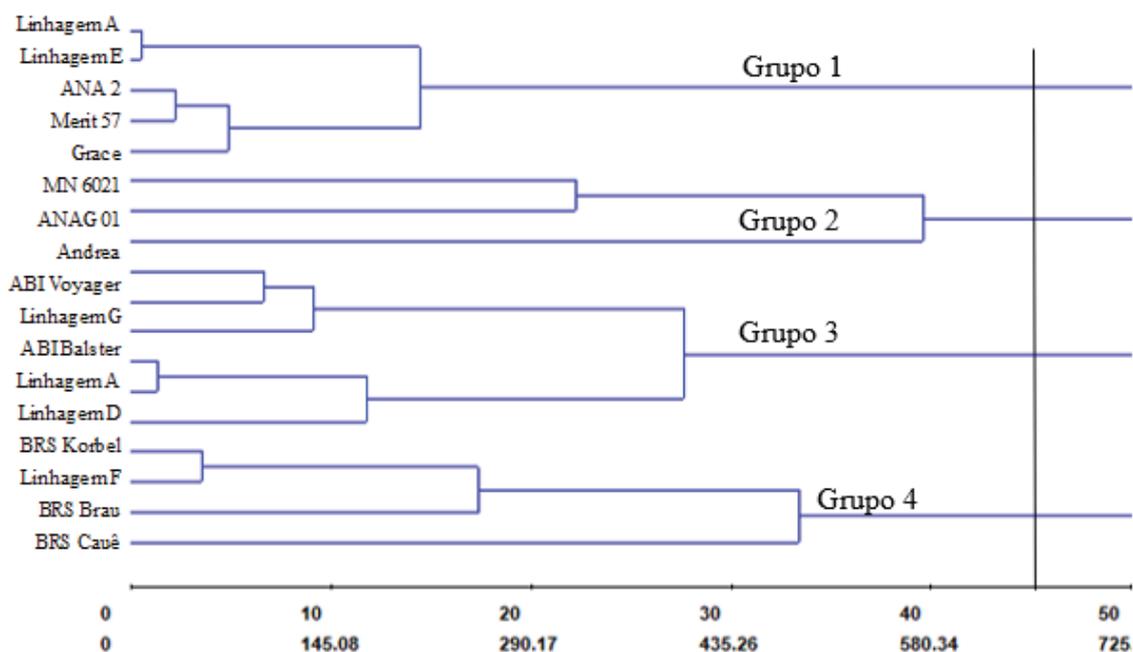
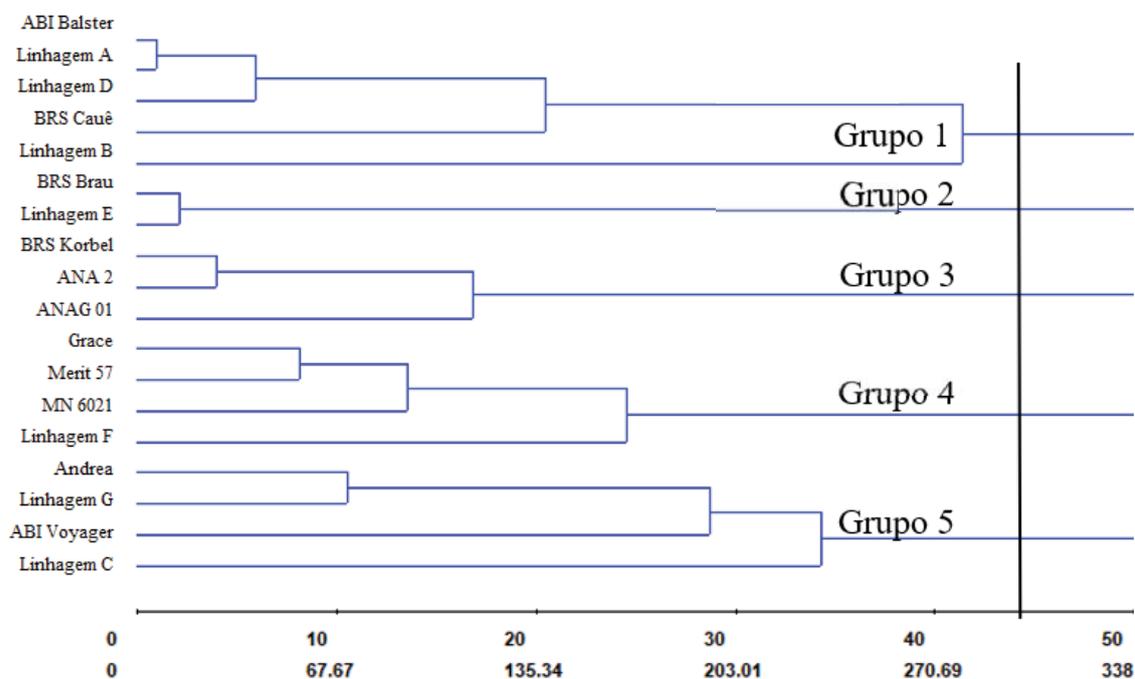


