

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DIEGO MACIEL TREVIZAN

**EFICIÊNCIA DE USO E DOSES DE NITROGÊNIO EM TRIGO SOB
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2017

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DIEGO MACIEL TREVIZAN

**EFICIÊNCIA DE USO E DOSES DE NITROGÊNIO EM TRIGO SOB
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2017

DIEGO MACIEL TREVIZAN

**EFICIÊNCIA DE USO E DOSES DE NITROGÊNIO EM TRIGO SOB
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin

PATO BRANCO

2017

T814e Trevizan, Diego Maciel.
Eficiência de uso e doses de nitrogênio em trigo sob diferentes
arranjos espaciais de plantas / Diego Maciel Trevizan. -- 2017.
64 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco,
PR, 2017.
Bibliografia: f. 58 – 64.

1. Trigo – Semeadura. 2. Trigo – Efeito do nitrogênio. 3. Grãos –
Rendimento. I. Benin, Giovani, orient. II. Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
III. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 143

EFICIÊNCIA DE USO E DOSES DE NITROGÊNIO EM TRIGO SOB DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS

Por

DIEGO MACIEL TREVIZAN

Dissertação apresentada às treze horas e cinquenta minutos do dia quinze de fevereiro de dois mil e dezessete, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Giovani Benin
Orientador

Prof. Dr. Luís César Cassol
UTFPR/Pato Branco

Prof. Dr. Volmir Sérgio Marchioro
UFSM/Frederico Westphalen

Prof. Dr. Moeses Andriago Danner
Coordenador PPGAG/UTFPR

* “A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”.

“A família é o bem mais precioso que possuímos, pois tudo aquilo que sou,
ou pretendo ser, devo aos anjos que são minha família”.

A minha família,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus por minha família, amigos e oportunidades.

Aos meus pais, Alcides e Leci pela força, atenção e compreensão. As minhas irmãs, Edevania e Vanieli, pelo apoio e inspiração para seguir em frente e sempre melhorar.

Ao Prof. Dr. Giovani Benin pela orientação, oportunidades e pelo aprendizado repassado, tanto na graduação quanto no mestrado, tornando possível esse momento.

Agradeço aos meus amigos e colegas do laboratório de melhoramento da UTFPR, pelo conhecimento, momentos de descontração e auxílio na execução das tarefas. Aos professores do PPGAG e demais colegas e amigos, pois sempre ajudamos uns aos outros e muitas vezes deixamos de lado nossas próprias tarefas para fornecer essa ajuda.

Ao CNPq, pelos recursos disponibilizados em projetos de pesquisa e a CAPES, pela bolsa de estudos disponibilizada durante mestrado.

O meu Muito Obrigado a todos e desejo muito sucesso tanto na vida pessoal quanto na profissional.

“Não é tão simples viver a vida.

Às vezes, ela contém capítulos imprevisíveis e inevitáveis.
Mas é possível escrever os principais textos de nossas vidas nos
momentos mais difíceis de nossa existência” – Augusto Cury.

RESUMO

TREVIZAN, Diego Maciel. Eficiência de uso e doses de nitrogênio em trigo sob diferentes arranjos espaciais de plantas. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Uma das alternativas para minimizar as perdas de nitrogênio (N), além do uso de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) mais eficientes na utilização desse nutriente, e a identificação de manejos que intensifiquem o aproveitamento do N. Para as cultivares e condições climáticas do Brasil, existem poucos estudos que tenham quantificado como o arranjo espacial de plantas afeta a eficiência de uso do N. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes arranjos espaciais (combinação entre densidades de semeadura e espaçamento entre linhas) no desempenho agrônomo e aproveitamento do N mineral aplicado. O experimento foi conduzido em Pato Branco, nas safras agrícolas de 2014 e 2015, em delineamento em blocos ao acaso, em modelo fatorial, com três repetições. Dois cultivares de trigo (CD 150 e Ametista) foram submetidos a quatro densidades de semeadura (150, 300, 450 e 600 sementes m⁻²), duas doses de N (20 e 120 Kg ha⁻¹) e dois espaçamentos entrelinhas (0,17 e 0,25 m). As maiores produtividades de grãos foram alcançadas no menor espaçamento entrelinhas e alta dose de N, para ambos os cultivares e anos avaliados. As densidades, para máxima eficiência técnica, de 400 sementes m⁻² para a cultivar CD 150 e 425 sementes m⁻² para a cultivar Ametista proporcionam os maiores rendimentos de grãos, ambas para o menor espaçamento. A eficiência de uso, de absorção e de utilização do N foram superiores nas condições com menor nível de N. Em ambos os espaçamentos utilizados, a eficiência de uso do N foi favorecida no menor espaçamento, bem como a eficiência de absorção do N. Os resultados permitem concluir que o teor de N proveniente da mineralização da matéria orgânica deve ser empregado como parâmetro para aplicação de N em cobertura. Com isso, evitar o uso excessivo do mesmo e otimizar tanto o rendimento de grãos quanto os parâmetros da eficiência de uso do N.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L. Densidades de semeadura. Espaçamento entrelinhas. Indicadores de avaliação do nitrogênio. Rendimento de grãos.

ABSTRACT

TREVIZAN, Diego Maciel. Efficiency of use and doses of nitrogen in wheat under different spatial arrangements of plants. 65 f. Dissertation (Masters in Agronomy) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2017.

An alternative to minimize Nitrogen (N) losses, beyond use of more efficient wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on the use of this nutrient, is the identification of managements to intensify the use of N. For the varieties and climatic conditions of Brazil, there are few studies that have quantified how the spatial arrangement of plants affects the N-use efficiency. The objective of this study was to evaluate the effect of different spatial arrangements (combination between seeding rates and row spacing) on agronomic performance and utilization of the applied mineral nitrogen. The experiment was conducted in Pato Branco in the crops year 2014 and 2015, in a randomized block design, a factorial model, with three replications. Two wheat cultivars (CD 150 and Ametista) were submitted to four seeding densities (150, 300, 450 and 600 seeds m⁻²), two N doses (20 to 120 kg ha⁻¹) and two row spacings (0.17 and 0.25 m). The highest grain yields were reached at the lowest line spacing and high nitrogen dose for cultivars and evaluated years. The densities, for maximum technical efficiency, of 400 seeds m⁻² for the cultivar CD 150 and 425 seeds m⁻² for the cultivar Ametista provides highest grain yield, for both cultivars and years evaluated. The N-use efficiency, N-uptake efficiency and N-utilization efficiency were higher in the conditions with lower level of N. In both spacings used, N-use efficiency was favored in the least spacing, as well as N-uptake efficiency. The results showed that the N content from the mineralization of organic matter should be used as a parameter for N application in the cover. Thus, avoiding excessive use of it and optimize both the grain yield as the N-use efficiency parameters.

Keywords: *Triticum aestivum* L. Plant density. Row spacing. Nitrogen evaluation indicators. Grain yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Dados de precipitação pluvial acumulada e médias mensais de temperatura referentes ao período experimental nas safras agrícolas 2014 (A) e 2015 (B). Fonte: IAPAR. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.....27
- Figura 2** – Rendimento de grãos em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 nos anos de 2014 (A) e 2015 (B); e para o cultivar Ametista nos anos de 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.36
- Figura 3** – Rendimento de grãos (RG) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.....37
- Figura 4** – Massa de mil grãos (MMG) em resposta a dois espaçamentos entrelinhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 nos anos 2014 (A) e 2015 (B); e para o cultivar Ametista nos anos de 2014 (C) e 2015 (D). Resposta a adubação nitrogenada para o cultivar CD 150 ano 2014 (C) e diferentes espaçamentos para Ametista ano 2015 (F), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.38
- Figura 5** – Massa de mil grãos (MMG) em resposta a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.39
- Figura 6** – Número de afilhos férteis por semente viável (AF) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.40
- Figura 7** – Número de afilhos férteis por semente viável (AF) em resposta a dois espaçamentos (E1 e E2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.....40
- Figura 8** – Número de afilhos férteis por semente viável (AF) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.....41
- Figura 9** – Fitomassa total (FT) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.42
- Figura 10** – Fitomassa total (FT) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidas a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.43

Figura 11 – Índice de clorofila na antese (ICF-T) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C), 2015 (D). Resposta do cultivar Ametista, ano 2015, as doses de N (E), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	44
Figura 12 – Índice de clorofila na antese (ICF-T) em resposta a quatro densidades de semeadura em dois anos. (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	45
Figura 13 – Nitrogênio total na fitomassa acima do solo na antese (N_{ANT}) (A; B; C; D), Nitrogênio total na maturação fisiológica (N_{MF}) (E; F; G; H) e Nitrogênio total nos grãos ($N_{Grãos}$) (I; J; K; L) em resposta a duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para os cultivares CD 150 nos anos 2014 (A; E; I), 2015 (B; F; J) e Ametista nos anos 2014 (C; G; K) e 2015 (D; H; L), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	49
Figura 14 – Nitrogênio total na antese (N_{ANT}) em resposta a quatro densidades de semeadura em dois anos de avaliação (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	50
Figura 15 – Nitrogênio total na maturação fisiológica (N_{MF}) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	50
Figura 16 – Nitrogênio total nos grãos ($N_{Grãos}$) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	51
Figura 17 – Eficiência de Uso do Nitrogênio (EUN) (A; B; C; D), Eficiência de Absorção de Nitrogênio (EAN) (E; F; G; H) e Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUtN) (I; J; K; L) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidos a duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para os cultivares CD 150, ano 2014 (A; E; I) e 2015 (B; F; J), e Ametista, ano 2014 (C; G; K) e 2015 (D; H; L), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	53
Figura 18 – Eficiência de Uso do Nitrogênio (EUN) (A; B) e Eficiência de Absorção de Nitrogênio (EAN) (C; D) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A e C = CD150; B e D = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	54
Figura 19 – Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUtN) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.	55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Caracterização química do solo onde foi implantado o experimento. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2017.26
- Tabela 2** – Descrição dos Genótipos, genealogia, empresa obtentora, ano de lançamento e características agrônômicas. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2017....27
- Tabela 3** – Detalhamento dos tratamentos utilizados no experimento, densidades de semeadura, doses de nitrogênio e espaçamento entrelinhas. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2017.....28
- Tabela 4** – Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias para as cultivares CD 150 e Ametista, avaliados em dois níveis de adubação nitrogenada (20 e 120 Kg ha⁻¹), dois espaçamentos entre linhas (0,17 e 0,25 metros) e quatro densidades de semeadura (150, 300, 450 e 600 sementes m⁻²) nas safras agrícolas 2014 e 2015. UTFPR, Pato branco-PR, 2017. .34
- Tabela 5** - Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias para os cultivares CD 150 e Ametista avaliados em dois níveis de adubação nitrogenada (20 e 120 Kg ha⁻¹), dois espaçamentos entre linhas (0,17 e 0,25 metros) e quatro densidades de semeadura (150, 300, 450 e 600 sementes m⁻²), nas safras agrícolas 2014 e 2015. UTFPR, Pato branco-PR, 2017. 47

LISTA DE SIGLAS

AF	Afilhos férteis
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente
ChlA	Clorofila A
ChlA+B	Clorofila A+B
ChlB	Clorofila B
D	Densidades de Semeadura
E	Espaçamento Entrelinhas
EAN	Eficiência de Absorção do Nitrogênio
EUN	Eficiência de Uso do Nitrogênio
EUtN	Eficiência de Utilização do Nitrogênio
FT	Fitomassa Total
IAF	Índice de área foliar
ICF-T	Índice de Clorofila Total
MMG	Massa de Mil Grãos
N	Nitrogênio
PH	Peso do Hectolitro
RFAint	Radiação fotossinteticamente ativa interceptada
RG	Rendimento de grãos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VCU	Valor de cultivo e uso

LISTA DE ABREVIATURAS

CD	COODETEC – Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
cm	Centímetros
Dr.	Doutor
g	Gramas
ha	Hectares
hl	Hectolitro
Kg	Quilograma
m	Metros
mm	Milímetros
mg	Miligramas
Prof.	Professor
µm	Micrômetro

LISTA DE ACRÔNIMOS

COODETEC	Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
OR Sementes	OR Melhoramento de Sementes Ltda.
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
NO ₃ ⁻	Nitrato
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
h ²	Herdabilidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 A CULTURA DO TRIGO E SUA IMPORTÂNCIA.....	20
2.2 ARRANJO ESPACIAL DE PLANTAS	21
2.2.1 Densidades de semeadura	22
2.2.2 Espaçamentos entrelinhas.....	22
2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	23
2.3.1 Nitrogênio na planta.....	23
2.3.2 Adubação nitrogenada em trigo	24
2.3.3 Eficiência de Uso do Nitrogênio	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	26
3.2 CARACTERES AVALIADOS	29
3.2.1 Rendimento de Grãos, Massa de Mil Grãos e Peso de Hectolitro	29
3.2.2 Fitomassa Total e Número de Afilhos Fértiles	29
3.2.3 Índice de Clorofila Total (ICF-T).....	30
3.2.4 Determinação dos Teores de Nitrogênio na Planta.....	30
3.2.5 Componentes da Eficiência de Uso do N (EUN).....	31
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 CARACTERES AGRONÔMICOS E ÍNDICE DE CLOROFILA TOTAL.....	33
4.2 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DO NITROGÊNIO	46
5. CONCLUSÕES	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma cultura de grande valor para a alimentação humana em todo o mundo. No Brasil, é importante do ponto de vista econômico e de sustentabilidade, por ser uma das poucas culturas de inverno que possibilitam retorno financeiro satisfatório ao produtor. É uma ótima alternativa para a rotação e/ou sucessão de culturas, proporcionando boa manutenção da palhada de cobertura no solo.

A área de cultivo de trigo no Brasil se encontra predominantemente na Região Sul. Esta região apresenta clima temperado, que é considerado ideal para o desenvolvimento da cultura (GOODING, 2009). Os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul foram responsáveis por aproximadamente 60,7 e 26,5%, respectivamente, da produção nacional na safra 2015. Já na safra 2016, estes estados responderam por 50,7 e 37,1% da produção nacional, respectivamente. Mesmo com uma área de cultivo reduzida em 13,5%, a produção total de trigo no Brasil, na última safra, foi de 6,7 milhões de toneladas (21,5% maior que 2015). Esse montante representou aproximadamente 55% do volume total consumido internamente em 2016, mantendo o Brasil como um dos principais países importadores (CONAB, 2017).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais demandando para o desenvolvimento da cultura do trigo e um dos fatores mais limitantes para a obtenção de altas produtividades (VIANA; KIEHL 2010; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; BENIN et al., 2012; LERNER et al., 2013; FU et al., 2014). Nesse sentido, estudos indicam que o ajuste do arranjo espacial de plantas, através dos ajustes das densidades de semeadura (VALÉRIO et al., 2008; SILVEIRA et al., 2010; TAVARES et al., 2014) e dos espaçamentos entre linhas (ZHOU et al., 2012; PANDEY et al., 2013; SANDLER et al., 2014), afetam a competição entre plantas por luz, água e nutrientes, refletindo no desenvolvimento e produtividade da cultura do trigo.

A utilização incorreta da combinação cultivar x densidade de semeadura x espaçamento entrelinhas x dose de N pode acarretar maior senescência de afilhos (HILTBRUNNER et al., 2005; SCHILLINGER; WUEST, 2014), elevar a incidência de doenças (BACCAR et al., 2011), reduzir a taxa fotossintética nas folhas basais (PROVENZI et al., 2012) e elevar a taxa de acamamento de plantas em altas doses

de N (ZAGONEL et al., 2002). Desta forma, estes fatores devem ser ajustados de acordo com as características recomendadas para cada cultivar e as condições climáticas da região de cultivo.

Estudos mostram que grande parte do N disponibilizado para as plantas é perdido para o ambiente através da desnitrificação, escoamento superficial, lixiviação do nitrato (NO_3^-) (RILEY et al., 2001; THEAGO et al., 2014) e volatilização da amônia (NH_3) (MA et al., 2010), resultando em baixa eficiência de uso do mesmo (ERCOLI et al., 2012) gerando perdas econômicas e ambientais (YAN et al., 2014). Uma alternativa para minimizar essas perdas de N, além do uso de cultivares mais eficientes na utilização do N (GAJU et al., 2014), é a identificação de manejos que intensifiquem o aproveitamento do N pela cultura.

