

Teores de nitrogênio no solo e resposta do brócolis à aplicação de fontes de nutrientes em Sistema Plantio Direto

Matheus Ademir dos Santos ⁽¹⁾, Jucinei José Comin ⁽²⁾.

- ⁽¹⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP 88034-000, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: matheus.grad@hotmail.com.
- ⁽²⁾ Professor Titular, Depto de Engenharia Rural, CCA, UFSC. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP 88034-000, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: j.comin@ufsc.br.

Resumo

A fonte dos nutrientes para as plantas pode interferir na disponibilidade de nitrogênio (N) para o brócolis (*Brassica Oleracea var. itálica* Plenck), melhorando o rendimento da cultura, porém, cada fertilizante sofre reações distintas que afetam a sua disponibilidade às plantas e conseqüentemente o seu rendimento. O trabalho objetivou avaliar os teores de formas de N no solo e no tecido da planta, os parâmetros fisiológicos e a produtividade de brócolis submetido a aplicação de fontes de N em sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido no município de Anitápolis (SC), de abril a agosto de 2015, em delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco repetições e quatro tratamentos, compostos por: Testemunha (T), Ureia (U), Cama de aves (CA) e Nitrato de amônio (NA). Os tratamentos NA e CA proporcionaram as maiores produtividades da cultura do brócolis, porém não foi possível detectar diferença nos teores de N no perfil do solo e entre os parâmetros fisiológicos decorrente das diferentes fontes de N aplicadas.

Palavras chave: *Brassica Oleracea*, fertilizante nitrogenado solúvel, dejetos de aves.

Nitrogen levels in soil and broccoli response to the application under different nutrient sources no-tillage system

Abstract

The source of plant nutrients can interfere in the availability of nitrogen (N) for broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica* Plenck), improving crop yield, however, each fertilizer suffer different reactions that affect their availability to plants and consequently your yield. The study aimed to evaluate the levels of N forms in soil and plant tissue, physiological parameters and broccoli productivity subjected to application of N sources of no-tillage system. The experiment was carried out in Anitápolis (SC) from April to August of 2015 in an experimental design in blocks, with five replications and four treatments, composed of: control (without fertilization), urea (U), poultry manure (PM) and ammonium nitrate (AN). AN and PM treatments showed the highest yield of broccoli, but it wasn't possible to detect differences in N levels in the soil profile and between the physiological parameters from the different N sources applied.

Key Words: *Brassica Oleracea*, nitrogen fertilizer, poultry manure.

Introdução

As hortaliças, como o brócolis (*Brassica Oleracea* var. *italica* Plenck), normalmente são cultivadas em sistema de plantio convencional (SPC), onde o solo é revolvido antes do cultivo, potencializando a erosão hídrica e a incidência de plantas espontâneas, que podem competir por água e nutrientes com a cultura de interesse (Loss, et al., 2015; Merten et al., 2002; Kreutz, et al., 2012). Para solucionar esses problemas, o sistema de plantio direto tem sido adotado, pois proporciona redução da erosão hídrica e do escoamento superficial, o incremento de nutrientes e matéria orgânica, auxiliando na agregação e recuperação de solos degradados (Cardoso et al., 2012; Pacheco et al., 2011).

Plantas de cobertura do solo hibernais, como nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca (*Vicia cracca*) e tremoço (*Lupinus albus*), são semeadas e no florescimento os seus resíduos são acamados e depositados sobre a superfície do solo. Em seguida, as hortaliças são transplantadas e, além dos benefícios da proteção física do solo pelos resíduos das plantas de cobertura, podem se beneficiar de parte dos nutrientes liberados por estas espécies. Isso porque, com a adição dos resíduos das plantas de cobertura sobre o solo aumenta a imobilização pelos microrganismos nos estágios

iniciais da degradação do material orgânico, somado ao fato que o sistema radicular das hortaliças ocupa um pequeno volume de solo e o seu ciclo é curto, demandando uma grande quantidade de N em pequeno espaço de tempo. Porém, mesmo no SPD, onde plantas de cobertura da família das leguminosas podem promover a fixação biológica de N atmosférico através de simbioses com bactérias do gênero *Rhizóbium* e aquelas da família da Poacea podem ciclar nutrientes, torna-se necessário a aplicação de fontes de N, como as solúveis, entre elas ureia (U) e nitrato de amônio (NA) ou as orgânicas, como cama de aves (CA) (Pereyra et al., 2015; Ernani et al., 2002).

A ureia quando adicionada no solo sofre processo de hidrólise pela enzima urease e é transformada em carbonato de amônio, sofrendo rápido processo de decomposição e liberação de NH_4^+ , bicarbonatos e hidroxilas (OH^-). Com essa liberação do OH^- no solo ocorre elevação do pH ao redor do grânulo do adubo, e este NH_4^+ liberado na decomposição do carbonato de amônio proveniente da ureia, em sistemas que possuam condições aeróbias, passa por um processo biológico de nitrificação, sendo este processo a oxidação do N na forma NH_4^+ para a forma oxidada NO_3^- . Para que esse processo ocorra, são necessários duas etapas: primeiramente ocorre a nitrificação, onde o NH_4^+ é oxidado à nitrito (NO_2^-), e esse NO_2^- sofre o processo de nitrosação, sendo oxidado à NO_3^- (Moreira e Siqueira, 2006). Esta forma de N pode ser facilmente perdida por lixiviação, devido à formação de complexos de esfera externa. Como os solos da Região Sul do país possuem predominantemente cargas negativas este NO_3^- , por ter também carga negativa não se liga à fase sólida do solo, intensificando sua perda por lixiviação ao longo do perfil do solo. (Sangoi et al., 2003; Tasca et al., 2011).