Figura 7 - Dendrograma de dissimilaridade obtido pelo método de Ward, a partir da distância generalizada de Mahalanobis, e os resultados dos genótipos de cevada cultivados nos tratamentos com a maior dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016



Nos tratamentos com a maior dose de N, a contribuição relativa para a análise multivariada da Part.NC foi maior que 60%. Considerando esse caráter, a diferença foi de 58% entre o Grupo 1 (ABI Balster, BRS Cauê e as linhagens A, B e D), com menores valores de Part.NC; e o Grupo 4 (Grace, Merit 57 e MN 6021 e a linhagem F), com maiores valores (Tabela 18).

Tabela 17 - Valores dos caracteres obtidos com média dos grupos de genótipos de cevada formados pelo dendrograma de dissimilaridade, utilizando o método de Ward, a partir da distância generalizada de Mahalanobis. Resultados dos tratamentos com a menor dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Caractere | Grupo | | | |
|---|-------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Partição de nitrogênio no colmo (%) | 25,6 | 21,8 | 26,5 | 14,9 |
| Partição de nitrogênio no grão (%) | 24,7 | 31,5 | 40,3 | 53,4 |
| Massa seca de grão (g/vaso)) | 2,0 | 1,9 | 3,5 | 5,5 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | 11,3 | 23,1 | 11,0 | 19,4 |
| Proteína (%) | 13,7 | 16,4 | 14,0 | 13,5 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | 47,1 | 77,2 | 46,5 | 61,5 |
| Massa seca de colmo (g/vaso) | 6,0 | 5,3 | 6,2 | 5,8 |
| Número de espigas | 19,9 | 14,7 | 17,2 | 18,6 |
| Estatura (cm) | 49,5 | 53,3 | 52,1 | 49,4 |
| Peso de mil grãos (g) | 42,7 | 45,1 | 48,1 | 45,3 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | 16,6 | 26,5 | 19,5 | 15,5 |
| Número de colmos | 31,2 | 23,8 | 26,9 | 25,9 |
| Número de grãos | 96,2 | 65,2 | 85,3 | 130,5 |
| Partição de nitrogênio na folha (%) | 49,7 | 46,6 | 33,2 | 31,7 |

Fonte: Dados do autor.

Considerando o objetivo da produção de grãos para malte especial, em condição de menor dose de N aplicada, o teor de proteína menos distante de 12% e a maior MSG obtido na média dos genótipos do Grupo 4 indicam que esses têm maior potencial que os demais, para esse tipo de malte, sem comprometer o rendimento de grão. O grupo 2 foi o que se destacou pelo maior percentual de proteína, o que se deve a menor MSG desse Grupo, indicando efeito de diluição desse caracter na MSG. Por outro lado, nos tratamentos com a maior dose de N, os teores de proteína foram menores e menos

distantes de 12%, indicando que o menor efeito de diluição da proteína na MSG possibilitou aproximar os valores de proteína ao demandado para a produção de maltes especiais. Assim, o potencial de utilização dos grãos desses genótipos deve considerar a dose de N aplicada no solo, pois essa influenciou dois dos caracteres mais relevantes no comércio desse cereal: a MSG e o teor de proteína.