A Eficiência de Uso do N (EUN) é definida como uma razão entre o rendimento de grãos e a quantidade do nutriente fornecido pelo solo e por meio de fertilizantes químicos. A EUN é dividida em dois componentes principais: Eficiência de Absorção do N (EAN) e a Eficiência de Utilização do N (EUtN) (MOLL et al., 1982; GAJU et al., 2014). Uma das alternativas para maximizar a EUN é através do manejo adequado do arranjo espacial de plantas, de acordo com as características/potencial do cultivar (DAI et al., 2013). Para os cultivares e condições climáticas do Brasil, não há disponibilidade de estudos que tenham quantificado a influência do arranjo espacial de plantas sobre a EUN.

Desta forma, este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes arranjos espaciais (combinação de densidades de semeadura e espaçamento entrelinhas) no desempenho agrônomo e aproveitamento do N mineral aplicado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DO TRIGO E SUA IMPORTÂNCIA

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das principais poáceas cultivadas no mundo, juntamente com o milho e o arroz. É amplamente utilizado para a alimentação humana por ser uma excelente fonte de amido e, em concentrações menores, de proteínas, lipídeos, fibras e minerais (RODRIGHERO et al., 2015). Seu subproduto, a farinha, destina-se a fabricação de vários alimentos como pães, massas e biscoitos para alimentação humana e de farelo usado na alimentação animal (GAO et al., 2012).

Essa poácea possui grande importância no agronegócio brasileiro, pois abrange diversas áreas como pesquisa, produção, industrialização e comercialização, proporcionando a geração de milhares de empregos (RODRIGUES et al., 2014). Além disso, possui grande importância para a sustentabilidade de pequenas e médias propriedades do Sul do Brasil, onde se insere perfeitamente em sistemas de rotação de culturas (NUNES et al., 2011).

Na safra de 2016, a produção brasileira de trigo foi de 6,73 milhões de toneladas, sendo 3,4 milhões de toneladas produzidas somente pelo Estado do Paraná. No entanto, o volume atual produzido não supre a demanda brasileira, que atualmente é de aproximadamente 13,5 milhões de toneladas (CONAB, 2017). A produtividade do Brasil (3175 Kg ha^{-1}) é considerada baixa quando comparada a União Europeia (5340 Kg ha^{-1}), China (5330 Kg ha^{-1}), Estados Unidos (3540 Kg ha^{-1}) e Argentina (3390 Kg ha^{-1}), e considerada alta quando comparada a Índia (2980 Kg ha^{-1}) e Rússia (2680 Kg ha^{-1}), sendo estes os principais países/regiões produtoras (USDA, 2017). Dessa forma, a adoção de manejos adequados, escolha correta do cultivar e do nível tecnológico empregado são essenciais para a obtenção de altas produtividades.

Estudos comparando cultivares antigas e modernas relatam ganho genético de 1,54% (RODRIGUES et al., 2002) a 0,82% ao ano (BECHE et al., 2014). A produtividade das cultivares pioneiras alcançavam médias de 1500 kg ha^{-1} (SCHEEREN et al., 2002; TAVARES et al., 2011; BECHE et al., 2014). Enquanto isso,

o potencial para rendimento de grãos das cultivares modernas pode atingir níveis na ordem de 6000 até 7000 kg ha⁻¹ no sul do Brasil (TAVARES et al., 2011; BECHE et al., 2014) alcançando valores superiores a 8000 Kg ha⁻¹ no Brasil Central, em condições de cultivo irrigado (PIRES et al., 2005). Atualmente, o rendimento de grãos na Região Sul do Brasil, situa-se na faixa de 3190 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017), ou seja, muito aquém do potencial de rendimento supracitado para essa região.

As cultivares atualmente utilizadas para semeadura apresentam porte baixo, maior resistência ao acamamento, folhas mais eretas, proporcionando maior interceptação da radiação solar e aumentando a eficiência fotossintética, utilizando com maior eficiência os recursos do ambiente como: água, luz e nutrientes, garantindo maiores rendimentos.

2.2 ARRANJO ESPACIAL DE PLANTAS

O arranjo espacial de plantas pode afetar importantes funções no desenvolvimento das plantas. Dentre estas funções destaca-se a otimização da capacidade de perfilhamento (THORSTED et al., 2006) e a utilização com maior eficiência dos fatores abióticos como interceptação da luz, eficiência de utilização da água e aproveitamento dos nutrientes disponíveis (HUSSAIN et al., 2012). A competição entre plantas por esses recursos (ARDUINI et al., 2006; KALPANA et al., 2014), influencia tanto na expressão dos componentes de rendimento quanto em produtividade e qualidade de grãos da cultura.

Esse arranjo pode ser definido por combinações entre densidade de semeadura e espaçamento entre linhas de plantio (PIRES et al., 2005), ou simplesmente, a forma/maneira de como as plantas estão distribuídas na área. O melhor arranjo de plantas pode ser determinado, teoricamente, como aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme das plantas, tanto na linha quanto na entrelinha, maximizando a utilização por recursos do ambiente, como água, luz e nutrientes. Além disso, pode proporcionar maior eficiência no controle/supressão de plantas daninhas através do uso adequado dessas práticas culturais (FAHAD et al., 2015; BEZERRA et al., 2014). Densidade de semeadura elevada pode reduzir a eficiência das pulverizações, devido ao maior fechamento do dossel, reduzindo a

atuação dos fungicidas e inseticidas nas folhas baixas dificultando o manejo químico de doenças e pragas.

2.2.1 Densidades de semeadura

A densidade de semeadura, considerada como um dos componentes “chaves” para alcançar altas produtividades, deve ser ajustada de acordo com as características de cada cultivar como: capacidade de perfilhamento e tolerância ao acamamento (FIOREZE et al., 2012). O correto ajuste da densidade de semeadura proporciona um maior equilíbrio entre os componentes de rendimento, resultando assim em maior produtividade (VALÉRIO et al., 2013).

Densidades em desacordo com as características do cultivar podem causar implicações diretas na produtividade. Casos onde a densidade é muito elevada levam a competição entre plantas, podendo causar redução no número de afixos férteis. Já densidades ou espaçamento entrelinhas aquém do necessário podem ocasionar maior competição com plantas daninhas (FAHAD et al., 2015), dificultando o controle e reduzindo o rendimento de grãos.

De modo geral, densidade de semeadura elevada é mais importante para genótipos com baixa capacidade de perfilhamento (VALÉRIO et al., 2008). Em estudo envolvendo densidades de semeadura com dez genótipos avaliados, Silveira et al. (2010) observaram que o maior rendimento de grãos foi obtido quando as densidades utilizadas ficaram entre 350 e 500 sementes m^{-2} , distribuídas de forma equidistantes. No entanto, Tavares et al. (2014) não encontraram diferença no rendimento de grãos utilizando densidades de 150, 250, 350 e 450 plantas m^{-2} .

2.2.2 Espaços entrelinhas

O espaçamento entrelinha normalmente utilizado para a cultura do trigo é de 0,17 m. A adaptação do espaçamento entrelinhas pode modificar a arquitetura das plantas, alterar seu crescimento e desenvolvimento, influenciando na produção e partição de fotoassimilados, e na produção de fitomassa (SAMANI et al., 1999). Esse

espaçamento, se reduzido, pode auxiliar na conservação da umidade do solo e no controle de plantas invasoras, devido ao rápido fechamento das entrelinhas (HUSSAIN et al., 2003; BOSTRÖM et al., 2012).

A distribuição apropriada das plantas na lavoura se faz necessária para que ocorra o máximo de interceptação da luz, atingindo a máxima eficiência fotossintética pelas folhas de uma planta (EVERS et al., 2009). Portanto, a máxima radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) possível de ser atingida pelo dossel, é favorecida pelo rápido estabelecimento do índice de área foliar (IAF), ou seja, rápido fechamento das entrelinhas. A RFA_{int} é influenciada pelo IAF, pela interceptação de luz por outras partes da planta e pelas características de absorção da luz. Para isso, o espaçamento ideal deve considerar a morfologia do cultivar, permitindo a produção de uma estrutura de dossel com capacidade em obter a maior eficiência no uso da radiação solar, otimizando assim o rendimento (RODRIGUES et al., 2002).

Alguns autores relataram a influência das técnicas de manejo no rendimento de grãos e seus componentes (KANEKO et al., 2010; ZHANG et al., 2016). Hussain et al. (2012), observaram que houve diferença significativa para número de afilhos férteis e número de grãos por espiga em três cultivares de trigo com diferentes espaçamentos entrelinhas (15, 20, 25 e 30 cm) e o rendimento de grãos diminuiu conforme o aumento do espaçamento. Porém, em trabalho realizado por Pandey et al. (2013), utilizando espaçamentos entre linhas de 15, 20 e 25 cm, o rendimento de grãos não mostrou diferença significativa entre os tratamentos.

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA

2.3.1 Nitrogênio na planta

O nitrogênio (N) é absorvido pelas plantas nas formas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). A quantidade de N absorvida varia de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas. A taxa de absorção aumenta progressivamente durante o crescimento vegetativo, atingindo o máximo durante a fase reprodutiva e decrescendo na fase de enchimento de grãos (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

O N na planta exerce várias funções determinantes para seu desenvolvimento. Este nutriente é constituinte de muitos componentes das plantas, dentre eles os aminoácidos, proteínas, clorofila entre outros (TAIZ; ZEIGER, 2013). Theago et al. (2014) observaram aumento linear nas concentrações de clorofila em quatro doses de N (50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹). Isso se atribui ao fato de que 50 a 70% do N total da folha compõem as enzimas que estão associadas aos cloroplastos. Segundo Hassan et al. (2009), genótipos que mantêm maior teor de clorofila total, A+B (Chl_{A+B}), durante o período de crescimento, apresentam maior capacidade fotossintética e uma maior produção de biomassa.

A deficiência de N nas plantas pode ser verificada inicialmente pela rápida paralisação do crescimento e, caso essa deficiência persista, iniciar-se-á o amarelecimento ou clorose das folhas. Em condições severas de deficiência, as folhas tornam-se completamente amareladas e caem. Os sintomas de deficiência de N surgem primeiramente nas folhas mais velhas, pois esse nutriente é mobilizado para as partes mais jovens da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

2.3.2 Adubação nitrogenada em trigo

Em poáceas, e em especial na cultura do trigo, o N é o nutriente mais demandado (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007; VIANA; KIEHL, 2010; KUTMAN et al., 2011) e o que mais influencia na produtividade das culturas (MELO et al., 2011). A fonte principal de N no solo é a matéria orgânica. Entretanto, grande parte deste N não está disponível ou não é suficiente para as necessidades das plantas (MENEZHIN et al., 2008; SILVA et al., 2008). Dessa forma, a aplicação de N nas lavouras representa um dos principais e mais importantes manejos da cultura do trigo. Com isso a adubação nitrogenada deve ser parcelada, aplicando-se uma parte no momento de semeadura e o restante em cobertura no estágio de perfilhamento (RCBPTT, 2014), minimizando as perdas e garantindo suprimento de N em mais de uma fase de desenvolvimento da planta.

Em geral, a dose de N utilizada varia de 30 a 60 kg ha⁻¹. Porém algumas cultivares podem responder até 120 kg ha⁻¹ do nutriente (FREITAS et al., 1995; BENIN et al., 2012). Theago et al. (2014) observaram que o máximo incremento em

produtividade, números de espigas m^{-2} e clorofila ocorreu até a dose máxima de aplicação de 134 kg ha^{-1} de N. Práticas agronômicas, como adubação nitrogenada parcelada e genótipos mais eficientes no uso do N, que auxiliem o agricultor a elevar a produtividade e diminuir os custos de produção devem ser estudadas para garantir a sustentabilidade agrícola (KANEKO et al., 2010).

2.3.3 Eficiência de Uso do Nitrogênio

A adubação nitrogenada em cobertura afeta tanto o crescimento quanto o desenvolvimento das plantas (SANGOL et al., 2007). O N está entre os nutrientes mais limitantes para a produção agrícola. A taxa de absorção do N aplicado em cobertura pela cultura do trigo varia de 40 a 60% (BECHE et al., 2014). Para uma agricultura mais sustentável e produtiva é necessário buscar uma melhora na Eficiência de Uso do N (EUN).

A EUN consiste em uma relação entre a produtividade de grãos e a disponibilidade de N para a planta (MOLL et al., 1982). A EUN pode ser dividida em dois componentes principais: a) Eficiência de Absorção do N (EAN), que é devido a eficiência de captura do N total disponível para a planta e, b) Eficiência de Utilização do N (EUtN), que representa a eficiência em que a planta utiliza o N absorvido para produção de grãos (MOLL et al., 1982; WEIH et al., 2011; ANDREWS; LEA, 2013; GAJU et al., 2014).

Altas ofertas de N proporcionam elevada taxa de armazenamento deste nutriente na antese, proporcionando sua remobilização em grande quantidade, aumentando o teor de proteína no grão (BLY; WOODWARD, 2003). Dai et al. (2013), avaliando o efeito de diferentes densidades de semeadura sobre a EUN, observaram que maiores densidades de semeadura, entre 345 e 405 sementes m^{-2} , proporcionaram produtividade de grãos e também maior EAN, porém, reduziu a EUtN. A maior eficiência de absorção e a menor eficiência de utilização de N, neste estudo, se devem a aplicação de N na base, em cobertura e a otimização da densidade de extensão das raízes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O experimento foi conduzido na área experimental do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Pato Branco (altitude de 764 m, Latitude de 26°10'38" S e Longitude 52°41'24" W), nas safras agrícolas de 2014 e 2015. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa e relevo ondulado (BHERING et al., 2008; EMBRAPA, 2013). A área é cultivada em sistema plantio direto consolidado, cujos resultados das análises químicas na camada 0,0-0,20m encontram-se na Tabela 1. O clima predominante, classificado conforme Köppen, é do tipo Cfa (clima temperado úmido com verão quente). Os dados climáticos para ambos os anos estão representados na Figura 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo onde foi implantado o experimento. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2017.

Ano	Profundidade cm	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K ⁺ -----cmol _c dm ⁻³ -----	Ca ⁺²	Mg ⁺² dm ⁻³	Al ⁺³ -----	V -----%	m
2014	0,0 - 20,0	67,0	4,9	10,0	0,30	5,7	1,7	0,08	64,7	1,0
2015	0,0 - 20,0	61,3	4,9	8,8	0,28	5,7	2,5	0,08	61,0	0,9

M.O., Matéria orgânica; pH, Potencial hidrogeniônico; P, Fósforo; K, Potássio; Ca, Cálcio; Mg, Magnésio; Al, Alumínio; V, Saturação por bases; m, Saturação por alumínio.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, conduzido em esquema fatorial com três repetições para cada cultivar. Duas cultivares de trigo com elevado potencial produtivo e agronomicamente contrastantes (Tabela 2), foram submetidas a quatro densidades de semeadura, duas doses de nitrogênio (N) e dois espaçamentos entrelinhas (Tabela 3). A conformação das unidades experimentais diferiu sob os diferentes espaçamentos entrelinhas. Quando o espaçamento utilizado foi de 0,17m, as parcelas foram constituídas por nove linhas com 6m de comprimento,

totalizando 9,18 m². Já para o espaçamento entrelinhas de 0,25m, foram implantadas seis linhas com 6m de comprimento, totalizando 9 m² de área útil.