Outro processo de perda de N proveniente da aplicação em superfície de ureia é a volatilização, a partir da redução do NH_4^+ liberado pela ureia, que se transforma em NH_3^+ , sendo esta perda intensificada em sistemas manejado com resíduos no perfil do solo principalmente em SPD, visto que a atividade da enzima uréase é maior em plantas do que no solo (Knoblauch et al., 2012).

Quando o nitrato de amônio é adicionado em superfície ou na massa de solo, ocorre a liberação de NH_4^+ e NO_3^- . Esse NH_4^+ liberado pode se ligar às cargas elétricas negativas do solo, que são predominantes em solos da Região Sul do país, ser absorvido pelas raízes ou ser reduzido para NH_2 e ser perdido por volatilização. O nitrato quando aplicado em superfície ou resultante da nitrificação da parte amoniacal migra diretamente para a solução do solo, onde é lixiviado, podendo ser absorvido pelas

plantas ou perdido não ficando disponível para as plantas na rizosfera (Kurtz et al., 2012).

A cama de ave quando aplicada no solo depende majoritariamente dos microrganismos presentes no solo para sua degradação. Este processo, realizado pelos microrganismos do solo, libera N na forma amoniacal, que é oxidado para a forma nítrica (NO_3^-). Esta taxa de oxidação do N é o fator preponderante do sua perda no perfil do solo, o qual na forma nítrica em solos com carga negativa são significativamente perdidos por lixiviação, não ficando disponível nas áreas de alcance das raízes e se tornando potencial contaminante de águas superficiais e subterrâneas (Rogeri et al., 2015, Matos et al., 2004; Sangoi et al., 2003).

Com o aumentando da disponibilidade das formas de N do solo, derivadas das diferentes fontes de N, se espera que parte do N seja absorvido pelo brócolis e se reflita na produção e no estado nutricional de brócolis. Isso permitirá o incremento dos teores de N no tecido (como NO_3^- e NH_4^+) e também dos pigmentos fotossintéticos, os quais estão presentes em grandes concentrações na planta, entre eles as clorofilas *a* e *b*, os carotenoides e clorofila total, parâmetros que podem ser quantificados indiretamente por método *in situ* através do SPAD (Soil Plant Analysis Development). Este aumento nas concentrações desses compostos estimula a taxa fotossintética e a produção de biomassa pela planta e, conseqüentemente, pode proporcionar um aumento na produtividade (Ambrosini et al., 2015; Guzman et al., 2012; Gil et al., 2002).

O trabalho objetivou avaliar o teores de formas de N no solo e no tecido das plantas, os parâmetros fisiológicos e a produtividade de brócolis submetido a aplicação de fontes de N em sistema de plantio direto.

Material e Métodos

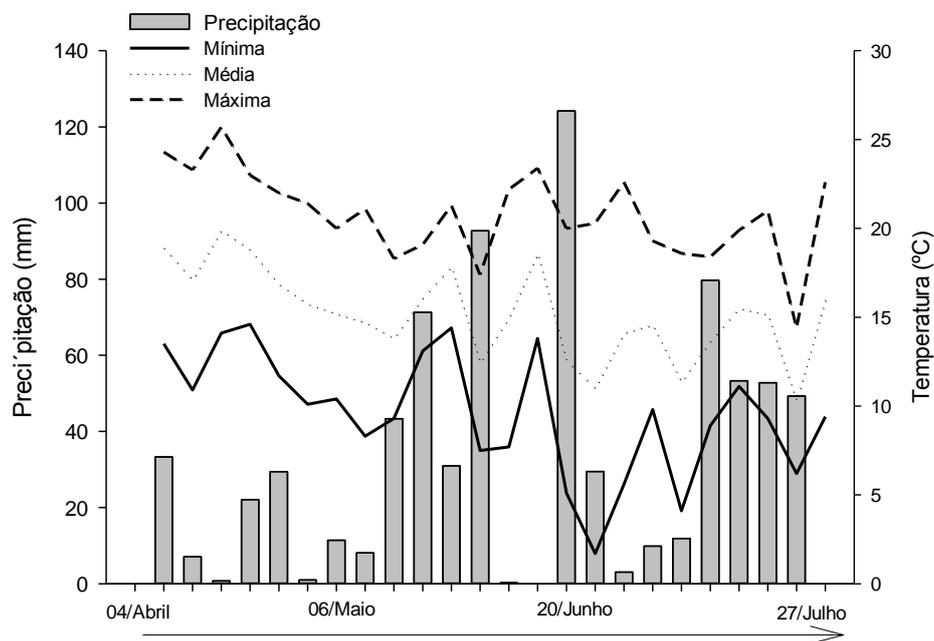
Localização do experimento e tratamentos

O experimento foi conduzido em Sistema de Plantio Direto (SPD) em uma área com histórico de cultivo de eucalipto no município de Anitápolis, região da Grande Florianópolis (SC) (latitude 27°54'07" S, longitude 49°07'43" W, altitude de 430 m). O clima é classificado como Cfa (úmido com verão quente). A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C e a temperatura média no mês mais quente é acima de 22°C. Os valores de precipitação e temperatura (mínima, média e máxima) durante a condução do experimento são apresentados na figura 1.

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Eutrófico (Embrapa, 2013) e recebeu dose de calcário equivalente para atingir o pH recomendado (5,5 a 6,0) para a cultura do brócolis (CQFS-RS/SC, 2004). Antes da implantação do experimento, na camada de 0-20 cm, o solo possuía: 35,0 g kg⁻¹ de argila; 587 g kg⁻¹ de silte; 41,5 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água 5,7 (relação 1:1); 6,5 mg kg⁻¹ de P disponível e 96,8 mg kg⁻¹ de K trocável (ambos extraídos por Mehlich-1).