Tabela 18 - Valores dos caracteres obtidos com média dos grupos de genótipos de cevada formados pelo dendrograma de dissimilaridade, utilizando o método de Ward, a partir da distância generalizada de Mahalanobis. Resultados dos tratamentos com a maior dose de nitrogênio. Passo Fundo – 2016

| Caractere | Grupo | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Partição do nitrogênio no colmo (%) | 13,8 | 14,9 | 18,7 | 23,8 | 23,1 |
| Massa seca de colmo (g/vaso) | 4,6 | 4,8 | 8,5 | 7,3 | 9,4 |
| Massa seca de grão (g/vaso) | 6,2 | 7,7 | 8,5 | 4,4 | 6,1 |
| Aminoácidos no floema da espiga (nmol/mL) | 61,0 | 53,7 | 57,7 | 76,0 | 63,9 |
| Número de espigas | 15,4 | 18,3 | 20,8 | 17,6 | 25,3 |
| Proteína (%) | 14,0 | 12,2 | 13,3 | 14,2 | 12,2 |
| Peso de mil grãos (g) | 40,9 | 43,4 | 44,5 | 45,0 | 51,8 |
| Número de grãos | 129,6 | 116,0 | 146,5 | 84,4 | 98,9 |
| Estatura (cm) | 53,5 | 47,5 | 59,2 | 51,9 | 58,8 |
| Aminoácidos no xilema da espiga (nmol/mL) | 36,6 | 11,7 | 14,8 | 24,0 | 17,4 |
| Número de colmos | 23,1 | 26,8 | 31,5 | 33,9 | 33,9 |
| Aminoácidos no floema do colmo (nmol/mL) | 31,2 | 13,8 | 29,2 | 26,2 | 21,0 |
| Partição do nitrogênio na folha (%) | 30,4 | 25,0 | 23,0 | 38,0 | 33,5 |
| Partição do nitrogênio no grão (%) | 55,8 | 60,1 | 58,3 | 38,2 | 43,4 |

Fonte: Dados do autor.

5 CONCLUSÕES

- 1) Há variabilidade entre genótipos de cevada, cultivados em solo adubado com doses de nitrogênio, quanto a eficiência nutricional desse nutriente, o teor de aminoácidos da seiva do floema e do xilema da espiga e o teor de proteína do grão.
- 2) Linhagens e cultivares de cevada cervejeira respondem distintamente à adubação nitrogenada, quanto à produção e a partição da massa seca.
- 3) A correlação entre as eficiências de uso e de absorção de nitrogênio e a massa seca de grão é alta.

REFERÊNCIAS

ABELEDI, G. L.; CALDERINI, D. F.; SLAFER, G. A. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. **Field Crops Research**, v. 106, n. 2, p. 171–178, 2008.

ALCANTARA, R. M. C. M.; SOUSA, S. R. DE; XAVIER, G. R.; ROCHA, M. de M.; RUMJANEK, N. G. **Mecanismos bioquímicos, fisiológicos e moleculares relacionados com a eficiência de uso de nitrogênio em leguminosas e gramíneas**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009.

ANBESSA, Y.; JUSKIW, P. Review: strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, p. 617-625, 2012.

BALIGAR, V.; FAGERIA, N.; HE, Z. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921–950, 2001.

BÄNZIGER, M.; BETRÁN, F. J.; LAFITTE, H. R. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. **Crop Science**, v. 37, p. 1103-1109, 1997.

BARNEIX, A. J. Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 5, p. 581–590, 2007.

BECHÉ, E.; BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; DALLÓ, S. C.; SASSI, L. H. S.; OLIVEIRA, R. Eficiência de uso de nitrogênio em cultivares de trigo pioneiras e modernas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 948-957, 2014.

BERTHOLDSSON, N. O. Characterization of malting barley cultivars with more or less stable grain protein content under varying environmental conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 10, p. 1-8, 1999.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

CANCI, P. C.; NDUULU, L. M.; DILL-MACKY, R.; MUEHLBAUER, G. J.; RASMUSSEN, D. C.; SMITH, K. P. Genetic relationship between kernel discolouration and grain protein concentration in barley. **Crop Science**, v. 43, p. 1671-1679, 2003.

CARVALHO, S. P. de. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. Viçosa: UFV, 1995.

COMADIRA, G.; RASOOL, B.; KARPINSKA, B.; MORRIS, J.; VERRALL, S. R.; HEDLEY, P. E.; FOYER, C. H.; HANCOCK, R. D. Nitrogen deficiency in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings induces molecular and metabolic adjustments that trigger aphid resistance. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3639–3655, 2015.

CORMIER, F.; FAURE, S.; DUBREUIL, P.; HEUMEZ, E.; BEAUCHÊNE, K.; LAFARGE, S.; PRAUD, A.; LE GOUIS, J. A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 126, p. 3035-3048, 2013.