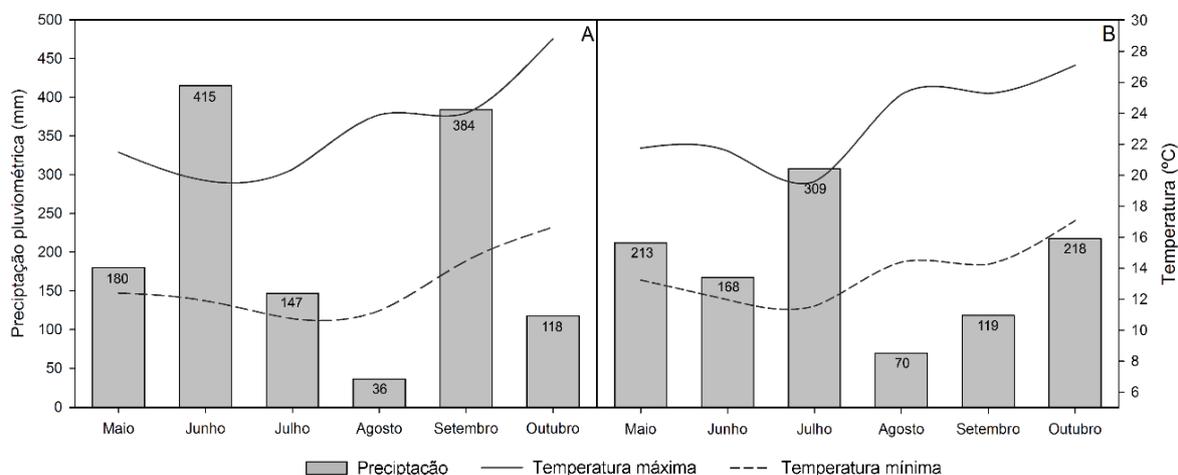


Figura 1 - Dados de precipitação pluvial acumulada e médias mensais de temperatura referentes ao período experimental nas safras agrícolas 2014 (A) e 2015 (B). Fonte: IAPAR. UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Tabela 2 – Descrição dos Genótipos, genealogia, empresa obtentora, ano de lançamento e características agrônômicas. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2017.

	Genótipos	
	CD 150	Ametista
Genealogia	CD 104/CD 108	PF 950351/Abalone//Ônix
Empresa Obtentora	COODETEC	OR Sementes
Ano	2009	2011
Características Agrônômicas		
Estatura	Baixo	Média
Ciclo	Precoce	Médio
Acamamento	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente
Perfilhamento	Baixo	Médio a alto
Densidade de Semeadura Indicada (m ⁻²)	300 a 450	300 a 330

Nos dois anos agrícolas, 2014 e 2015, a semeadura se deu nos dias 15 e 17 de junho, respectivamente, com auxílio de uma semeadora de parcelas marca *Semina*. A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados obtidos através da análise de solo (Tabela 1), afim de suprir as necessidades da cultura, sendo utilizados 300 Kg ha⁻¹ da fórmula NPK (6-20-15). As doses de N (20 e 120 Kg ha⁻¹) foram aplicadas no estágio de perfilhamento da cultura (Z 22 da escala ZADOKS, 1974). Foi utilizado a ureia (45% N) como fonte de N. O manejo de pragas, doenças e plantas invasoras seguiu as informações técnicas para a cultura do trigo (RCBPTT, 2014).

Tabela 3 – Detalhamento dos tratamentos utilizados no experimento, densidades de semeadura, doses de nitrogênio e espaçamento entrelinhas. UTFPR, Câmpus Pato Branco - PR, 2017.

Densidades (Sementes m ⁻²)	Doses de N (Kg ha ⁻¹)	Espaçamento entrelinhas (m)
150	20	0,17
		0,25
	120	0,17
		0,25
300	20	0,17
		0,25
	120	0,17
		0,25
450	20	0,17
		0,25
	120	0,17
		0,25
600	20	0,17
		0,25
	120	0,17
		0,25

3.2 CARACTERES AVALIADOS

3.2.1 Rendimento de Grãos, Massa de Mil Grãos e Peso de Hectolitro

O rendimento de grãos (RG) foi obtido através da colheita e trilha da área útil de cada parcela, sendo a massa dos grãos corrigida para a umidade de 13% e posteriormente transformado para kg ha^{-1} . Em seguida foi mensurado a massa de mil grãos (MMG), em gramas, e o peso do hectolitro (PH), em Kg hL^{-1} , de acordo com as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

A MMG foi avaliada através da contagem de oito amostras de cem grãos para cada parcela. Em seguida, essas amostras foram pesadas em balança de precisão 0,1 mg e os valores médios, das oito amostras, convertidos para mil grãos. O peso do hectolitro (PH) foi determinado em balança hectolétrica, a qual possui capacidade para um quarto de litro de grãos, utilizando valores tabelados para converter os valores em kg hL^{-1} .

3.2.2 Fitomassa Total e Número de Afilhos Férteis

A quantificação da fitomassa total (FT) foi obtida através da coleta de toda a parte área das plantas em 0,5 m, composta por folhas, hastes e espigas com grãos, de cada parcela no estágio de maturação fisiológica (Z90) (ZADOKS, 1974). Essa biomassa foi seca em estufa a 60°C até obter massa constante, resultando na FT expressa em Kg ha^{-1} . O número de afilhos férteis (AF) foi obtido através da média da contagem de três linhas de um metro linear, para cada uma das unidades experimentais.

3.2.3 Índice de Clorofila Total (ICF-T)

O teor de clorofila total ($\text{Chl}_{\text{A+B}}$) foi mensurado no estágio de antese (Z60) (ZADOKS, 1974). Foram realizadas leituras na posição central da folha bandeira totalmente expandida em dez plantas de cada unidade experimental. Foi utilizado um medidor eletrônico portátil de clorofila (modelo ClorofiLOG CFL 1030, Falker, Brasil). Esse sensor analisa três faixas de frequência de luz e utilizando os índices de absorção em diferentes frequências determina o teor relativo de clorofila com base na presença de clorofila A (Chl_{A}), clorofila B (Chl_{B}) e A+B ($\text{Chl}_{\text{A+B}}$).

3.2.4 Determinação dos Teores de Nitrogênio na Planta

A mensuração do teor de N acumulado na palha, em antese (Z 60) e maturação fisiológica (Z 90), foi realizada a partir da coleta aleatória de dez plantas por unidade experimental de cada tratamento. As plantas coletadas foram secas em estufa a 40 °C até massa constante. Em seguida foram trituradas em moinho de facas com peneira de 0,5 mm de diâmetro de orifícios.

As frações de grãos e palha das plantas coletadas em Z 90 foram separadas, sendo utilizado apenas a palha. Determinou-se ainda o teor de N nos grãos, os quais foram obtidos de uma pequena alíquota dos grãos colhidos da parcela e triturados na sequência com moinho analítico modelo IKA A11 BS32. A farinha foi homogeneizada em peneira de malha 250 μm , no Laboratório de Sementes da UTFPR. Posteriormente, as amostras foram submetidas à análise química para determinação da concentração de N, através do método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

3.2.5 Componentes da Eficiência de Uso do N (EUN)

A eficiência de uso do N (EUN) é dividida em dois componentes principais, eficiência de absorção do N (EAN) e eficiência de utilização do N (EUtN), os quais foram estimados segundo Moll et al., (1982), Guarda et al. (2004), Foulkes et al. (2009) e Cormier et al., (2016):

A Eficiência de uso do N é calculada através da massa seca de grãos dividido pelo N total disponível para a planta: $EUN \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{RG}{SN}$, onde RG = rendimento de grãos (g) e SN = N fornecido pelo solo e fertilizantes (g).

A Eficiência de absorção do N é calculada através da quantidade total de N na planta acima do solo dividido pelo N total disponível para a planta: $EAN \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{NG+NP}{SN}$, onde NG = quantidade de N nos grãos (g) e NP = quantidade de N na palha na maturação fisiológica (g).

A Eficiência de utilização do N é calculada através da massa seca de grãos dividida pela quantidade total de N na planta acima do solo: $EUtN \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{RG}{NG+NP}$

No presente trabalho não foi calculado o teor de N fornecido pelo solo, embora as fórmulas para EUN e EAN requerem que o mesmo seja calculado. Fato este que traz nenhuma implicação aos resultados, pois essa diferença será igualmente proporcional em ambos os cálculos.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Realizou-se a análise de variância do experimento em modelo fatorial triplo no delineamento blocos ao acaso com três repetições, considerando os efeitos de densidades de semeadura (D), doses de N (N) e espaçamentos entrelinhas (E) como fixos. Os dados dos caracteres avaliados foram submetidos à análise de normalidade (teste de Lilliefors) e atendido este pressuposto, realizou-se a análise das variáveis estudadas utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_{ijk} + N_i + E_j + D_k + N_i E_j + N_i D_k + E_j D_k + N_i E_j D_k + \varepsilon_{ijk}$$

Em que, Y_{ijkl} representa o valor observado da variável em análise; i , doses de N (N) i -ésima; j , espaçamentos entrelinhas (E) j -ésimo; k , densidades de sementeira (D) k -ésimo; l , índice de repetições (R); μ é a média de todas as observações; R_{ijk} é o efeito dos blocos; N_i é o efeito das doses de N; E_j , é o efeito dos espaçamentos entrelinhas; D_k , é o efeito das densidades de sementeira; $N_i E_j$ é a interação entre doses de N e espaçamentos entrelinhas; $N_i D_k$ é a interação entre doses de N e densidades de sementeira; $E_j D_k$ é a interação entre espaçamentos entrelinhas e densidades de sementeira; $N_i E_j D_k$ é a interação entre doses de N, espaçamentos entrelinhas e densidades de sementeira; e ε_{ijk} corresponde ao erro experimental residual.

Quando significativo, as médias dos efeitos doses de N e espaçamentos entrelinhas foram confrontadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. A comparação entre o fator densidades de sementeira e suas interações, foi realizada mediante regressão polinomial. O coeficiente de variação foi calculado pela expressão, $CV = 100 \times \sqrt{\sigma_E^2 / X_m}$, onde σ_E^2 = variância do erro do tratamento e X_m = média do tratamento. As análises foram realizadas utilizando o software estatístico Genes (CRUZ, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERES AGRONÔMICOS E ÍNDICE DE CLOROFILA TOTAL

Observa-se que todos os parâmetros avaliados, com exceção do caráter peso hectolitro (PH) (Tabela 4), apresentaram resposta significativa a pelo menos um dos efeitos principais de densidade de semeadura (D), doses de N (N) e espaçamento entre linhas (E); outros estudos também não observaram respostas do PH aos fatores doses de N (COSTA et al., 2013) e densidades de semeadura (TAVARES et al., 2014). O fator Densidade mostrou-se significativo para a maioria dos caracteres avaliados, com exceção dos caracteres fitomassa (FT), ano 2014, e massa de mil grãos (MMG), ano 2015, ambos para o cultivar Ametista (Tabela 4).

Não ocorreram interações triplas significativas. Os caracteres significativos para as interações doses de N x espaçamento entrelinhas (N x E), foram afilhos férteis (AF) para os cultivares CD 150 e Ametista (ano de 2014), rendimento de grãos (RG) e fitomassa total (FT) para o cultivar CD 150 (ano 2015) e índice de clorofila total (ICF-T) para o cultivar Ametista (ano de 2014) (Tabela 4). Para a interação entre doses de N x densidade de semeadura (N x D), o caráter afilhos férteis (AF) para os cultivares CD 150 e Ametista, ano 2014, foi o único com efeito significativo (Tabela 4). A interação para espaçamento entrelinhas x doses de N (E x D) foi significativa para os caracteres fitomassa total (FT), ano 2014, RG, ano 2015, ambos para o cultivar CD 150 e AF para ambos os cultivares e anos (Tabela 4). Esses resultados revelam diferenças no comportamento de alguns caracteres para cada ano e fator avaliado.

Os coeficientes de variação dos caracteres avaliados são considerados de baixa a média magnitude (1,08 a 13,34%), indicando boa precisão experimental, conforme classificação de Lúcio et al. (1999).

Tabela 4 – Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias para as cultivares CD 150 e Ametista, avaliados em dois níveis de adubação nitrogenada (20 e 120 Kg ha⁻¹), dois espaçamentos entre linhas (0,17 e 0,25 metros) e quatro densidades de semeadura (150, 300, 450 e 600 sementes m⁻²) nas safras agrícolas 2014 e 2015. UTFPR, Pato branco-PR, 2017.

F.V. ¹		Blocos	N	E	D	N x E	N x D	E x D	N x E x D	Resíduo	Média Geral	CV (%)
Variáveis		GL	2	1	1	3	1	3	3	3	30	
		Quadrados Médios										
CD 150	RG†	19450 ^{ns}	3857375 ^{**}	1621664 ^{**}	505048 ^{**}	21910 ^{ns}	38706 ^{ns}	15001 ^{ns}	4323 ^{ns}	36081	2811	6,76
	MMG	0,754 ^{ns}	1,94 [*]	0,675 ^{ns}	3,475 ^{**}	0,366 ^{ns}	0,289 ^{ns}	0,905 ^{ns}	0,970 ^{ns}	0,406	32,61	1,95
	PH	0,82 ^{ns}	2,25 ^{ns}	4,08 ^{ns}	9,15 ^{ns}	3,41 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,78	75,64	1,76
	AF	0,008 ^{ns}	1,463 ^{**}	4,967 ^{**}	11,273 ^{**}	0,517 ^{**}	0,186 [*]	0,188 [*]	0,041 ^{ns}	0,043	2,04	10,19
	FT	1067601 [*]	3664733 ^{**}	6963919 ^{**}	3380556 ^{**}	246677 ^{ns}	293470 ^{ns}	1438383 ^{**}	197664 ^{ns}	268154	8249	6,28
	ICF-T _{ANT}	4,48 ^{ns}	298,8 ^{**}	6,11 ^{ns}	84,02 ^{**}	2,15 ^{ns}	4,54 ^{ns}	7,33 ^{ns}	3,44 ^{ns}	8,55	40,55	7,21
	RG	33427 ^{ns}	2302110 ^{**}	2080959 ^{**}	835589 ^{**}	1516890 ^{**}	62846 ^{ns}	164463 [*]	30727 ^{ns}	37073	2899	6,64
	MMG	1,266 ^{ns}	20,54 ^{**}	2,698 ^{ns}	7,5 ^{**}	0,097 ^{ns}	0,492 ^{ns}	0,392 ^{ns}	0,312 ^{ns}	1,028	33,69	3,01
	PH	4,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,13 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,92 ^{ns}	2,65 ^{ns}	1,98 ^{ns}	2,52	74,82	2,12
	AF	0,008 ^{ns}	0,156 ^{**}	2,206 ^{**}	4,247 ^{**}	0,080 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,522 ^{**}	0,003 ^{ns}	0,021	1,29	11,07
FT	286710 ^{ns}	13618335 ^{**}	1205082 ^{ns}	1849892 [*]	2569562 [*]	621649 ^{ns}	389497 ^{ns}	557767 ^{ns}	421510	7927	8,19	
ICF-T _{ANT}	4,10 ^{ns}	56,3 ^{**}	1,26 ^{ns}	46,2 ^{**}	0,33 ^{ns}	0,24 ^{ns}	3,23 ^{ns}	0,86 ^{ns}	2,16	53,79	2,73	
AMETISTA	RG	256615 ^{**}	2398490 ^{**}	3495966 ^{**}	387276 ^{**}	88915 ^{ns}	29116 ^{ns}	10639 ^{ns}	31527 ^{ns}	41884	3177	6,44
	MMG	0,08 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,008 ^{ns}	1,42 [*]	0,189 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,34	33,36	1,74
	PH	4,14 ^{**}	0,37 ^{ns}	2,17 ^{ns}	8,54 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,76	80,76	1,08
	AF	0,113 ^{**}	0,644 ^{**}	1,68 ^{**}	8 ^{**}	0,347 ^{**}	0,121 ^{**}	0,087 ^{**}	0,003 ^{ns}	0,011	1,7	6,2
	FT	511408 ^{ns}	26814320 ^{**}	127968414 ^{**}	2012353 ^{ns}	982124 ^{ns}	1308962 ^{ns}	1341034 ^{ns}	1763851 ^{ns}	955356	11739	8,33
	ICF-T _{ANT}	27,3 ^{**}	119,8 ^{**}	108,4 ^{**}	36 ^{**}	43,7 ^{**}	7,59 ^{ns}	0,18 ^{ns}	10,2 ^{ns}	3,5	42,5	4,4
	RG	560898 ^{**}	1784189 ^{**}	1332844 ^{**}	342605 ^{**}	108135 ^{ns}	28702 ^{ns}	1716 ^{ns}	12383 ^{ns}	33821	2895	6,35
	MMG	1,94 ^{ns}	0,011 ^{ns}	24,91 ^{**}	4,52 ^{ns}	3,3 ^{ns}	0,73 ^{ns}	5,31 ^{ns}	3,73 ^{ns}	2,88	32,36	5,24
	PH	5,94 ^{ns}	6,1 ^{ns}	2,61 ^{ns}	5,29 ^{ns}	3,74 ^{ns}	3,01 ^{ns}	1,09 ^{ns}	4,73 ^{ns}	1,75	76,33	1,73
	AF	0,033 ^{ns}	0,102 ^{ns}	2,359 ^{**}	6,252 ^{**}	0,004 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,162 ^{**}	0,016 ^{ns}	0,035	1,4	13,34
FT	256074 ^{ns}	38813587 ^{**}	110054960 ^{**}	2332136 ^{**}	682089 ^{ns}	396362 ^{ns}	385520 ^{ns}	329453 ^{ns}	313988	10193	5,5	
ICF-T _{ANT}	1,37 ^{ns}	11,5 [*]	2,78 ^{ns}	41,8 ^{**}	0,1 ^{ns}	2,24 ^{ns}	0,26 ^{ns}	4,95 ^{ns}	2,56	45,62	3,51	

^{ns}, ^{**} e ^{*}, são efeitos não significativos, significativos a 1% (p≤0,01) e 5% (p≤0,05) de probabilidade de erro, respectivamente.