O experimento foi implantado em abril de 2015 em um delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, compostas por 20 plantas por parcela. Mudas de brócolis da variedade *Avenger* (Sakata Seed Sudamerica) foram produzidas com substrato comercial em banjedas de poliestireno expandido com 180 células. As mudas foram transplantadas para solo que foi submetido à aplicação de fontes de N: testemunha (T), ureia (U), nitrato de amônio (NA) e cama de aves (CA). Cada fonte foi aplicada ao solo em quantidade para fornecer 150 kg ha⁻¹ de N. O brócolis em experimento preliminar apresentou o maior rendimento nesta dose (Dados não publicados). Nos tratamentos U e NA a dose de N foi parcelada, sendo 20% aplicado aos 15 dias após o transplante (DAT) das mudas, 30% aos 30 DAT e 50% na emissão da inflorescência. O parcelamento da dose de N foi definido com base em resultados obtidos em experimento preliminar que definiu os momentos de maior absorção de N pelo brócolis. A U e o NA foram aplicados na superfície do solo, sem incorporação. A CA foi aplicada na quantidade de 25 Mg ha⁻¹ na superfície do solo e incorporado antes do transplante das mudas de brócolis. A CA possuía composição média de 25,86 g kg⁻¹ de N, 22,02 g kg⁻¹ de P, 24,09 de K, 4,0 % de Ca e 0,8 % de Mg. Nos tratamentos U e NA foram aplicados sobre a superfície do solo, sem incorporação, antes do transplante das mudas, 60 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio - KCl) e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato triplo - SFT), conforme recomendação para a cultura (CQFS-RS/SC, 2004). As plantas foram cultivadas até o final do seu ciclo, totalizando 110 dias.

Figura 1: Dados de precipitação e temperatura durante o período de condução do experimento.



Coleta de solo

Aos 15, 30, 90 e 110 DAT foram coletadas amostras estratificadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm na linha de plantio do brócolis. As amostras foram acondicionadas em recipiente com gelo e levadas ao laboratório, onde foram armazenadas em *freezer* com temperatura de -20°C . Com os dados obtidos foi calculado o N mineral (Tedesco et al., 1995).

Formas de N no solo

Para a determinação de NO_3^- e NH_4^+ no solo foi utilizada metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), utilizando 5g de solo extraídos o N-Mineral com a adição de 50 ml de solução de KCl 1 mol L^{-1} . Em seguida as amostras foram agitadas em agitador orbital por 30 min, após agitação foi aguardado 30 minutos com o frasco em descanso para a decantação do solo e, posteriormente, retirada uma alíquota 20 ml do extrato para um frasco de destilação de 100 ml, adicionando 0,2g de MgO (Óxido de magnésio) e 0,2g de liga de vanádio (liga de metais), acoplado o tudo de destilação ao aparelho de destilador de arraste a vapor (Kjedahl) e recolhido 30-40 ml de destilado em frasco de erlenmeyer. Posteriormente os teores de nitrato e amônio foram titulados com H_2SO_4 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$, e posteriormente, calculado a partir da equação (1).

$$N \text{ mineral (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{mL H am} - \text{mL H br}) \times 70 \times 2,5}{5\text{g}} \quad (1)$$

Leituras SPAD

Aos 15, 25, 45 e 110 DAT foi determinado o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), utilizando o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltda.). As leituras foram realizadas em três folhas por planta com semelhante estado fisiológico de desenvolvimento. Cinco leituras foram realizadas no centro de cada folha, totalizando 15 leituras por planta.

Produtividade

Aos 110 DAT foram coletadas as inflorescências de três plantas da parcela útil de cada repetição dos tratamentos, foram pesadas em balança digital para determinação da produtividade do brócolis. Após pesagem, o material foi seco em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante. Posteriormente, as amostras foram moídas e submetidas à análise de N-NO₃⁻ e N-total, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

NO₃⁻ na inflorescência

Para a determinação de nitrato na inflorescência foi utilizada metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Foi utilizado 1,00 g do tecido vegetal coletado para a determinação da produtividade, acondicionado em tubos Falcon de 50 ml e adicionados 15 mL de KCl 1M. As amostras foram agitadas internamente por 30 min em mesa agitadora para que a solução ficasse em contato com a maior quantidade de tecido possível. Após o período de 30 min, as amostras foram centrifugadas por 15 minutos a 3200 RPM para a separação dos conteúdos presentes no falcon. Em seguida, foram coletados 10 mL da alíquota e colocadas frasco de destilação de 100 ml, adicionando 0,2g de MgO (Óxido de magnésio), acoplando o tudo de destilação ao aparelho de destilador de arraste a vapor (Kjedahl) e recolhido 30-40 mL de destilado em frasco de erlenmeyer onde previamente foram adicionados 5 mL de solução Indicador Ácido Bórico. Posteriormente, os teores amônio foram titulados com H₂SO₄ 0,0025 mol L⁻¹, e os teores de nitrato calculados conforme a equação (2).

$$\text{g kg}^{-1} \text{ de N } -(\text{NH}_4) \text{ ou de N } -(\text{NO}_3) = \frac{(\text{mLH}^+\text{am} - \text{mLH}^+\text{br}) \times 70}{\text{g tecido}} / 1000 \quad (2)$$