CQFS RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS-NRS, 2016.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004.

DAWSON, J. C.; HUGGINS, D. R.; JONES, S. S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, v. 107, n. 2, p. 89–101, 2008.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. Documentos online, 139. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139.htm>.

DONG, Z.; CANNY, M. J.; McCULLY, M.; REBOREDO, M. R.; FERNÁNDEZ, C.; ORTEGA, E.; RODE'S, R. A nitrogen-fixing endophyte of sugarcane stems: a new role for the apoplast. **Plant Physiology**, v. 105, p. 1139-47, 1994.

EBERHARDT, D. S.; SILVA, P. R. F.; RIEFFEL NETO, S. R. Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e de dois genótipos de arroz vermelho. **Planta Daninha**, v. 17, p. 309-323, 1999.

EBRAHIMIAN, E.; KOOCHKEKI, A.; NASSIRI-MAHALLATI, M.; KHORRAMDEL, S.; BEHESHTI A. The effect of tillage and wheat residue management on nitrogen uptake efficiency and nitrogen harvest index in wheat. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 21, p. 233-239, 2016.

EDNEY, M. J.; O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; CLAYTON, G. W.; MCKENZIE, R.; JUSKIW, P.; LAFOND, G. P.; BRANDT, S.; GRANT, C. A.; HARKER, K. N.; JOHNSON, E. N.; MAY, W. Effects of crop management on barley quality and endosperm modification during malting. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 2672-2678, 2012.

EMBRAPA. Cevada. Disponível em:
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cevada/arvore.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

EGLE, K.; BESCHOW, H.; MERBACH, W. Nitrogen allocation in barley: relationships between amino acid transport and storage protein synthesis during grain filling. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, p. 451-459, 2015.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 2, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 110, p. 251-331, 2011.

FONTOURA, S. M. V.; VIERO, F.; BAYER, C.; MORAES, R. P. **Adubação nitrogenada em cereais de inverno**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2013.

FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, p. 13-37, 1978.

FOX, G. P.; KELLY, A. M.; CAKIR, M.; BLOUSTEIN, G.; POULSEN, D. M. E.; INKERMAN, P. A.; HENRY, R. J. Genetic impacts of the hull on barley grain quality. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 112, n. 2, p. 101-107, 2006.

GARNETT, T.; PLETT, D.; HEUER, S.; OKAMOTO, M. Genetic approaches to enhancing nitrogen-use efficiency (NUE) in cereals: challenges and future directions. **Functional Plant Biology**, v. 42, n. 10, p. 921-941, 2015.

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. de M.; ALVES, A. U.; FONSECA, I. M. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Ceres**, v. 57, p. 539-544, 2010.

GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 597–605, 2004.

GUBATZ, S.; SHEWRY, P. R. The development, structure, and composition of the barley grain. In: ULRICH, S. E., Ed. **Barley: Production, Improvement and Uses**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011, p. 391-448.

HAKEEM, K. R.; AHMAD, A.; IQBAL, M.; GUCEL, S.; OZTURK, M. Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 18, p. 1184–1193, 2011.

HAWKESFORD, M. J. The diversity of nitrogen use efficiency for wheat varieties and the potential for crop improvement. **Better Crops with Plant Food**, v. 96, n. 3, p. 10-13, 2012.

HORTENSTEINER, S.; FELLER, U. Nitrogen metabolism and remobilization during senescence. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 927–937, 2002.

HOUGH, J. S. **Biotechnología de la cerveza y la malta**. Zaragoza: Acribia, 1990.

HUPPE, H. C.; TURPIN, D. H. Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 577-607, 1994.

IMSANDE, J.; TOURAINÉ, B. N. Demand and the regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, v. 105, n. 1, p. 3–7, 1994.

KAZEMZADEH, M.; PEIGHAMBAR DOUST, S. H. Effect of organic and nitrogen fertilizers on physicochemical properties and bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). **Journal of Food Research**, v. 23, p. 179-197, 2013.

KRAISER, T.; GRAS, D. E.; GUTIÉRREZ, A. G.; GONZÁLEZ, B.; GUTIÉRREZ, R. A. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 1455–1466, 2011.