†RG, rendimento de grãos (kg ha⁻¹); MMG, massa de mil grãos (gramas); PH, peso hectolitro (Kg hL⁻¹); AF, filhos férteis; FT, fitomassa total (Kg ha⁻¹); ICF-T_{ANT}, índice de clorofila total na antese (Índice Falker).

¹F.V., fontes de variação; N, doses de adubação nitrogenada; E, espaçamento entre linhas; D, densidade de semeadura; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação.

O rendimento de grãos (RG) apresentou desempenho superior para ambos os cultivares e anos, quando utilizado menor espaçamento entre linhas ($E1=0,17m$) e alta dose de N ($N2=120\text{ Kg ha}^{-1}$), sendo esta configuração a melhor (Figura 2). Resultados similares foram observados em outros estudos, onde os autores também observaram incremento no RG com a redução do espaçamento e doses mais elevadas de N, até um limite máximo de $134\text{ Kg de N ha}^{-1}$ (HUSSAIN et al., 2012; THEAGO et al., 2014). Neste contexto, Provenzi et al. (2012) observaram que os arranjos de plantas, quando manejados incorretamente ou em desacordo com as características do cultivar, podem afetar de forma negativa as características de RG e qualidade dos grãos.

Para o ano de 2014 (Figura 2A e C), o E2 na dose N1 comportou-se significativamente como a pior combinação para ambas as cultivares. Já em 2015, essa diferença não foi significativa, mas a média para essa mesma combinação (E2 - N1) foi a menor para o mesmo ano (Figura 2B e D). O maior espaçamento provavelmente resultou em menor aproveitamento do N mineral aplicado, fato também observado por outros autores (FU et al., 2014; SANDLER et al., 2014).

Na figura 2, considerando apenas a diferença entre as doses de N, baixa e elevada, observa-se que não resultou em grande incremento no RG. Observando as médias para E1 e E2 (Figura 2), temos que o RG para CD 150 ($N1=2527$ e $N2=3094\text{ Kg ha}^{-1}$ (para 2014); $N1=2680$ e $N2=3118\text{ Kg ha}^{-1}$ (para 2015)) e Ametista ($N1=2953$ e $N2=3400\text{ Kg ha}^{-1}$ (para 2014); $N1=2702$ e $N2=3088\text{ Kg ha}^{-1}$ (para 2015)) apresentaram desempenho semelhante. A maior diferença de RG ocorreu com o cultivar CD 150. A matéria orgânica do solo em ambos os experimentos foi de 6,7 e 6,1% para os anos 2014 e 2015, respectivamente (Tabela 1). Em um estudo semelhante, Prando et al., (2013), também observaram pouca resposta ao N aplicado, e concluíram que isso ocorreu devido a mineralização da matéria orgânica do solo, que disponibilizou nutriente para a cultura.

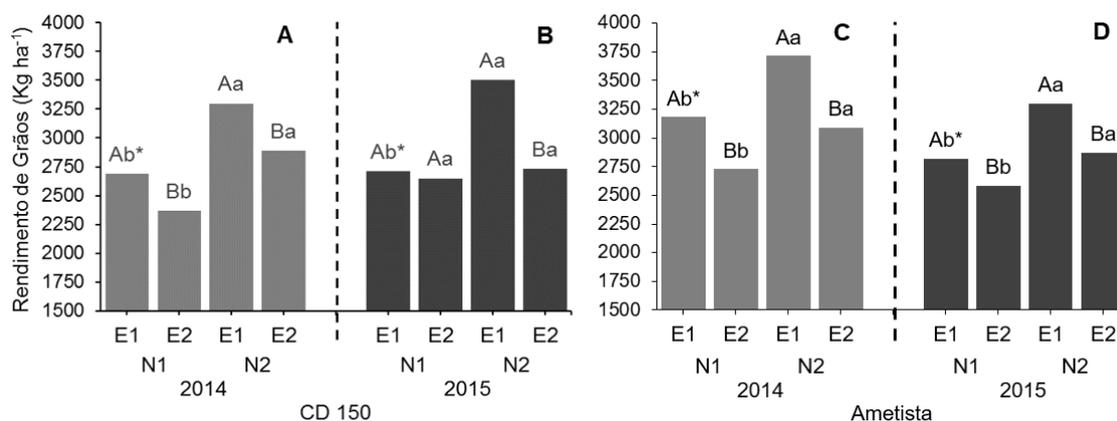


Figura 2 – Rendimento de grãos em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 nos anos de 2014 (A) e 2015 (B); e para o cultivar Ametista nos anos de 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de quatro densidades de sementeiras e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), pelo teste tukey.

Observa-se que o E1, independente da densidade de sementeira, proporcionou maiores incrementos no RG (Figura 3A e 3B). As densidades entre 300 e 500 sementes m⁻² foram as que proporcionaram os maiores RG, em ambos os cultivares e anos de avaliação. Silveira et al., (2010) também observaram maior rendimento quando utilizadas densidades entre 350 e 500 sementes m⁻². A máxima eficiência técnica (MET) encontrada variou de 388 a 406 sementes m⁻² para a cultivar CD 150 (Figura 3A), e entre 414 a 436 sementes m⁻² para a cultivar Ametista (Figura 3B). A densidade de sementeira indicada para os cultivares Ametista e CD 150, para a região de Valor de Cultivo e Uso (VCU) II do Paraná é de 300 a 330 e 300 a 350 sementes m⁻², respectivamente.

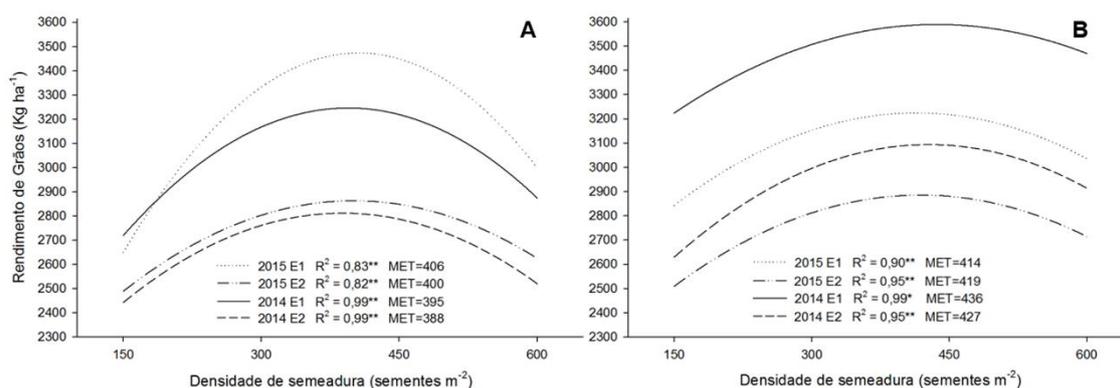


Figura 3 – Rendimento de grãos (RG) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Médias de duas doses de N e três repetições. MET, máxima eficiência técnica.

** e *, são efeitos significativos ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

Ambas as cultivares apresentaram maior massa de mil grãos (MMG) na safra de 2015 (Figura 4). A MMG, apresentou, sem considerar os espaçamentos, média superior na maior dose de N no ano de 2015 (Figura 4B). Entretanto, no ano 2014 a MMG, com pouca variação, foi superior para a menor dose de N (Figura 4A e 4C). O cultivar Ametista não apresentou diferença significativa para MMG em 2014 (Figura 4D), sendo que em 2015 observou-se maiores resposta deste caractere em relação aos diferentes espaçamentos (Figura 4E e 4F). A cultivar CD 150 respondeu mais a adubação nitrogenada (Figura 4B e 4C). Já o cultivar Ametista mostrou-se mais responsivo aos diferentes espaçamentos, não mostrando diferenças significativas entre as doses de N (Figura 4F). Esses resultados, de acordo com Costa et al. (2013), podem ser explicadas pelos fatores de ambiente (Figura 1) e, principalmente pelo controle genético deste caractere, que pode diferir entre cultivares.

Em estudos realizados com trigo, o RG e a MMG são caracteres complexos controlados por um grande número genes (HEIDARI et al., 2011; LIU et al., 2016). No entanto a MMG tem uma vantagem, em oposição ao RG, em possuir valores de herdabilidade normalmente acima de 30%, considerado valor elevado (RAMALHO et al., 2012) e uma menor complexidade genética (LIU et al., 2016). Luche et al. (2013), avaliando diferenças entre plantas com caráter

“stay green” (0,67 h²) e genótipos com senescência sincronizada (0,44 H²), encontraram elevados valores de herdabilidade (h²) para o caráter MMG.

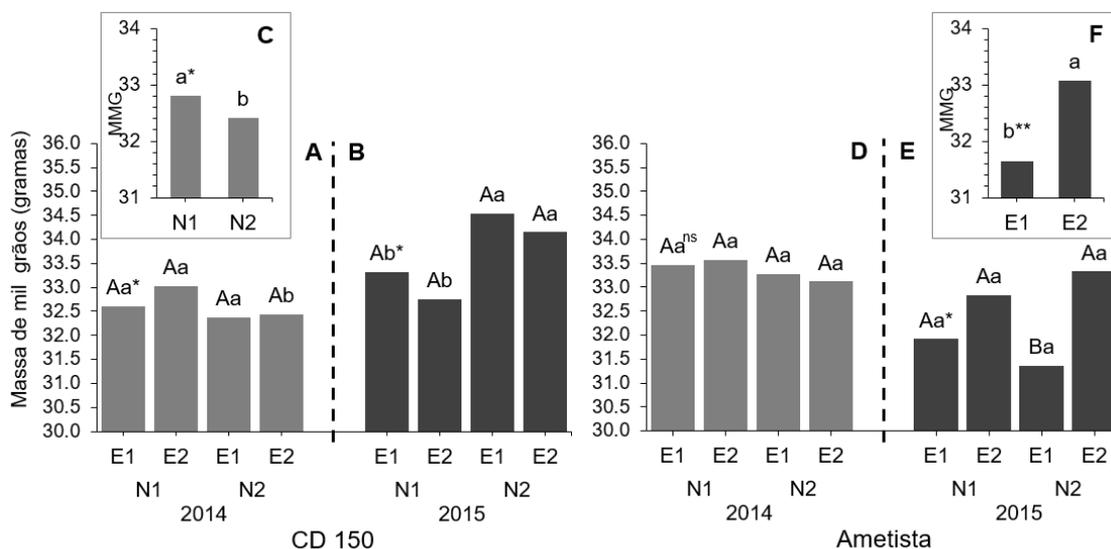


Figura 4 – Massa de mil grãos (MMG) em resposta a dois espaçamentos entrelinhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 nos anos 2014 (A) e 2015 (B); e para o cultivar Ametista nos anos de 2014 (C) e 2015 (D). Resposta a adubação nitrogenada para o cultivar CD 150 ano 2014 (C) e diferentes espaçamentos para Ametista ano 2015 (F), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de quatro densidades de sementeiras e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

** e *, são efeitos significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

As maiores médias de MMG foram observadas nas densidades entre 250 e 450 sementes m⁻² (Figura 5). O cultivar Ametista, embora não tenha apresentado efeito significativo para o fator D no ano de 2015 (Tabela 4), apresentou redução da MMG com o incremento das densidades de sementeira para 2014 (Figura 5B), resultado também observado por Senger et al. (2015).

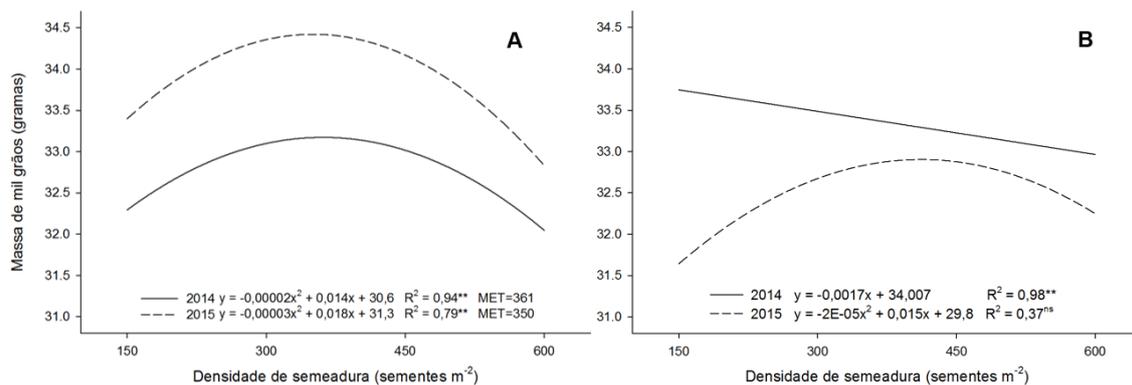


Figura 5 – Massa de mil grãos (MMG) em resposta a quatro densidades de sementeira em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Médias de dois espaçamentos entre linhas, duas doses de N e três repetições. MET, máxima eficiência técnica.

^{ns} e ^{**}, são efeitos não significativos e significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro ($p < 0,01$), respectivamente, pelo teste tukey.

O número de afilhos férteis (AF) apresentou interação significativa para a maioria das interações duplas, mostrando ser um carácter altamente responsivo aos fatores testados. Para todas as interações, o ano de 2014 apresentou média superior a 2015 (Figura 6 e Figura 7). A maior emissão de AF foi observada para o menor espaçamento (E1) (Figura 7A e 7B), aliado a maior dose de N (N2) (Figura 6A e 6B), juntamente com a menor densidade de sementeira. Senger et al., (2015) também observaram redução no número de perfilhos com o aumento na densidade de sementeira, mas sem afetar a produtividade.

Menores densidades de sementeira combinadas a menores espaçamentos, proporcionam uma distribuição mais uniforme das plantas, maximizando a utilização dos recursos do ambiente. Além disso, favorecem uma melhor interceptação de luz pelas folhas baixas, contribuindo assim com uma maior eficiência fotossintética (EVERS et al., 2009; FAHAD et al., 2015).

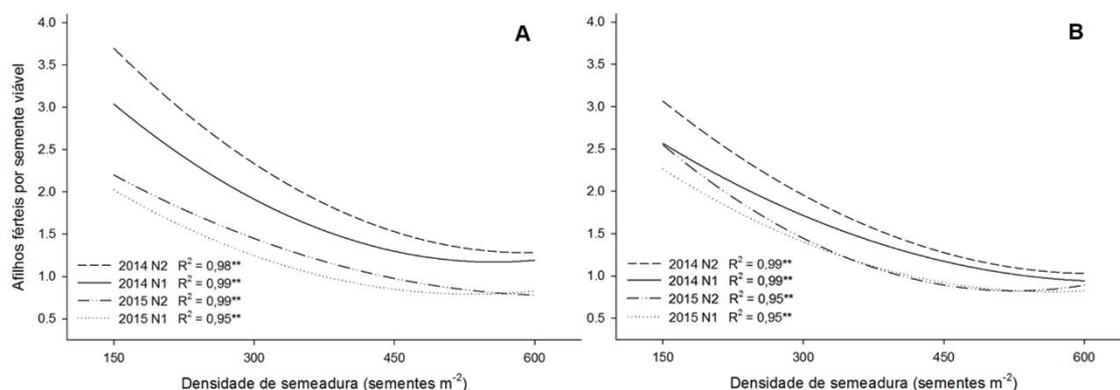


Figura 6 – Número de filhos férteis por semente viável (AF) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidas a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Média de dois espaçamentos entrelinhas e três repetições.