N total inflorescência

Para a determinação do nitrogênio total na inflorescência foi utilizada metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Foi utilizado 0,1 g do tecido vegetal, acondicionado em tubos de destilação de 100 ml e adicionados 1,00 ml de H₂O₂, 2,00 ml de H₂SO₄ e 0,7 g de mistura de digestão (NaSO₄, CuSO₄+ 5H₂O, Selênio). As amostras foram levadas ao bloco digestor e digeridas durante um período de 2 horas a 360 °C. Após o período de 2 horas, as amostras tiveram seu volume padronizado para 50 mL adicionando-se água destilada. Em seguida, foram coletados 10 ml da alíquota e colocadas frasco de destilação de 100 ml, adicionando 5 mL de NaOH 10 mol L⁻¹, acoplado o tudo de destilação ao aparelho de destilador de arraste a vapor (Kjedahl) e recolhido 30-40 mL de destilado em frasco de erlenmeyer onde previamente foram adicionados 5 mL de solução Indicador Ácido Bórico. Posteriormente, os teores totais foram titulados com H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹, e calculados conforme a equação (3).

$$\text{g kg}^{-1} \text{ de N} = \frac{(\text{mL H+am}-\text{mL H+br}) \times 700 \times 5 \times 5}{10000} \quad (3)$$

Clorofila *a*, Clorofila *b* e carotenóides

Três folhas por planta foram coletadas no terço médio da planta ao final do ciclo da cultura, com semelhante estado fisiológico de desenvolvimento na área útil da parcela, totalizando nove plantas por parcela. Ainda a campo foi determinada a matéria fresca do tecido vegetal e, posteriormente, o tecido foi acondicionado em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e a degradação do tecido. As amostras foram levadas ao laboratório para a determinação dos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides. A análise dos conteúdos de clorofilas e carotenóides nas folhas foi realizada pela extração com Dimetilsulfóxido (DMSO), utilizando-se 0,1 g de tecido fresco sem maceração adicionando 7 mL de DMSO e levado a banho-maria por duas horas, após filtragem o volume total foi ajustado para 10 mL adicionando-se DMSO. Os valores dos pigmentos fotossintéticos foram obtidos por meio de espectrofotometria considerando-se a densidade ótica medida a 480 nm, 649 nm e 665 nm, conforme descrito por Hiscox & Israelstam (1979). Os cálculos para a determinação da concentração das clorofilas *a*, *b* Total e de carotenóides foram realizados utilizando as equações (4) (5) (6) (7), como proposto por Wellburn (1994), sendo os valores expressos em µg ml⁻¹.

$$\text{Ca} = [12,19 * (A665nm) - 3,45 * (A645nm)](mg L^{-1}) \quad (4)$$

$$Cb = [21,999 * (A 645nm) - 5,32 * (665nm)(mg L - 1) \quad (5)$$

$$Clorofila Total = Ca + Cb \quad (6)$$

$$Carotenídes totais = [1.000 * (A480) - 2,14 * (Chl a) - 70,16 * (Chl b)] / 220 \quad (7)$$

Posteriormente à determinação da clorofila, a sobra do material foi seco em estufa com circulação de ar forçado a 65°C até massa constante, moído e reservado para determinação de N-total (Tedesco et al., 1995).

N-total na folha

Para a determinação do nitrogênio total no tecido vegetal foi utilizada metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Foi utilizado 0,2 g do tecido vegetal, acondicionado em tubos de destilação de 100 ml e adicionados 1,00 mL de H₂O₂, 2,00 mL de H₂SO₄ e 0,7 g de mistura de digestão (Na₂SO₄, CuSO₄.5H₂O e Selênio) e as amostras foram digeridas durante um período de 2 horas a 360 °C. Após o período de 2 horas, as amostras tiveram seu volume padronizado para 50 mL adicionando-se água destilada. Em seguida, foram coletados 10 ml da alíquota e colocadas frasco de destilação de 100 mL, adicionando 5 mL de NaOH 10 mol L⁻¹, acoplado o tudo de destilação ao aparelho de destilador de arraste a vapor (Kjedahl) e recolhido 30-40 mL de destilado em frasco de erlenmeyer onde previamente foram adicionados 5 ml de solução Indicador Ácido Bórico. Posteriormente, os teores amônio foram titulados com H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹, e os teores de nitrato calculados conforme a equação (8).

$$g kg - 1 deN = \frac{(mL H+am - mL H+br) \times 700 \times 5 \times 5}{10000} \quad (8)$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de separação de médias Scott-knott (p < 0,05).

Resultados e Discussão

Houve incremento na produtividade em plantas de brócolis nos tratamentos CA e NA, seguidos pelo tratamento U e posteriormente o tratamento T (Tabela 1). Esta maior produtividade pode estar relacionada às fontes de N aplicadas e à sua maior disponibilidade para as plantas durante o ciclo da cultura, pois, a CA quando aplicada no solo sofre processo de mineralização e libera gradualmente o N durante todo o ciclo da cultura. Já a fonte NA quando aplicada ao solo libera $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, sendo a forma amoniacal menos lixiviado no perfil do solo em comparação com a forma nítrica, ficando assim disponível em maior quantidade para as plantas após a aplicação. Diferentemente da fonte U, uma fonte amoniacal onde aplicada em superfície pode ser facilmente perdida por volatilização na forma de NH_3^+ , sendo esta volatilização intensificada pelos resíduos culturais em superfície, como é o caso do SPD, e quando são aplicadas em solos com baixo teor de umidade também intensificam a perda por volatilização. Ainda em contato com o solo ocorre o processo de nitrificação, sendo esta forma de N facilmente lixiviada, reduzindo assim a quantidade disponível adequada para o desenvolvimento das plantas. (Sangoi et al., 2003; Knoblauch, et al., 2012). Outro fator que pode ter influenciado na produtividade destes tratamentos é a maior disponibilidade de N nas camadas de 0-5 cm no momento da emissão da inflorescência (Figura 2), momento em que a planta apresenta maior taxa absorção de N, e região do solo onde a planta apresenta maior densidade radicular.