KREN, J.; KLEM, K.; SVOBODOVÁ, I.; MÍSA, P.; NEUDERT, L. Yield and grain quality of spring barley as affected by biomass formation at early growth stages. **Plant, Soil and Environment**, v. 60, n. 5, p. 221–227, 2014.

KUCZYNSKA, A.; MILCZARSKI, P.; SURMA, M.; MASOJÆ, P.; ADAMSKI, T. Genetic diversity among cultivars of spring barley revealed by random amplified polymorphic DNA (RAPD). **Journal of Applied Genetics**, v. 42, n. 1, p. 43-48, 2007.

KUNZE, W. **Tecnologie Brauer Malzer**. 7. ed. Berlin: VLB, 1994.

_____. La cerveza terminada. In: KUNZE, W. **Tecnología para cerveceros y malteros**. Berlín: VLB, 2006. p. 826-885.

LUCAS, W. J.; GROOVER, A.; LICHTENBERGER, R.; FURUTA, K.; YADAV, S. R.; HELARIUTTA, Y.; XIN QIANG, H.; FUKUDA, H.; KANG, J.; BRADY, S. M.; PATRICK, J. W.; SPERRY, J.; YOSHIDA, A.; LÓPEZ MILLÁN, A. F.; GRUSAK, M. A.; KACHROO, P. The plant vascular system: evolution, development and functions. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 55, p. 294 388, 2013.

MAGNÉ, C.; LARHER, F. High sugar content of extracts interferes with determination of amino acids and free praline. **Analytical Biochemistry**, v. 200, p. 115-118, 1992.

MAILLARD, A.; DIQUÉLOU, S.; BILLARD, V.; LAÎNÉ, P.; GARNICA, M.; PRUDENT, M.; GARCIA-MINA, J. M.; YVIN, J. C.; OURRY, A. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 317, 2015.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. Ed. London: Elsevier, 2012.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; DANIEL-VEDELE, F.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L.; SUZUKI, A. Nitrogen uptake, assimilation and

remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1141–1157, 2010.

MILLER, A. J.; SHEN, Q.; XU, G. Freeways in the plant: transporters for N, P and S and their regulation. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 284–290, 2009.

MIRALLES, D. J.; ARISNABARRETA, S.; ALZUETA, I. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. In: MIRALLES, D. J.; BENECH-ARNOLD, R. L.; ABELEDO, G. **Cebada cervecera**. Buenos Aires: Gráfica, 2011. p.1-34.

MOHAMMADI, S. A.; PRASANNA, B. M. Analyses of genetic diversity in crop plants – Salient statistics tools and considerations. **Crop Science**, v. 43, n. 4, p. 1235-1248, 2003.

MOLINA-CANO, J. L.; FRANCESCH, M.; PEREZ-VENDRELL, A. M.; RAMO, T.; VOLTAS, J.; BRUFAU, J. Genetic and environmental variation in malting and feed quality of barley. **Journal of Cereal Science**, v. 25, n. 1, p. 37-47, 1997.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562–564, 1982.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981.

O'DONOVAN, J. T.; TURKINGTON, T. K.; EDNEY, M. J.; CLAYTON, W.; MCKENZIE, R. H.; JUSKIW, P. E.; LAFOND, G. P.; GRANT, C. A.; BRANDT, S.; HARKER, K. N.; JOHNSON, E. N.; MAYW, E. Seeding rate, nitrogen rate and cultivar effects on malting barley production. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 709-716 2011.

O'DONOVAN, J. T.; ANBESSA, Y.; GRANT, C. A.; MACLEOD, A. L.; EDNEY, M. J.; IZYDORCZYK, M. S.; TURKINGTON, T. K.; JUSKIW, P. E.; LAFOND, G. P.; MAY, W. E.; HARKER, K. N.; JOHNSON, E. N.; BERES, B. L.; McALLISTER, T. A.; SMITH, E. G.; CHAPMAN, W. Relative responses of new malting barley cultivars to increasing nitrogen rates in western Canada. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95, p. 831–839, 2015.

PROUDLOVE, M. O.; DAVIES, N. L.; MCGILL, W. Quality requirements for malting barley and their measurement. **Ferment**. v. 3, n. 3. p.173-176. 1990.

QI, J. C.; CHEN, J. X.; WANG, J. M.; WU, F. B.; CAO, L. P.; ZHANG, G. P. Protein and hordein fraction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. **Journal of Zhejiang University. Science. B**, v. 6, p. 1069–1075, 2005.