** , efeitos significativos a 1% ($p \leq 0,01$) de probabilidade de erro, pelo teste tukey.

Ao observar ambos os cultivares, é possível verificar que o cultivar CD 150 apresentou maior sobrevivência de filhos no ano de 2014 (Figura 6A e Figura 7A), enquanto que o cultivar Ametista teve a maior sobrevivência de filhos na dose alta de N (N2) (Figura 6B) e para o menor espaçamento utilizado (E1) (Figura 7B). Esses resultados indicam que a elevada disponibilidade de N incrementa a produtividade de grãos em consequência do aumento do número de filhos férteis.

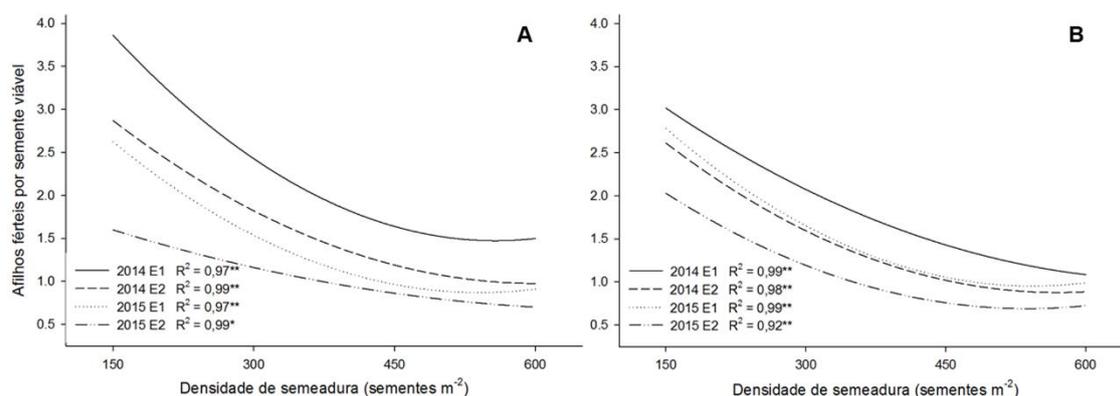


Figura 7 – Número de filhos férteis por semente viável (AF) em resposta a dois espaçamentos (E1 e E2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Média de duas doses de N e três repetições.

** e * , são efeitos significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

Observa-se que independente do ano ou cultivar, o maior espaçamento (E2) não apresentou diferença entre as doses de N (Figura 8), indicando que para o E2, a dose de N utilizada não teve influência significativa na sobrevivência dos afilhos. Os baixos valores de afilhos férteis para E2 ocorreram pela maior competição entre as plantas na linha de semeadura, pois, com o aumento do espaçamento entre linhas há um incremento no número de sementes m^{-1} .

A combinação entre E1 e N2 teve efeito significativo para ambos os cultivares e anos (Figura 8), exceto para a cultivar Ametista no ano 2015. Kalpana et al. (2014), observaram que o número de afilhos m^{-2} foi maior no menor espaçamento entre linhas utilizados (0,15m). Ainda em 2015, o cultivar Ametista não apresentou diferença significativa para o espaçamento E1 entre as doses de N (N1 e N2) (Figura 8D).

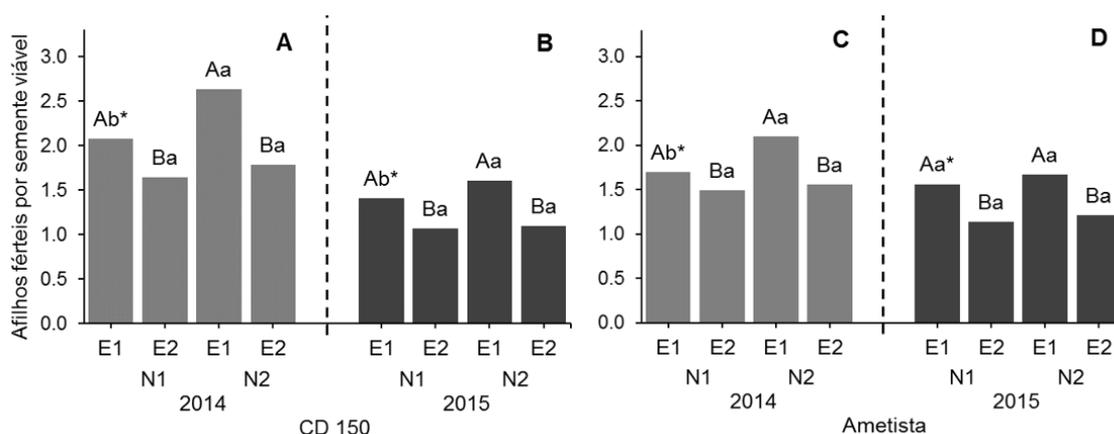


Figura 8 – Número de afilhos férteis por semente viável (AF) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de quatro densidades de semeaduras e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), pelo teste tukey.

A fitomassa total (FT) apresentou desempenho superior para a combinação de arranjo E1 e N2, independente do cultivar ou ano, diferindo significativamente dos demais arranjos utilizados (Figura 9A, B, C e D). O

espaçamento E1 melhora a distribuição de plantas na área, maximizando a interceptação de luz e a fotossíntese e proporcionando maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais (BEZZERA et al., 2014; FAHAD et al., 2015).

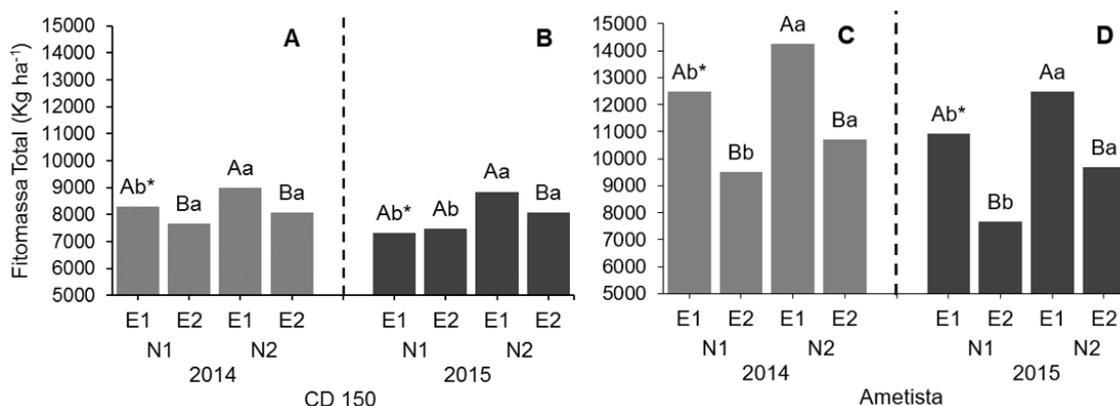


Figura 9 – Fitomassa total (FT) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C) e 2015 (D), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de quatro densidades de sementeiras e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro ($p \leq 0,05$), pelo teste tukey.

O cultivar Ametista apresentou maiores médias para FT do que CD 150 em ambos os anos para o espaçamento E1 (Figura 10), o que pode ser atribuído ao fato do cultivar possuir uma maior estatura e um ciclo mais longo, acumulando assim mais matéria seca. Os maiores valores médios obtidos para FT foi com 300 sementes m⁻² para ambos os cultivares (CD 150 = 8575 e Ametista = 11456 Kg ha⁻¹).

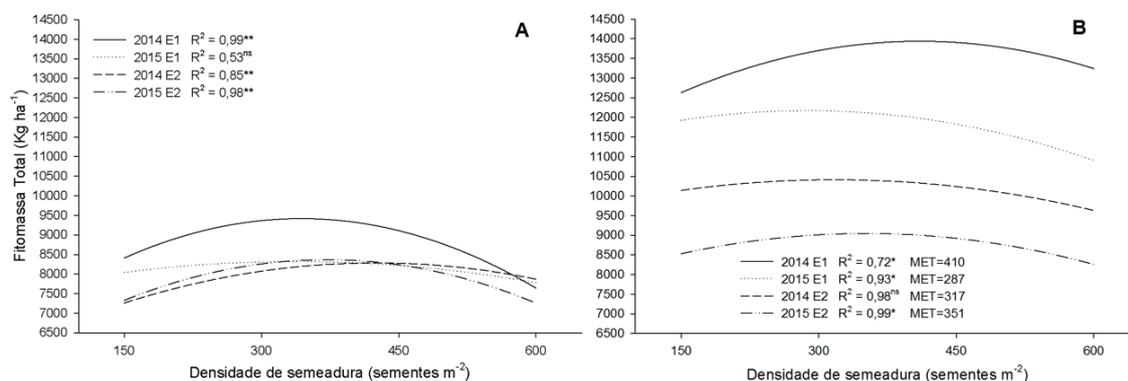


Figura 10 – Fitomassa total (FT) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidas a quatro densidades de sementeira em dois anos; (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Médias de duas doses de N e três repetições. MET, máxima eficiência técnica.

ns, ** e *, são efeitos não significativos, significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

O índice de clorofila total (ICF-T) foi superior na maior dose de N em ambos os cultivares e anos (Figura 11). Estudos mostram que o índice de clorofila apresenta correlação, elevada e positiva, com doses de N (LEMES et al., 2014; SCHLICHTING et al., 2015; ELLI et al., 2015). Além disso, apresenta elevada associação com a capacidade fotossintética das plantas, proporcionando maior RG. Essa correlação positiva entre os teores de clorofila e as doses de N se deve ao fato de que o N faz parte da composição da estrutura molecular da clorofila (TAIZ E ZEIGER, 2013).

Na Figura 11C, observa-se que o ICF-T foi superior no espaçamento E2 na dose N2, para o cultivar Ametista. Nesta condição e ano, este cultivar pode ter sido favorecido pela melhor interceptação de radiação e disponibilidade de N.

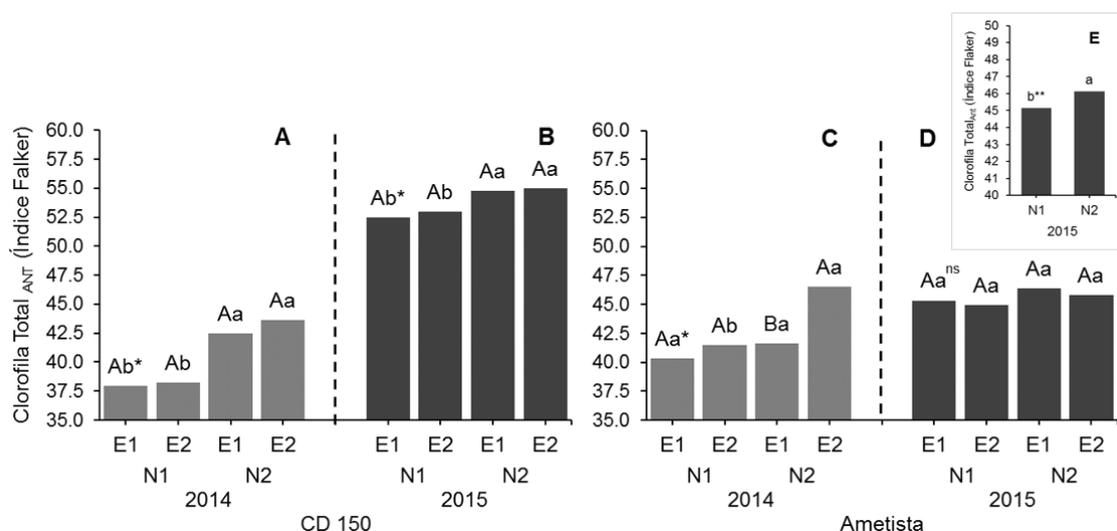


Figura 11 – Índice de clorofila na antese (ICF-T) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) e duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para o cultivar CD 150 ano 2014 (A), 2015 (B), para o cultivar Ametista ano 2014 (C), 2015 (D). Resposta do cultivar Ametista, ano 2015, as doses de N (E), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Médias de quatro densidades de sementes e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

** , efeitos significativos a 1% de probabilidade de erro ($p \leq 0,01$), pelo teste tukey.

Analisando os resultados da Figura 12, observou-se que o melhor desempenho para o ICF-T foi alcançado na menor densidade de sementeira, em ambos os cultivares e anos de avaliação. Estes resultados foram similares aos encontrados por Fioreze e Rodrigues (2012), os quais observaram redução no índice SPAD de clorofila com o aumento da densidade de sementeira. Embora o presente estudo tenha utilizado Clorofilômetro Falker, os autores Schlichting et al. (2015), não observaram diferença estatística entre os índices de clorofila obtidos nos Clorofilômetros Minolta SPAD® 502 e Falker ClorofiLOG®. Os resultados indicam que a elevação da densidade de sementeira provoca maior competição entre plantas pelos recursos naturais e nutrientes como o N, reduzindo assim o índice de clorofila total na folha bandeira (Figura 12) (FIOREZE; RODRIGUES 2012).

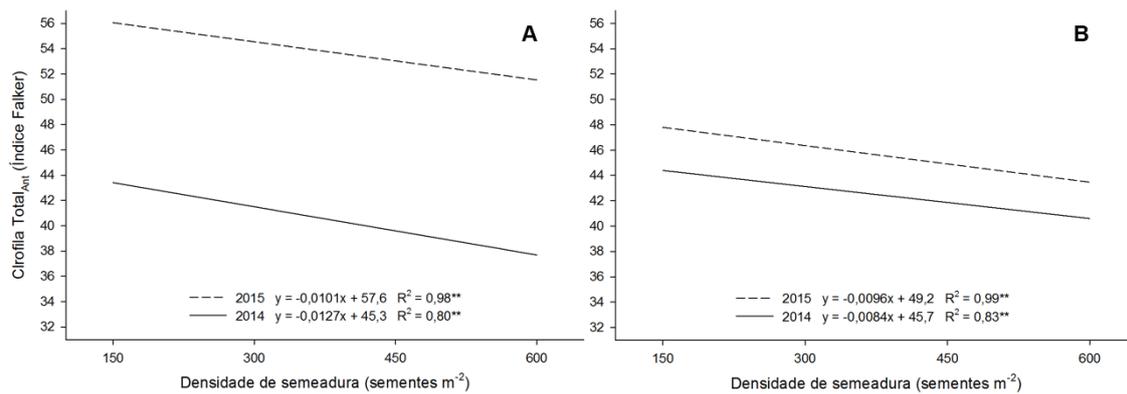


Figura 12 – Índice de clorofila na antese (ICF-T) em resposta a quatro densidades de semeadura em dois anos. (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de dois espaçamentos entrelinhas, duas doses de nitrogênio e três repetições.

******, efeitos significativos a 1% de probabilidade de erro ($p \leq 0,01$), pelo teste tukey.

4.2 INDICADORES DE AVALIAÇÃO DO NITROGÊNIO

Todos os parâmetros avaliados foram significativos para o fator doses de nitrogênio (N). Para densidade de semeadura (D), apenas os caracteres N_{ANT} e $N_{Grãos}$ para o cultivar Ametista, ano 2014 e 2015 respectivamente, não foram significativos. O espaçamento entrelinhas (E) foi significativo apenas para os caracteres EUN e EAN, para ambos os cultivares, e a $EUtN$, apenas para o cultivar Ametista, nos dois anos de avaliação (Tabela 5).

A EUN e EAN foram os únicos caracteres afetados pela interação doses de N x espaçamento entrelinhas (N x E), com exceção do ano 2015 para o cultivar CD 150 (Tabela 5). Houve interação significativa entre doses de N x densidades de semeadura (N x D) para os cultivares CD 150 (N_{MF} , $N_{Grãos}$, EUN, EAN e $EUtN$) e Ametista ($N_{Grãos}$, EUN e EAN), apenas para o ano de 2015. Não houve interação significativa entre espaçamento entrelinhas x densidades de semeadura (E x D) nem para a interação tripla (Tabela 5).

Esses resultados revelam semelhanças entre os cultivares, as respostas de adubação nitrogenada e as densidades de semeadura a que foram submetidos. Os coeficientes de variação (CV) são considerados de baixa magnitude (2,85 a 8,96%), indicando boa precisão experimental conforme classificação dos CV (LÚCIO et al., 1999).

Tabela 5 - Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias para os cultivares CD 150 e Ametista avaliados em dois níveis de adubação nitrogenada (20 e 120 Kg ha⁻¹), dois espaçamentos entre linhas (0,17 e 0,25 metros) e quatro densidades de semeadura (150, 300, 450 e 600 sementes m⁻²), nas safras agrícolas 2014 e 2015. UTFPR, Pato branco-PR, 2017.

F.V. ¹		Blocos	N	E	D	N x E	N x D	E x D	N x E x D	Resíduo	Média Geral	CV (%)	
Variáveis		GL	2	1	1	3	1	3	3	3	30		
		Quadrados Médios											
CD 150	2014	N _{ANT} †	0,0007 ^{ns}	0,2380 ^{**}	0,0127 ^{ns}	0,0895 ^{**}	0,0102 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	0,0082	2,08	4,34
		N _{MF}	0,0010 ^{ns}	0,9324 ^{**}	0,0004 ^{ns}	0,0213 ^{**}	0,0000 ^{ns}	0,0037 ^{ns}	0,0018 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0015	0,84	4,66
		N _{GRÃOS}	0,0000 ^{ns}	0,9241 ^{**}	0,0001 ^{ns}	0,1170 ^{**}	0,0261 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	0,0015 ^{ns}	0,0036 ^{ns}	0,0203	2,71	5,25
		EUN	61 ^{ns}	121411 ^{**}	1160 ^{**}	286 ^{**}	493 ^{**}	91 ^{ns}	9 ^{ns}	5 ^{ns}	41	76,08	8,45
		EAN	0,142 ^{ns}	177,3 ^{**}	1,37 ^{**}	0,516 ^{**}	0,570 ^{**}	0,115 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,057	3,05	7,83
	EUtN	2,134 ^{ns}	80,91 ^{**}	4,32 ^{ns}	15,46 ^{**}	0,238 ^{ns}	0,541 ^{ns}	4,153 ^{ns}	0,238 ^{ns}	2,313	24,15	6,30	
	2015	N _{ANT}	0,0290 ^{ns}	0,2655 ^{**}	0,0475 ^{ns}	0,1716 ^{**}	0,0002 ^{ns}	0,0424 ^{ns}	0,0043 ^{ns}	0,0070 ^{ns}	0,0146	1,91	6,31
		N _{MF}	0,0041 ^{ns}	1,0414 ^{**}	0,0003 ^{ns}	0,1471 ^{**}	0,0005 ^{ns}	0,0054 [*]	0,0000 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0016	0,64	6,21
		N _{GRÃOS}	0,0123 ^{ns}	3,4294 ^{**}	0,0239 ^{ns}	0,1517 ^{**}	0,0144 ^{ns}	0,0342 [*]	0,0008 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,0085	3,25	2,85
		EUN	39 ^{ns}	140006 ^{**}	270 [*]	519 ^{**}	35 ^{ns}	197 ^{**}	85 ^{ns}	29 ^{ns}	42	79,99	8,06
EAN		0,096 ^{ns}	178,68 ^{**}	0,257 [*]	0,993 ^{**}	0,117 ^{ns}	0,355 ^{**}	0,054 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,045	3,18	6,67	
EUtN	2,527 ^{ns}	372,41 ^{**}	4,514 ^{ns}	53,41 ^{**}	1,009 ^{ns}	5,127 [*]	3,161 ^{ns}	1,859 ^{ns}	1,392	23,57	5,01		
AMETISTA	2014	N _{ANT}	0,02 ^{ns}	0,579 ^{**}	0,006 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,026	1,8	8,96
		N _{MF}	0 ^{ns}	0,778 ^{**}	0 ^{ns}	0,009 ^{**}	0 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001	0,56	6,63
		N _{GRÃOS}	0,005 ^{ns}	0,359 ^{**}	0,021 ^{ns}	0,058 ^{**}	0,026 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,012	2,83	3,78
		EUN	187 ^{ns}	170875 ^{**}	2335 ^{**}	218 [*]	915 ^{**}	69,2 ^{ns}	2,7 ^{ns}	11,4 ^{ns}	71,7	88	9,62
		EAN	0,066 ^{ns}	225,5 ^{**}	6,007 ^{**}	0,255 [*]	2,159 ^{**}	0,132 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,081	3,46	8,19
	EUtN	3,96 ^{ns}	227,1 ^{**}	10,62 [*]	11,32 ^{**}	0,9 ^{ns}	3,02 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,52	24,12	5,12	
	2015	N _{ANT}	0,015 ^{ns}	0,603 ^{**}	0,016 ^{ns}	0,086 [*]	0,011 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,021	1,88	7,62
		N _{MF}	0,004 ^{ns}	1,027 ^{**}	0 ^{ns}	0,017 ^{**}	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001	0,59	5,96
		N _{GRÃOS}	0,126 ^{**}	1,076 ^{**}	0,021 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,04 [*]	0,005 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,013	3,1	3,73
		EUN	322 ^{**}	143575 ^{**}	719 ^{**}	421 ^{**}	209 [*]	291 ^{**}	10,9 ^{ns}	15,3 ^{ns}	37,5	80,42	7,61
EAN		0,003 ^{ns}	199,5 ^{**}	3,918 ^{**}	0,504 ^{**}	1,129 ^{**}	0,318 ^{**}	0,021 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,022	3,35	4,45	
EUtN	22,19 ^{**}	362,8 ^{**}	28,39 ^{**}	16,37 ^{**}	1,33 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,48	22,4	5,43		

^{ns}, ^{**} e ^{*}, são efeitos não significativos, significativos a 1% (p≤0,01) e 5% (p≤0,05) de probabilidade de erro, respectivamente,

†N_{ANT}, nitrogênio na antese; N_{MF}, nitrogênio na maturação fisiológica; N_{GRÃOS}, nitrogênio nos grãos; EUN, eficiência de uso do nitrogênio; EAN, eficiência de absorção do nitrogênio; EUtN, eficiência de utilização do nitrogênio;

¹F.V., fontes de variação; N, doses de adubação nitrogenada; E, espaçamento entre linhas; D, densidade de semeadura; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação.

Os resultados obtidos para a quantificação de N total, na fitomassa acima do solo no estágio de antese (N_{ANT}) (Figura 13A, B e C), maturação fisiológica (N_{MF}) (Figura 13D, E e F) e nos grãos ($N_{Grãos}$) (Figura 13G, H e I), foram superiores na maior dose de N disponibilizada (120 Kg ha^{-1}) para ambos os cultivares e anos avaliados (Figura 13). Resultados similares foram encontrados por Todeschini et al. (2016), onde, com o aumento da oferta de N, a maior parte dos cultivares responderam de forma positiva aumentando os teores de N_{ANT} , na N_{MF} e nos $N_{Grãos}$. De acordo com os autores supracitados, é possível realizar seleção, de forma indireta, de cultivares, através do teor de N obtido no estágio de antese, com o intuito de se obter genótipos com elevadas EUN.

Apesar do fator D não ter se mostrado significativo para N_{ant} (CD 150 - 2014), na Anova (Tabela 5), a regressão foi significativa e de resposta similar entre os cultivares, com maiores médias para o cultivar CD 150 (Figura 14). Esses valores podem ter proporcionado o maior RG obtido por este cultivar (Figura 2). Segundo Gaju et al. (2014), o teor de N captado no estágio de antese é a principal entrada desse nutriente para os grãos.

O incremento em adubação nitrogenada proporcionou maiores quantidade de N_{ANT} (Figura 13), e o acréscimo da densidade de semeadura, reduziu a concentração deste nutriente na antese (Figura 14). Como a adubação nitrogenada não foi proporcional as densidades de semeadura utilizadas, isso acarretou em uma maior competição entre plantas, reduzindo assim o teor de N_{ANT} (Figura 14).

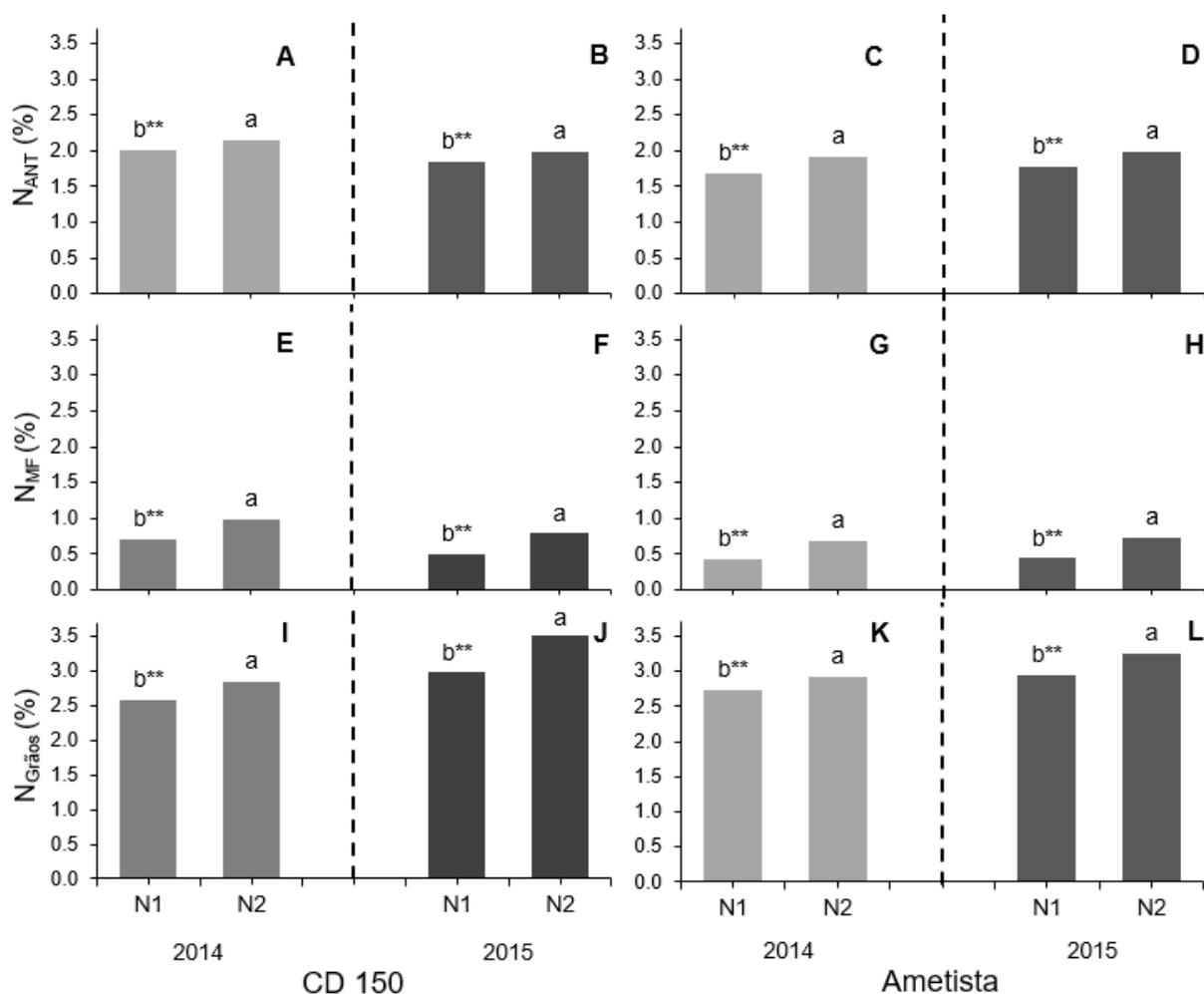


Figura 13 – Nitrogênio total na fitomassa acima do solo na antese (N_{ANT}) (A; B; C; D), Nitrogênio total na maturação fisiológica (N_{MF}) (E; F; G; H) e Nitrogênio total nos grãos ($N_{Grãos}$) (I; J; K; L) em resposta a duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para os cultivares CD 150 nos anos 2014 (A; E; I), 2015 (B; F; J) e Ametista nos anos 2014 (C; G; K) e 2015 (D; H; L), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de dois espaçamentos entre linhas, quatro densidades de semeadura e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras minúsculas entre as doses de nitrogênio (N1 e N2) não diferem estatisticamente entre si.

** , efeitos significativos a 1% ($p \leq 0,01$) de probabilidade de erro.

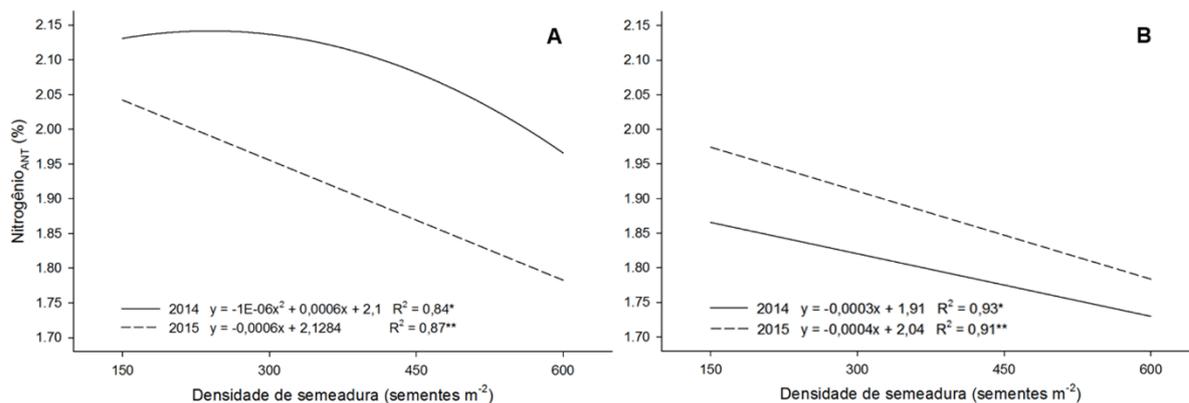


Figura 14 – Nitrogênio total na antese (NANT) em resposta a quatro densidades de semeadura em dois anos de avaliação (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de dois espaçamentos entre linhas, duas doses de nitrogênio e três repetições.

** e *, são efeitos significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

Também houve redução no teor de N_{MF} com o acréscimo na densidade de semeadura. Para o ano de 2014 essa redução foi menos expressiva em relação a 2015 (Figura 15). O N_{MF} foi superior na dose N2 para ambos os cultivares (Figura 15A e B).

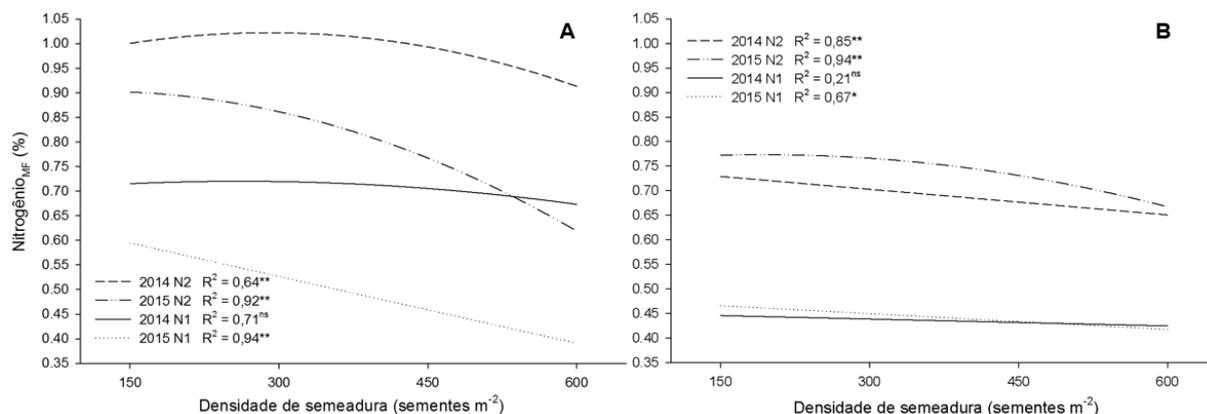


Figura 15 – Nitrogênio total na maturação fisiológica (NMF) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Média de dois espaçamentos entre linhas e três repetições.

^{ns} e **, efeitos não significativos e significativos a 1% ($p \leq 0,01$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

Os maiores valores de $N_{\text{Grãos}}$ ocorreram nas menores densidades de semeadura (Figura 16). Para o ano de 2015, a dose menor, N1, mostrou-se superior a todas as médias encontradas em 2014 (Figura 16). Esses resultados podem ter sido influenciados pelo excesso de precipitação observado, na fase de enchimento de grãos, para o mês de setembro de 2014 (384 mm) se comparado ao mesmo período em 2015 (119 mm) (Figura 1).

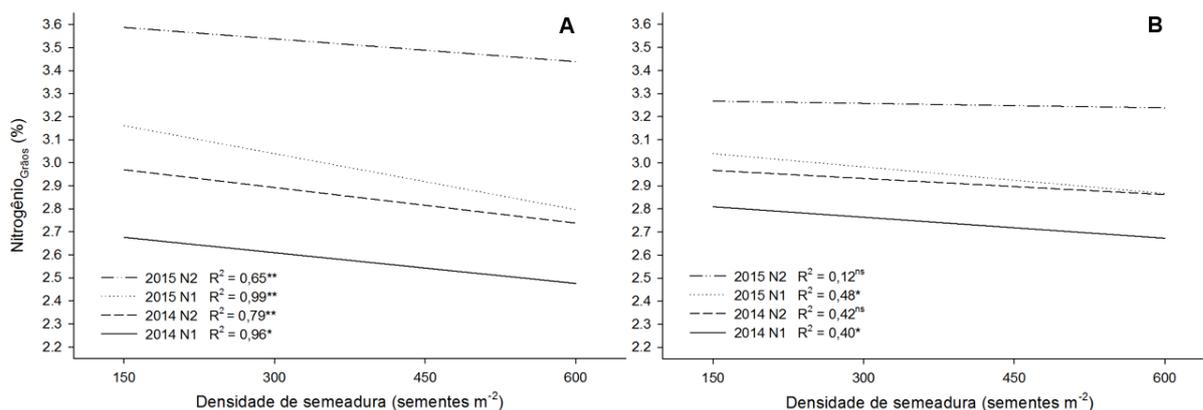


Figura 16 – Nitrogênio total nos grãos ($N_{\text{Grãos}}$) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidas a quatro densidades de semeadura em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Média de dois espaçamentos entre linhas e três repetições.

^{ns}, ^{**} e ^{*}, são efeitos não significativos, significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

A eficiência de uso, absorção e utilização do N (EUN, EAN e EUtN, respectivamente), devem ser buscadas pelos programas de melhoramento e assistência técnica, na recomendação de cultivares. (SADRAS; LEMAIRE, 2014). A EUN caracteriza-se pelo cálculo da razão entre RG e o total de N fornecido (Kg de grãos por Kg de N aplicado (Kg Kg^{-1})), a EAN representa a habilidade da planta em absorver o N fornecido (Kg de N na palha e grãos por Kg de N fornecido (Kg Kg^{-1})) e a EUtN é definida como a capacidade para produzir grãos com o N total absorvido (Kg de grãos por Kg de N na palha e grãos (Kg Kg^{-1})) (MOLL et al., 1982; FOULKES et al., 2009; WEIH et al., 2011). Da mesma forma, deve-se adotar manejos que maximizem tais eficiências.

Na Figura 17, observa-se que os parâmetros da eficiência de uso do N foram significativamente superiores na menor dose de N (N1). Da mesma forma, os valores de EUN e EAN foram superiores no espaçamento E1 (Figura 17A, C, D, E, G

e H), com exceção do cultivar CD 150 que não apresentou significância em 2015 (Figura 17B e F). Para a EUtN, no cultivar Ametista, a combinação E2 na dose E1 foi significativamente superior (Figura 17L e M) e para o CD 150 não houve diferença estatística (Figura 17I e J).

Essa elevada EUN, EAN e EUtN, na dose N1, pode ser atribuída ao elevado teor de M.O presente no solo (Tabela 1) que proporcionou RG elevado mesmo para a dose N1 (média geral para N1=2715 e N2=3175 Kg ha⁻¹), fato este também observado por Oelofse et al., (2015). Como a EUN é apenas uma razão entre RG e o total de N fornecido e, se a diferença de RG entre as doses for muito pequena, a EUN será tão maior quanto menor for a dose de N, podendo causar subestimação ou superestimação da EUN.

Os resultados obtidos para EUN (Figura 18A, B) e EAN (Figura 18C, D) foram superiores na menor dose de N (N1), embora todas as regressões para N2 não foram significativas, com exceção para EAN 2015 (Figura 18C). Zhang et al. (2016), os quais, observaram maiores valores para EUN e EAN na dose de N zero, consideram que combinar densidade de plantas com adubação de N baixa pode ajudar a melhorar EUN, evitando o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, mantendo o RG.

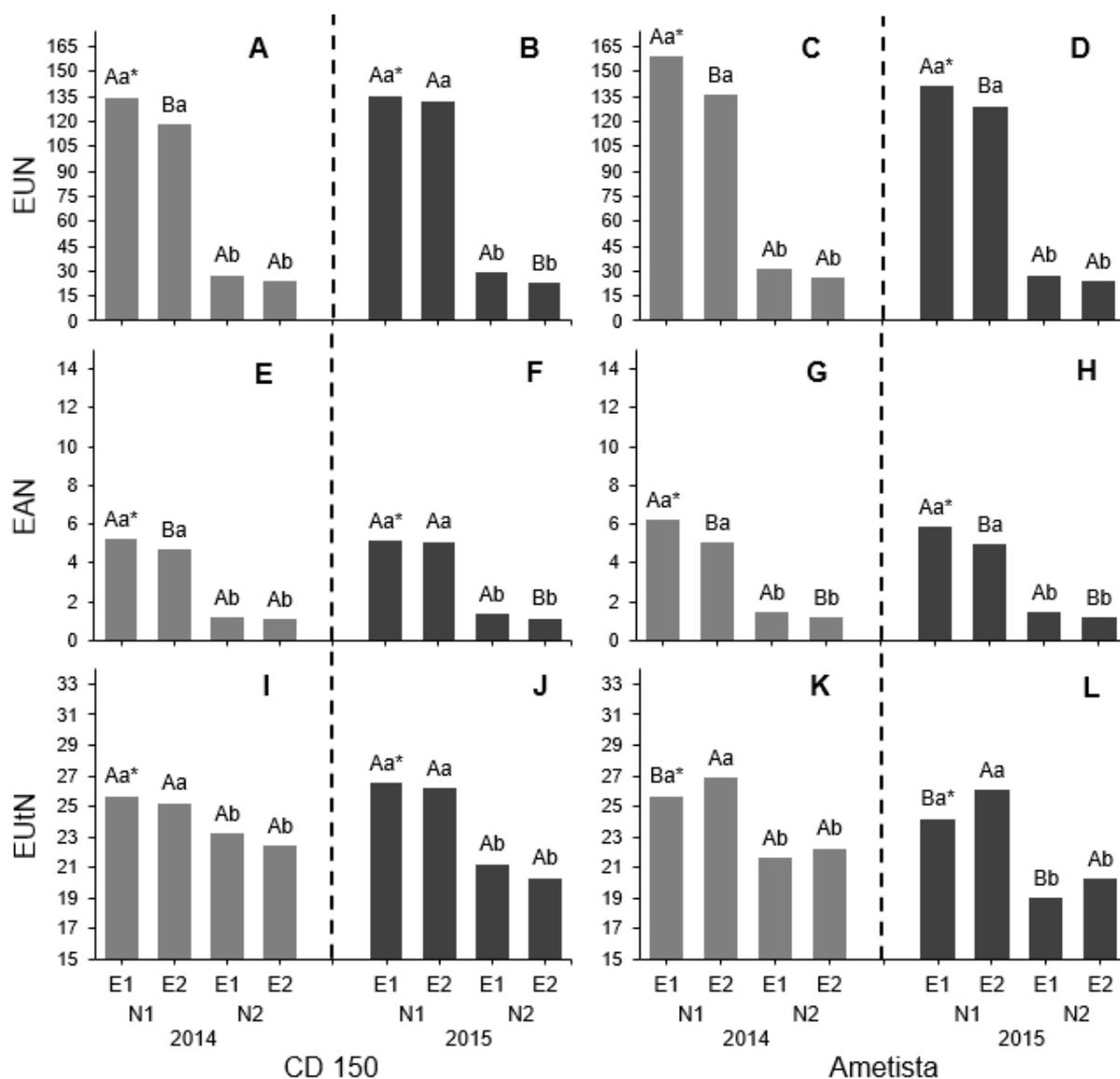


Figura 17 – Eficiência de Uso do Nitrogênio (EUN) (A; B; C; D), Eficiência de Absorção de Nitrogênio (EAN) (E; F; G; H) e Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUtN) (I; J; K; L) em resposta a dois espaçamentos entre linhas (E1 e E2) submetidos a duas doses de nitrogênio (N1 e N2) para os cultivares CD 150, ano 2014 (A; E; I) e 2015 (B; F; J), e Ametista, ano 2014 (C; G; K) e 2015 (D; H; L), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Médias de quatro densidades de sementes e três repetições. Médias ligadas pelas mesmas letras maiúsculas para diferentes espaçamentos dentro da mesma dose de N (E1N1 e E2N1) e minúsculas para o mesmo espaçamento entre as diferentes doses de N (E1N1 e E1N2) não diferem estatisticamente entre si.

*, efeito significativo ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, pelo teste tukey.

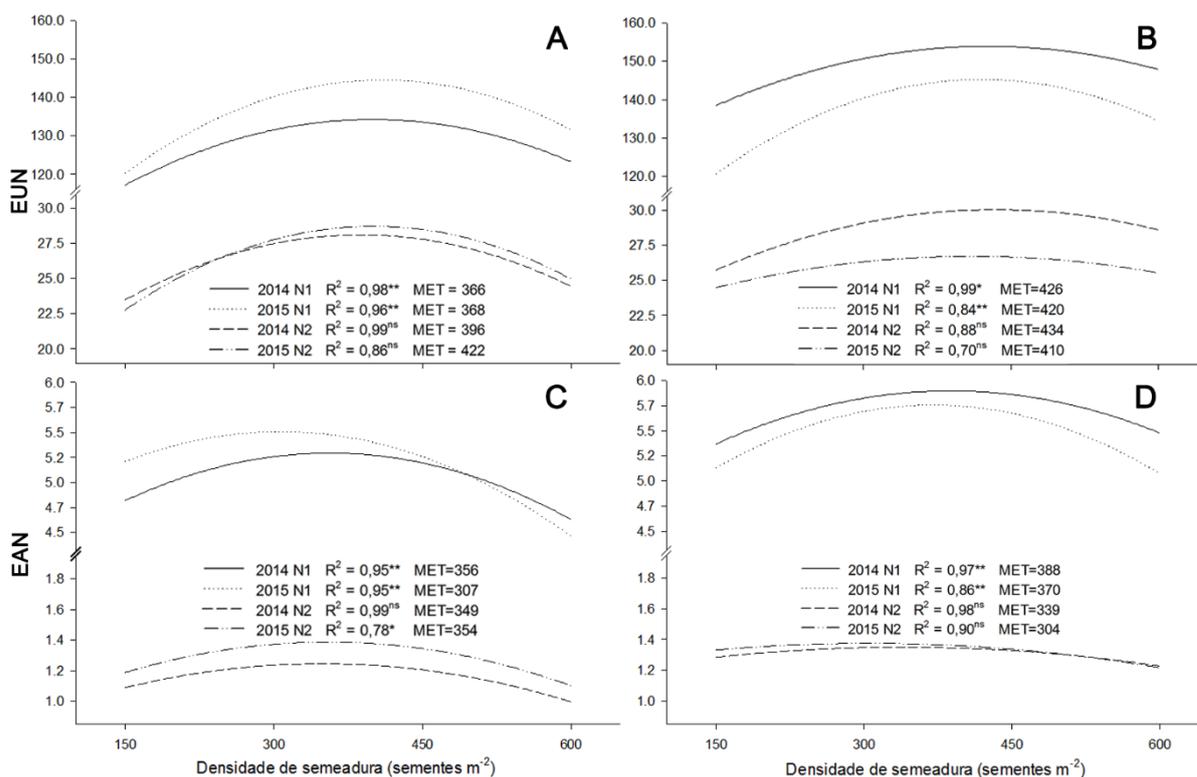


Figura 18 – Eficiência de Uso do Nitrogênio (EUN) (A; B) e Eficiência de Absorção de Nitrogênio (EAN) (C; D) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de semeadura em dois anos (A e C = CD150; B e D = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017.

Média de dois espaçamentos entre linhas e três repetições. MET, máxima eficiência técnica.

^{ns}, ** e *, são efeitos não significativos, significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

Resultados similares aos obtidos para EUN e EAN (Figura 18), foram observados com a EUtN (Figura 19), com exceção de que para a EUtN houve incremento com o aumento da densidade de semeadura. Esse incremento para EUtN, se dá principalmente por não considerar a dose de N no cálculo. Por se tratar de um cálculo de divisão, a redução dos teores de N_{MF} e $N_{Grãos}$ com o incremento na densidade de semeadura (Figura 15 e Figura 16) são os principais responsáveis por esse acréscimo em EUtN.

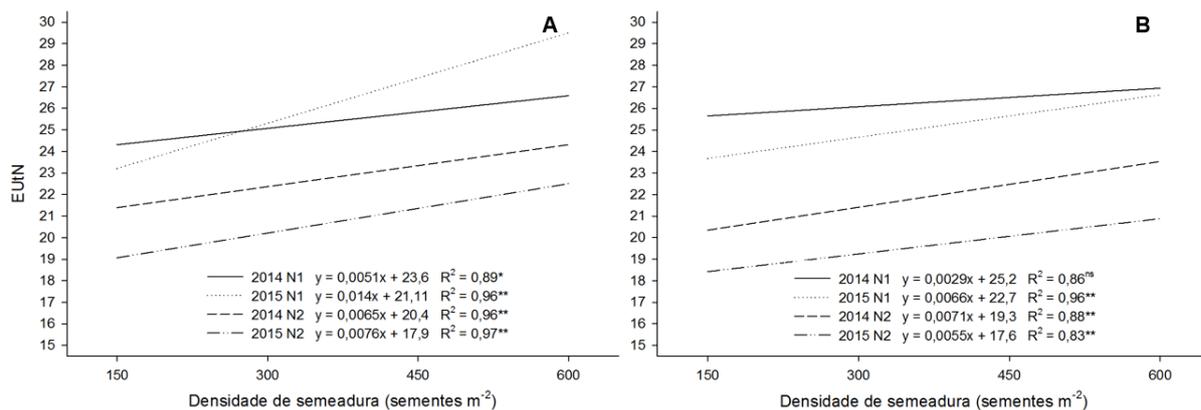


Figura 19 – Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUtN) em resposta a duas doses de N (N1 e N2) submetidos a quatro densidades de sementeira em dois anos (A = CD150; B = Ametista), UTFPR, Câmpus Pato Branco – PR, 2017. Média de dois espaçamentos entre linhas e três repetições. MET, máxima eficiência técnica.

^{ns}, ^{**} e ^{*}, são efeitos não significativos, significativos a 1% ($p \leq 0,01$) e 5% ($p \leq 0,05$) de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste tukey.

5. CONCLUSÕES

O RG foi superior no menor espaçamento entrelinhas e alta dose de N para ambos os cultivares e anos. As densidades de 388 a 406 sementes m^{-2} para a cultivar CD 150 e entre 414 a 436 sementes m^{-2} para a cultivar Ametista proporcionaram os maiores RG.

Não foi possível identificar combinações ideais para massa de mil grãos.

O número de afilhos férteis foi superior no menor espaçamento entrelinhas, alta dose de N e na menor densidade de semeadura.

A fitomassa total apresentou desempenho superior para a combinação menor espaçamento entrelinhas e alta dose de N com densidade de semeadura de 300 sementes m^{-2} .

O índice de clorofila total foi maior sob alta concentração de N em ambos os cultivares e anos e apresentaram redução com o incremento em densidade.

O teor de N total na fitomassa acima do solo nos estádios de antese, maturação fisiológica e nos grãos foram superiores na maior concentração de N. O acréscimo da densidade de semeadura, reduziu o teor de N_{ANT} , N_{MF} e o $N_{Grãos}$.

A EUN, EAN e EUtN foram superiores na menor dose de N, sendo a EUN e EAN elevadas no menor espaçamento para ambos cultivares e anos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teor de N proveniente da mineralização da matéria orgânica deve ser empregado como parâmetro para aplicação de N em cobertura, afim de evitar o uso excessivo do mesmo e otimizar os parâmetros da eficiência de uso do N.

Experimentos com densidade de semeadura devem levar em consideração as características de cada cultivar, principalmente a densidade indicada pelo obtentor e a capacidade de perfilhamento, diferindo assim para cada cultivar e ampliando a capacidade de resposta de cada material.

Trabalhos que envolvam mais níveis para espaçamento entrelinhas, utilizando-o em conjunto com doses de N ou densidades de semeadura, são necessários para verificar se compensa utilizar espaçamentos menores, que os empregados neste trabalho, afim de otimizar o RG, AF e os parâmetros da eficiência de uso do N. Incrementando assim as informações aqui obtidas.

REFERÊNCIAS

- ANDREWS, M.; LEA, P.J. Our nitrogen 'footprint': the need for increased crop nitrogen use efficiency. **Annals of Applied Biology**, v.163, p.165-16, 2013.
- ARDUINI, I.; MASONI, A.; ERCOLI, L.; MARIOTTI, M. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. **European Journal Agronomy**, v. 25, p. 309-318, 2006.
- BACCAR, R.; FOURNIER, C.; DORNBUSCH, T.; ANDRIEU, B.; GOUACHE, D.; ROBERT, C. Modelling the effect of wheat canopy architecture as affected by sowing density on *Septoria tritici* epidemics using a coupled epidemic-virtual plant model. **Annals of Botany**, v.108, p.1179-1194, 2011.
- BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. DOS; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. DE; CHAGAS, C DA S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S.de. **Mapa de solos do Estado do Paraná, Legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa/lapar. 74, 2008.
- BECHE, 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**. n. 12, p. 948-947, 2014.
- BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E.S.; SILVA, C.L.; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum**, v. 34, p. 275-283, 2012.
- BEZERRA, F. T. C.; DUTRA, A. S.; BEZERRA, M. A. F.; OLIVEIRA FILHO, A. F. de; BARROS, G. de L. Comportamento vegetativo e produtividade de girassol em função do arranjo espacial das plantas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 335-343, 2014.
- BLY, A. G.; WOODWARD, H. J. Foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 335-338, 2003.
- BOSTRÖM, U.; ANDERSON, L. E.; WALLENNHAMMAR, A. Seed distance in relation to row distance: Effect on grain yield and weed biomass in organically grown winter wheat, spring wheat and spring oats. **Field Crops Research**, v. 134, p. 144-152, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. – Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399p.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento – Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_11_11_30_39_boletim_graos_janeiro_2017.pdf> acessado em 10-01-2017.

CORMIER, Fabien; FOULKES, John; HIREL, Bertrand; GOUACHE, David; MOËNNE-LOCCOZ, Yvan; LE GOUIS, Jacques. Breeding for increased nitrogen-use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). **Plant Breeding**, v.135, p.255-278, 2016.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista de Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.215-224, 2013.

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

DAI, X.; ZHOU, X.; JIA, D.; XIAO, L.; KONG, H.; HE, M. Managing the seeding rate to improve nitrogen-use efficiency of winter wheat. **Field crops research**, v. 154, p. 100-109, 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos - SiBCS. 3. ed. Ver. Ampl. – Brasília, DF : EMBRAPA, 2013, 353p.

ERCOLI, L.; ARDUINI, I.; MARIOTTI, M.; LULLI, L.; MASONI, A. Management of sulphur fertilizer to improve durum wheat production and minimize S leaching. **European Journal of Agronomy**, v. 38, p. 74–82, 2012.

EVERS, J.B., HUTH, N.I.; RENTON, M. Light extinction in spring wheat canopies in relation to crop configuration and solar angle. **Third International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications (PMA)**, Beijing, p.107-110, 2009.

FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; CHAUHAN, B. S.; SAUD, S.; WU, C.; HASSAN, S.; TANVEER, M.; JAN, A.; HUANG, J. Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence times. **Crop Protection**, v. 71, p. 101-108, 2015.

FIGLIORINI, S. L.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; PIVETTA, L. G.; FERNANDES, D. M.; BÜLL, L. T. Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.34, p. 331-338, 2012.

FOULKES, M. J.; HAWKESFORD, M. J.; BARRACLOUGH, P. B.; HOLDSWORTH, M. J.; KERR, S.; KIGHTLEY, S.; SHEWRY, P. R. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. **Field Crops Research**, v.114, p.329-342, 2009.

FREITAS, J. G. et al. Eficiência e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Revista brasileira Ciência do Solo**, v.19, p. 229-234, 1995.

FU, Q.; WANG, Q.; SHEN, X.; FAN, J. Optimizing water and nitrogen inputs for winter wheat cropping system on the Loess Plateau, China. **Journal of Arid Land**, v. 6, p. 230-242, 2014.

GAJU, O.; ALLARD, V.; MARTRE, P.; LEGOUIS, J.; DELPHINE, M.; BOGARD, M.; HUBBART, S.; FOULKES, M. J. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 155, p. 213-223, 2014.

GAO, X.; LUKOW, O. M.; GRANT, C. A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v.121, p.36-44, 2012.

GOODING, M. J. The wheat crop – Wheat Chemistry and Technology. **AACC International**, p. 19 – 49, 2009.

GUARDA, G.; PADOVAN, S.; DELOGU, G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. **European Journal Agronomy**, v.21, p.181–192, 2004.

HASSAN, M. S.; KHAIR, A.; HAQUE, M. M.; AZAD, A. K.; HAMID, A. Genotypic variation in traditional rice varieties for chlorophyll content, spad value and nitrogen use efficiency. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v.34, p.505-515, 2009.

HEIDARI, B.; SAYED-TABATABAE, B.E.; SAEIDI, G.; KEARSEY, M.; SUENAGA, K. Mapping QTL for grain yield, yield components, and spike features in a doubled haploid population of bread wheat. **Genome**, v.54, p.517-527, 2011.

HILTBRUNNER, J.; LIEDGENS, M.; STAMP, P.; STREIT, B. Effects of row spacing and liquid manure on directly drilled winter wheat in organic farming. **European Journal of Agronomy**, v. 22, p. 441–447, 2005.

HUSSAIN, I.; KHAN, M. A.; AHMAD, K. Effect of row spacing on the grain yield and yield component of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agronomy**, v.2, p.153-159, 2003.

HUSSAIN, M.; MEHMOOD, Z.; KHAN, M. B.; FAROOQ, S.; LEE, D. Narrow row spacing ensures higher productivity of low tillering wheat cultivars. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.14, p.413-418, 2012.

KALPANA, A.; PRUSTY, P.; MUKHOPADHYAY, S. K. Performande of wheat genotypes under different row spacing in New Alluvial Zone of West Bengal. **Journal of Crop and Weed**, v. 10, p. 480-483, 2014.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. D. C.; ARF, M. V.; CHIODEROLI, C. A.; KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamentos reduzido e tradicional. **Bragantia**, v. 69, p. 677 – 686, 2010.

KUTMAN, U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. **Plant and Soil**, v. 342, n. 1-2, p. 149-164, 2011.

LERNER, S. E.; ARRIGONI, A. C.; ARATA, A. F. Uso de nitrógeno y calidad industrial em cultivares argentinos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.). **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v. 39, p. 77-87, 2013.

LIU, W.; LEISER, W.L.; REIF, J.C; TUCKER, M.R; LOSERT, D.; WEISSMANN, S.; HAHN, V.; MAURER, H.P.; WÜRSCHUM, T. Multiple-line cross QTL mapping for grain yield and thousand kernel weight in triticale. **Plant Breeding**, v.135, n.5, p.567-573, 2016.

LUCHE, H.de S.; SILVA, J.A.G.da; NÖRNBERG, R.; SILVEIRA, S.F.S.da; BARETTA, D.; GROLI, E.L., MAIA, L.C.da; OLIVEIRA, A.C.de. Desempenho per se e parâmetros genéticos de linhagens de trigo com expressão do caráter "stay-green". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.2, p.167-173, 2013.

LÚCIO, A.D.; STORCK, L.; BANZATTO, D.A. Classificação dos experimentos de competição de cultivares quanto a sua precisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, p.99-103, 1999.

MA, B.L.; WU, T.Y.; TREMBLAY, N.; DEEN, W.; MCLAUGHLIN, N.B.; MORRISON, M.J.; Stewart, G. On-Farm Assessment of the Amount and Timing of Nitrogen Fertilizer on Ammonia Volatilization. **Agronomy Journal**, v.102, p.134-144, 2010.

MELO, F. B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, p. 27-31, mar. 2011.

MENEGHIN, M.F.S.; RAMOS, M.L.G.; OLIVEIRA, S.A.; RIBEIRO JUNIOR, W.Q.; AMABILE, R.F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em latossolo vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p. 1941-1948, 2008.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v.75, p.562-564, 1982.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v.70, p.432-438, 2011.

OELOFSE, M.; MARKUSSEN, B.; KNUDSEN, L.; SCHELDE, K.; OLESEN, J.E.; JENSEN, L.S.; BRUUN, S. Do soil organic carbon levels affect potential yields and nitrogen use efficiency? An analysis of winter wheat and spring barley field trials. **European Journal of Agronomy**, v.66, p.62-73, 2015.

PANDEY, B. P.; BASNET, K. B.; BHATTA, M. R.; SAH, S. K.; THAPA, R. B.; KANDEL, T. P. Effect of row spacing and direction of sowing on yield attributing characters of

wheat cultivated in Western Chitwan, Nepal. **Agricultural Sciences**, v. 4, p. 309-316, 2013.

PIRES, J. L. F.; LIMA, M. I. P. M.; VOSS, M.; SCHEEREN, P. L.; WIETHÖLTER, S.; CUNHA, G. R. da; IGNACZAK, J. C.; CAIERÃO, E. Avaliação de cultivares de trigo em sistema de manejo tradicional e otimizado, Passo Fundo, **Embrapa Trigo**, 2005. 19 p. Publicação Online. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 54).

PROVENZI, F. D.; BERGAMO, R.; DEBASTIANI, W.; BALBINOT JR. A. A. Arranjo espacial de plantas em duas cultivares de trigo. **Unoesc &Ciência**, v. 3, p. 31-36, 2012.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. dos; PINTO, C.A.B.P.; SOUZA, E.A. de; GONÇALVES, F.M.A.; SOUZA, J.C. de.; **Genética na Agropecuária**. 5ª Ed., Editora UFLA, 2012, 565p.

RCBPTT (Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale). **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2014**. Comissão organizadora: Almir Montecelli, Ralf Udo Dengler, Jossiane Lombardi. – Londrina, PR: Fundação Meridional, 2014, p.235.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; AMÁBILE, R. F.; FERRAZ, D. M. M.; CARVALHO, A. M. de; CARVALHO, J. G.; ALBRECHT, J. C.; SÓ E SILVA, M. GUERRA, A. F. Efeito da fertirrigação nitrogenada no rendimento de grãos de genótipos de trigo, no cerrado. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, p.17, 2007. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 50).

RILEY, W. J.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; MATSON, P. A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 223–236, 2001.

RODRIGHERO, M. B.; CAIRES, E. F.; LOPES, R. B.; ZIELINSKI, A. A.; DEMIATE, I. M. Wheat technological quality as affected by nitrogen fertilization under a no-till system. **Acta Scientiarum**, v. 37, p. 175-181, 2015.

RODRIGUES, L. F. O. S.; GUIMARÃES, V. F.; SILVA, M. B.; JUNIOR, A. S. P.; KLEIN, J.; COSTA, A. C. P. R. Características agronômicas do trigo em função de *Azospirillum brasilense*, ácidos húmicos e nitrogênio em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 31-37, 2014.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; TEIXEIRA, M. C. C.; DEL DUCA, L. de J. Características fisiológicas associadas ao avanço no potencial de rendimento de grãos de trigo. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2002. 26p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 6).

SAMANI, M. R. K.; KHAJEHPOUR, M, R.; GHAVALAND, A. Effects of row spacing and plant density on growth and dry matter accumulation in cotton on Isfhan. **Iran Journal Agricultural Sciences**., v. 29, p. 667–679, 1999.

SANDLER, L.; NELSON, K. A.; DUDENHOEFFER, C. Winter wheat row spacing and alternative crop effects on relay-intercrop, double-crop, and wheat yields. **International Journal of Agronomy**, V. 2015, p. 1-8, 2014.

SANGOL, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L. de; ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. *Ciência Rural*, v. 37, p. 1564-1570, 2007.

SCHEEREN, P. L.; CUNHA, G.R. da; SÓ E SILVA, M.; SOUSA, C. N. A. de.; DEL DUCA, L. de J. A.; CAETANO, V. da R.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; BASSOI, M. C.; SOUSA, P. G. de; ALBRECHT, J. C.; ANDRADE, J. M. V. de; CÂNOVAS, A.; SOARES SOBRINHO, J. O Melhoramento e os trigos da Embrapa em cultivo no Brasil. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2002. 5 p. Publicação Online. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico, 81).

SCHLICHTING, A.F.; BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, M.de C.; PIETRO-SOUZA, W.; SILVA, T.J.A.da; FARIAS, L.do N. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.12, p.1148-1151, 2015.

SCHILLINGER, W.; WUEST, S. B. Wide row spacing for deep-furrow planting of winter wheat. **Field Crops Research**, v. 168, p. 57-64, 2014.

SILVA, S. A.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M. G. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2727-2722, 2008.

SILVEIRA, G.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VALÉRIO, I. G.; BENIN, G.; RIBEIRO, G.; CRESTANI, M.; LUCHE, H. S.; SILVA, J. A. G. Efeito da densidade de semeadura e potencial de afilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v. 69, p. 63-70, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TAVARES, L. C. V.; BASSOI, M. C.; MIRANDA, L. C.; PRETE, C. E. C. Transferência de tecnologia para cultivares de trigo no estado do Paraná. **Revista brasileira de sementes**, v. 33, p. 21-27, 2011.

TAVARES, L. S. V.; FOLONI, J. S. S.; BASSOI, M. C.; PRETE, C. E. C. Genótipos de trigo em diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 166-174, 2014.

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 797-804, 2010.

THEAGO, E. Q.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; MEGDA, M. M.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, p. 1826-1835, 2014.

THORSTED, M. D.; OLESEN, J. E.; WEINER, J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. **Field Crop Research**, v. 95, p. 280–290, 2006.

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>, Janeiro 2017, acessado em 10-01-2017.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; BENIN, G.; SILVEIRA, G.; SILVA, J. A. G.; NORBERG, R.; HAGEMANN, T.; LUCHE, H. S.; OLIVEIRA, A. C. Seeding density in wheat: the more, the merrier? **Scientia Agricola**, v. 70, p. 176-184, 2013.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; MACHADO, A. A.; BENIN, G.; SCHEEREN, P. L.; SOUZA, V. Q.; HARTWIG, I. Desenvolvimento de afilhos e componentes do rendimento em genótipos de trigo sob diferentes densidades de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 319-326, 2008.

VIANA, E.M.; KIEHL, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**. v. 69. n. 4. 2010.

WEIH, M.; ASPLUND, L.; BERGKVIST, G. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. **Plant Soil**, v. 339, p. 513-520, 2011.

YAN, X.; TI, C.; VITOUSEK, P.; CHEN, D.; LEIP, A.; CAI, Z.; ZHU, Z. Fertilizer nitrogen recovery efficiencies in crop production systems of China with and without consideration of the residual effect of nitrogen. **Environmental Research Letters**, v. 9, p. 1-9, 2014.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAC, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P. Efeito de reguladores de crescimento na cultura de trigo submetido a diferentes doses de nitrogênio e densidades de plantas. **Planta Daninha**, v. 20, p. 471-476, 2002.

ZHANG, J.; DONG, S.; DAI, X.; WU, T.; WANG, X.; BAI, H.; WANG, L.; HE, M. Combined Effect of Plant Density and Nitrogen Input on Grain Yield, Nitrogen Uptake and Utilization of Winter Wheat. **Vegetos**, 29:2, 2016. doi:10.4172/2229-4473.1000122.

ZHOU, X. B.; SUN, S. J.; YANG, G. M.; CHEN, Y. H.; LIU, P. Farmland microclimate and yield of winter wheat under different row spacing. **Journal of Agricultural Sciences**, v 18, p. 1-8, 2012.