Tabela 1 - Teores de N total e NO_3^- no tecido vegetal e produtividade do brócolis.

Tratamentos	Nt	NO_3^-	Nt	Produtividade (kg ha ⁻¹)
	inflorescência	inflorescência	Folha	
	-----g kg ⁻¹ -----			
T	52,19 ^{ns}	3,71 ^{ns}	21,18 ^{ns}	1753,76c ⁽¹⁾
U	44,54	2,96	33,27	3707,53b
CA	54,11	2,67	26,28	5782,64 ^a
NA	50,89	3,00	28,88	6097,96 ^a
CV (%)	10,94	27,09	30,63	27,02

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de erro. ^{ns} = não significativo a 5% de erro. CV = coeficiente de variação. Nt: Nitrogênio Total

Vale ressaltar que as inflorescências produzidas no experimento apresentaram peso abaixo do comercial. Este resultado pode estar relacionado com a área onde foi

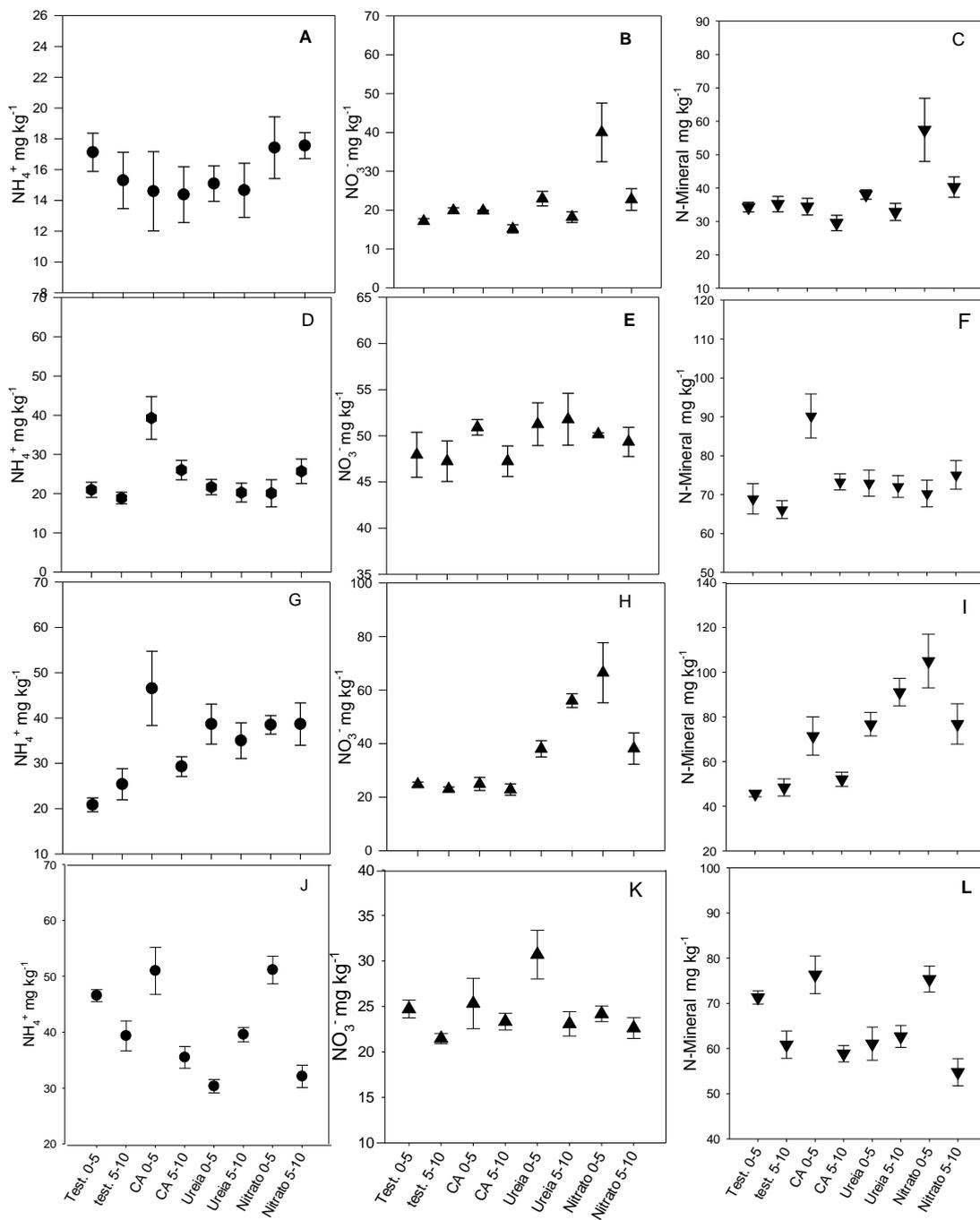
realizado o experimento e à dose de N aplicada, pois, a área utilizada para implantação do experimento havia sido recentemente utilizada para plantio de eucalipto, e após a retirada das árvores a superfície do solo ficou com uma grande quantidade de material vegetal. Ao iniciar o processo de decomposição pela microbiota do solo, os organismos provavelmente imobilizaram grande parte do N aplicado em superfície para a degradação deste material (Doneda et al., 2012; Ernani et al., 2005). Além disso, a dose de N utilizada, que foi de 150 kg de N ha⁻¹, provavelmente foi muito baixa para uma área de cultivo que se apresenta em início do sistema de plantio direto (SPD) e ainda não encontra-se estabilizada. Em experimento sobre doses de N para a cultura do brócolis em SPD estabilizado, com nove anos de implantação, as plantas não responderam a doses maiores que 150 kg de N ha⁻¹ (Dados não publicados). Somando a isso, a quantidade de N disponível que permaneceu no solo foi muito pequena, o que impactou o seu desenvolvimento (Figura 2). Isto também observado por Ambrosini et al. (2015), o qual avaliando o desenvolvimento de plantas de brócolis em diferentes doses de ureia observaram pouco desenvolvimento das inflorescências de plantas de brócolis que foram submetidas a um ambiente com baixos teores de N disponíveis para as plantas. Este fator também pode ter impactado nos teores de N-mineral na inflorescência e nos teores de N-total na folha do brócolis, pois não foram observadas diferenças significativas entre teores nesses órgãos em função dos tratamentos avaliados (Tabela 1).

As aplicações das distintas fontes de N no solo em superfície apresentaram incremento de N-Mineral no solo, tanto nas formas de N-NH₄⁺ e NO₃⁻ nas profundidades de 0-5 e 5-10 em todos os tratamentos (Figura 2). A degradação dos resíduos vegetais que permaneceram na superfície do solo também pode ter contribuído para a liberação de N para o solo. Esses resultados corroboram com aqueles encontrados por Rogeri et al. (2015) que ao trabalharem com diferentes doses de cama de aves e ureia e observaram incremento dos teores de de N-NH₄⁺ no solo, independentemente da fonte e da dose utilizada. Apesar de haver um incremento de N-Mineral no solo em todos os tratamentos do presente estudo, não foi possível encontrar diferença significativa no fluxo de N-Mineral no perfil do solo, havendo uma tendência de uma maior acúmulo de N-Mineral na profundidade 0-5 cm (Figura 2), devido à aplicação em superfície sem a incorporação das fontes ao solo. Outro fator responsável pelo baixo fluxo de N no perfil do solo foi a baixa taxa de precipitação (Figura 1) durante a

condução do experimento, fator que é primordial para a movimentação do N no solo devido à sua alta solubilidade.

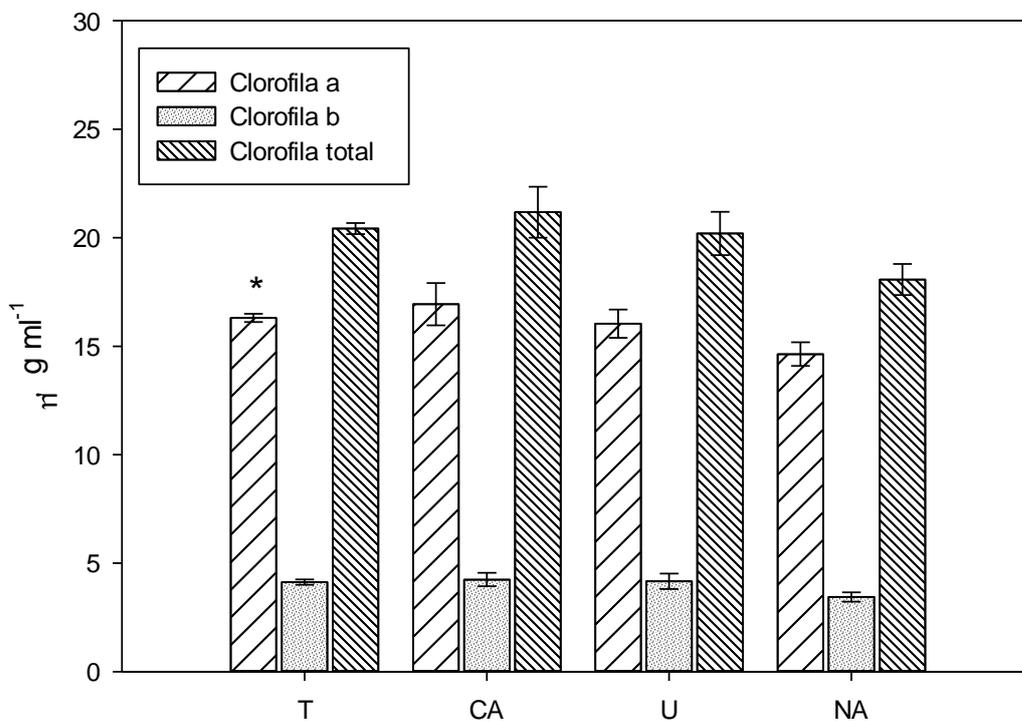
Não houve diferença significativa entre os teores de N-mineral na inflorescência do brócolis, tampouco foi observada diferença significativa entre os teores de N-Total na folha em todos os tratamentos avaliados (Tabela 1). Isso pode estar relacionado com os teores de N-Mineral similares entre os tratamentos, e assim as plantas não foram afetadas pela fonte de N aplicada. No experimento realizado por Ambrosini et al. (2015), os autores encontraram correlação positiva das doses com os teores de N na inflorescência e no tecido vegetal, mostrando que o acúmulo de N na planta está relacionado com a concentração de N no solo disponível.

Figura 2: Teores das formas de N no solo ao longo do ciclo da cultura. (letras A, B, C coleta 1 aos 15 DAT; D, E, F coleta 2 aos 30 DAT; G, H, I coleta aos 90 DAT; J, K, L coleta 4 aos 110 DAT).



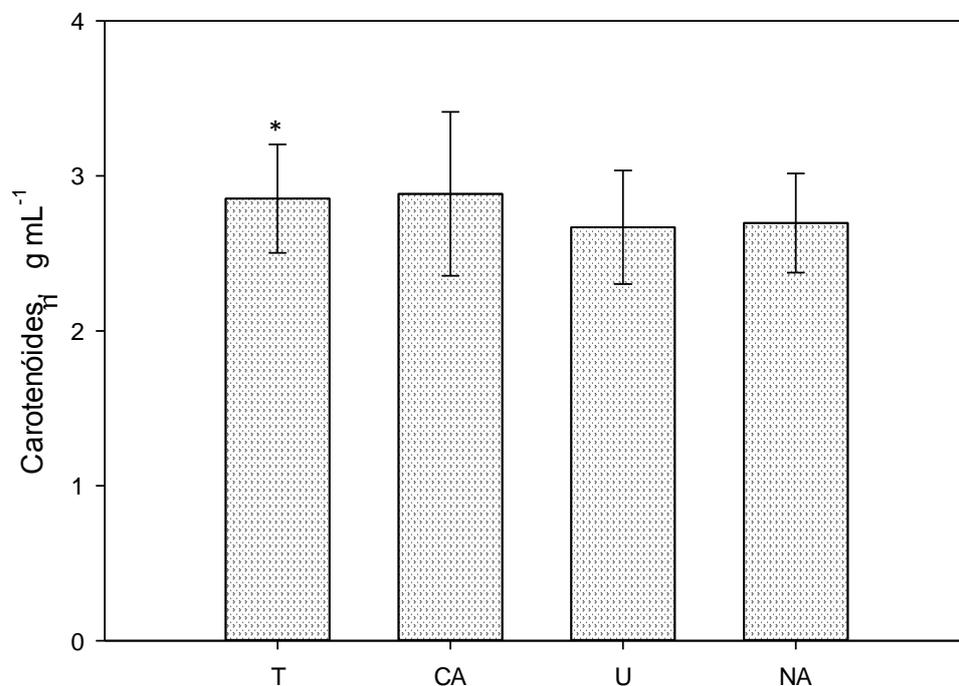
Em relação aos teores de Clorofila *a*, Clorofila *b*, Clorofila total e Carotenoides (Figura 3 e 4), não houve diferença significativa destes pigmentos entre os tratamentos. Porém, se observou visualmente o aumento na coloração verde do limbo durante o desenvolvimento da planta. Alguns autores como Ambrosini et al. (2015) e Pôrto et al. (2011) encontraram acréscimos destes pigmentos na folha do brócolis e da abobrinha, respectivamente, em função da dose de N utilizada, demonstrando como a disponibilidade de N está correlacionada com a intensidade da coloração verde na planta e conseqüentemente maior concentração dos pigmentos fotossintéticos.

Figura 3: Teores de Clorofila *a*, *b* e Total avaliados ao final do ciclo da cultura de brócolis submetido a diferentes fontes de N.



*ns= não significativo a 5% de erro

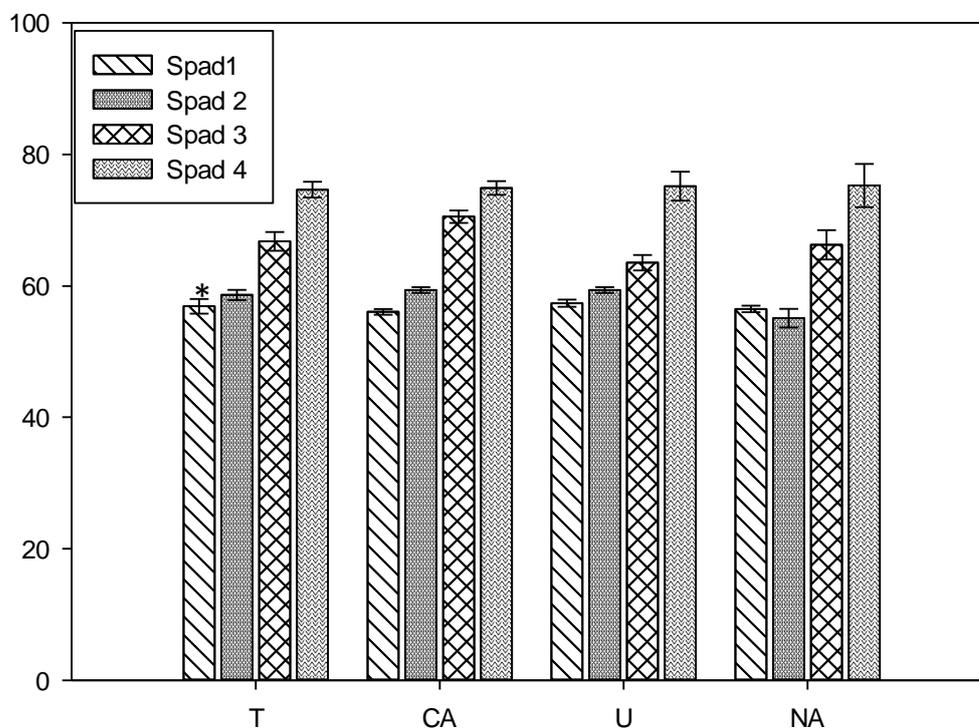
Figura 4: Teores de Carotenoides ao final do ciclo da cultura em folha de brócolis submetidos a diferentes fontes de N.



*ns= não significativo a 5% de erro

A intensidade da coloração verde das folhas, parâmetro avaliado pelo índice Spad, não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos entre as datas de coleta, tampouco durante o tempo (Figura 5). Porém, observou-se aumento do índice de acordo com o crescimento da planta. Isto pode estar relacionado com a Taxa de Absorção Diária de nutrientes (TDA) da planta, a qual aumenta de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, pois quanto mais a planta se aproxima da fase reprodutiva mais aumenta o acúmulo de matéria seca, aumentando consequentemente a produção de clorofila e a intensidade da coloração verde do limbo foliar (Ambrosini et al., 2015).

Figura 5: Valores de Índice SPAD em folhas de brócolis submetidas a diferentes fontes de N, aos 15 (Spad 1), 25 (Spad 2), 45 (Spad 3) e 110 DAT (Spad 4).



*ns= não significativo a 5% de erro

Conclusões

A aplicação das fontes de N no solo em um único ciclo de brócolis não permitiu detectar diferenças nos teores das formas de N no solo entre os tratamentos.

Os tratamentos NA e CA proporcionaram efeitos na produtividade do brócolis, porém são necessários maior número de ciclos para a confirmação da melhor fonte de N para a cultura do brócolis. Além disso, a dose utilizada de 150 kg N ha⁻¹ deve ser utilizada somente em áreas com Sistema de Plantio Direto (SPD) consolidadas, sendo necessária a realização de outros experimentos para a avaliação da dose adequada para áreas em início do SPD.

Os parâmetros avaliados não foram sensíveis para detectar qual fator foi crucial para a diferença de produtividade entre as fontes de N aplicadas, sendo necessário o acréscimo de outros parâmetros mais sensíveis, bem como o aumento do número de coletas de dados de clorofila durante o desenvolvimento da planta, aumento no número

de coletas de solo e também adicionar avaliações de P e K no solo e no tecido, para assim detectar quais parâmetros fisiológicos são afetados pelas diferentes fontes de N.

Referências

AMBROSINI, V. G.; VOGES, J. G.; BENEVENUTO, R. F.; VILPERTE, V.; SILVEIRA, M. A.; BRUNETTO, G.; OGLIARI, J. B. Single-head broccoli response to nitrogen application. **Científica**, v. 43, n. 1, 2015.

CARDOZO, D. P., SILVA, M. L. N, CARVALHO, G. J., FREITAS, D. A. F., AVANZI, J C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e SC. 10 ed. Porto Alegre: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul**, p. 394, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 3 ed, p. 374, 2013.

ERNANI, P. R; SANGOI, L. ; LECH, V. A. ; RAMPAZZO, C. . A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 360-365, 2005.

ERNANI, P. R., SANGOI, L., RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 993-1000, 2002

DONEDA, A., AITA. C., GIACOMINI, J. S., CARVALHO MIOLA, E. C., GIACOMINI, D. A., SCHIRMANN J., GONZATO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

GIL PT; FONTES PCR; CECON PR; FERREIRA FA. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

GUZMAN, I.; YOUSEF, G. G.; BROWN, A. F. Simultaneous extraction and quantitation of carotenoids, chlorophylls, and tocopherols in *Brassica* vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, n. 29, p. 7238-7244, 2012.

HISCOX, J. D., ISRAELSTAM G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979.

KNOBLAUCH, R.; ERNANI, P.; WALKER, T. W.; KRUTZ, L. J.; VARCO, J. J.; GATIBONI, L. C.; DESCHAMPS, F. C.. Volatilização de amônia em solos alagados influenciada pela forma de aplicação de ureia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 813-822, 2012.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R.; COIMBRA, J. L. M.; PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 865-876, 2012.

KREUTZ D. H.; WEIZENMANN, M.; MACIEL, M. J.; SOUSA, C. F. V. Avaliação das Concentrações de Nitrato e Nitrito em Hortaliças Produzidas em Cultivos Convencional e Orgânico na Região do Vale do Taquari – RS. **UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde**. v. 14, p. 105-110, 2012.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em Sistema de Plantio Direto e Agroecológico e Convencional de Cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p. 1212-1224, 2015.

MATOS, A. T., LEMOS, A. F., BARROS, F. M., mobilidade de nitrato em solos de rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 57-65, 2004.

MERTEN, G. H.; MINELA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural e Sustentável**. Porto Alegre, v. 3, n. 4, 2002.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**, Lavras, 2 Ed., p. 729, 2006.

OLIVEIRA, B. S. AMBROSINI, V. G., LOVATO, P. E., COMIN, J. J., CERETTA, C. A., JUNIOR, E. S., DOS SANTOS, M. A., LAZZARI, C. J. R., BRUNETTO, G. Produção e nitrogênio no solo e na solução em pomar de macieira submetido à aplicação de fontes de nutrientes. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, 2014.

PACHECO, L. P., BARSOSA, J. M., LEANDRO, W. M., MACHADO, P. L. O. A., ASSIS, R. L., MADARI, B. E., PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por Plantas de cobertura nas culturas de Arroz de terras altas e de soja. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 35, p. 1787-1799, 2011.

PEREYRA, G., HARTMANN, H., MICHALZIK, B., ZIEGLER, W., TRUMBONE, S. Influence of Rhizobia Inoculation on Biomass Gain and Tissue Nitrogen Content of *Leucaena leucocephala* Seedlings under Drought. **Forests**, v. 6, p. 3686-3703, 2015.

PÔRTO, M. L., PUIATTI, M., FONTES, P. C. R., CECON, P. R., ALVES, J. C., ARRUDA, J. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura brasileira**, v. 29, n. 3, 2011.

ROGERI, D. A., ERNANI, P. R., LOURENÇO, K. S., CASSOL, P. C., GATIBONI, L. C. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 534-540, 2015.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

TASCA, F. A., ERNANI, P. R., ROGERI, D. A., GATIBONI, L. C., CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação De ureia convencional ou com inibidor de Urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 493-502, 2011.

TEDESCO, M. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, p. 174, 1995.

WELLBUM, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**. v. 144, p. 307-313, 1994.