QI, J. C.; ZHANG, G. P.; ZHOU, M. X. Protein and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to beta-amylase activity. **Journal of Cereal Science**, v. 43, p. 102–107, 2006.

RASMUSSEN, I. S.; DRESSBOLL, D. B.; THORUP-KRISTENSEN, K. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – effects on root growth: N uptake efficiency and N use efficiency. **European Journal of Agronomy**, v. 68, p. 38–49, 2015.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; THOMASON, W. E.; LUKINA, E. V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 4, p. 815–820, 2002.

SCHLÜTER, U.; MASCHER, M.; COLMSEE, C.; SCHOLZ, U.; BRÄUTIGAM, A.; FAHNENSTICH, A.; SONNEWALD, U. Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency affects not only nitrogen and carbon metabolism but also control of phosphate homeostasis. **Plant Physiology**, v. 160, p. 1384–1406, 2012.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding**, v. 41, p. 237-245, 1981.

SOLTANI, E.; SOLTANI, A.; ZEINALI, E.; DASTMALCHI, A. Estimates of nitrate leaching from wheat fields in Gorgan. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 20, p. 145-163, 2013.

STEFANUTTO, J. C.; GONÇALVEZ, J. E. Avaliação e comparação da composição química da seiva apoplástica e simplástica de plantas convencionais. In: MOSTRA INTERNA DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. **Anais eletrônicos...** Maringá: Cesumar, 2012. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/mostras/vi_mostra/jessica_cristina_stefanutto_2.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018;

SYLVESTER-BRADLEY, R.; KINDRED, D. R. Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 7, p. 1939–1951, 2009.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, T.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOIKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- TIDAKERA, P.; BERGKVISTB, G.; BOLINDER, M.; ECKERSTENB, H.; JOHNSON, H.; KÄTTER, T.; WEIHB, M. Estimating the environmental footprint of barley with improved nitrogen uptake efficiency - a Swedish scenario study. **European Journal of Agronomy**, v. 80, p. 45–54, 2016.
- TSCHOEP, H.; GIBON, Y.; CARILLO, P.; ARMENGAUD, P.; SZECOWKA, M.; NUNES-NESE, A.; FERNIE, A. R.; KOEHL, K.; STITT, M. Adjustment of growth and central metabolism to a mild but sustained nitrogen-limitation in Arabidopsis. **Plant, Cell & Environment**, v. 32, p. 300–318, 2009.
- TUCKER, M. R. **Essential plant nutrients**: their presence in North Carolina soils and role in plant nutrition. NCDS & CS: Agronomic Division. 1999. Disponível em: <<https://carteret.ces.ncsu.edu/files/library/16/2/20Essential%20Plant%20Nutrients.pdf>> Acesso em: 16 mai. 2018.
- URQUHART, A. A.; JOY, K. W. Use of phloem exudate technique in the study of amino acid transport in pea plants. **Plant Physiology**, v. 68, p. 750–754, 1981.
- VELIZ, C. G.; CRIADO, M. V.; ROBERTS, I. N.; ECHEVERRIA, M.; PRYSTUPA, P.; PRIETO, P.; GUTIERREZ BOEM, F. H.; CAPUTO, C. Phloem sugars and amino acids as potential regulators of hordein expression in field grown malting barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 60, n. 2, p. 433–439, 2014.
- VERMA, R. P. S.; SARKAR, B. Diversity for malting quality in barley (*Hordeum vulgare*) varieties released in India. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 80, n. 6, p. 493-500, 2010.
- WAMSER, A. F.; MUNDSTOCK, C. M. Shoot survival increment in barley by nitrogen supply in the shoots elongation stage. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1577–1585, 2007.
- WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant and Soil**, v. 339, p. 513–520, 2011.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 52, p. 659-688, 2001.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 7, p. 557-585, 1921.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 153–182, 2012.

ZÁKOVÁ, M.; BENKOVÁ, M. Characterization of spring barley accessions based on multivariate analysis. **Communications in Biometry and Crop Science**, v. 1, n. 2, p. 124-134, 2006.

ZHANG, W. H.; ZHOU, Y.; DIBLEY, K. E.; TYERMAN, S. T.; FURBANK, R. T.; PATRICK, J. W. Nutrient loading of developing seeds. **Functional Plant Biology**, v. 34, p. 314-331, 2007.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV