http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index
DOI: 10.5747/ca.2019.v15.n5.a325
ISSN on-line 1809-8215

Colloquium Agrariae

Submetido: 01/032019 Revisado: 11/09/2019 Aceito:12/09/2019

Teores de nitrato e amônio no solo em função de culturas de entressafra da soja e adubação nitrogenada

Anderson Hideo Yokoyama[1], Alvadi Antonio Balbinot Junior[2], Ricardo Henrique Ribeiro[3], Julio Cezar Franchini[2], Henrique Debiasi[2], Claudemir Zucareli[1]

[1]Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Londrina, PR. [2]Embrapa Soja, Londrina, PR. E-mail: alvadi.balbinot@embrapa.br. [3]Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC.

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de nitrato e amônio no solo na entressafra e na safra de soja em função de culturas de entressafra e fertilização com N mineral na soja. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, com cinco repetições e em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocados seis tratamentos de entressafra: pousio, milho segunda safra com 0 ou 80 kg de N ha^{-1} em cobertura, trigo, *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria spectabilis*. Nas subparcelas foram alocados duas adubações de N na implantação da soja (0 e 30 kg de N ha^{-1}). De abril de 2016 a fevereiro de 2017 foram realizadas 26 coletas de solo na camada de 0,0-0,1 m, sendo avaliados os teores de nitrato e amônio nas amostras. Durante o período de entressafra da soja, os maiores teores de nitrato no solo foram observados no milho segunda safra adubado com 80 kg de N ha^{-1}, enquanto os teores de amônio variaram menos entre os tratamentos de entressafra. As culturas de entressafra não influenciaram os teores de nitrato e amônio no solo durante o ciclo da soja em sucessão. Na fase vegetativa da soja, os teores de nitrato no solo foram superiores quando a soja foi adubada com 30 kg de N ha^{-1}, em relação à ausência de adubação, mas nas fases de formação de vagens e de grãos essa diferença não ocorreu.

Palavras-chave: culturas de cobertura; *Glycine max* L.; manejo do solo; nitrogênio inorgânico no solo; sistema plantio direto.

Nitrate and ammonium content in the soil as a function of off-season crops and nitrogen fertilization in the soybean

Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of off-season crops and fertilization with N mineral at soybean sowing on the nitrate and ammonium contents in the soil during the off-season and soybean development cycle. The experimental design was of randomized complete blocks, with five replications and in split plod scheme. Six off-season treatments were evaluated in the plots: fallow, maize with 0 or 80 kg of N ha^{1}, wheat, *Urochloa ruziziensis* and *Crotalaria spectabilis* . In the subplots two levels of N were evaluated in the soybean sowing (0 and 30 kg N ha^{-1}). From April 2016 to February 2017, 26 soil samples were collected in the 0.0-0.1 m layer, and the nitrate and ammonium contents in the samples were evaluated. During the off-season, the highest contents of nitrate were observed in maize fertilized with 80 kg de N ha^{-1}, while ammonium contents varied less among off-season crops. The off-season crops did not influence the soil nitrate and ammonium content during the soybean cycle. In the vegetative phase of soybean, nitrate contents were higher when the soybean received nitrogen fertilization in relation to the absence of fertilization, but in the pod and grain formation there was no effect of the nitrogen fertilization on the contents of inorganic N.

Keywords: cover crops*; Glycine max* L.; soil management; inorganic nitrogen in the soil; no-tillage system.

Introdução

Na safra 2018/19, a soja ocupou cerca de 35,7 milhões de hectares no Brasil, sendo a cultura mais importante do agronegócio brasileiro, porém a cultura mais associada à soja no país é o milho safrinha, com cerca de 11,5 milhões de hectares (CONAB, 2019). Diante disso, a sucessão soja/milho safrinha intensifica o uso da terra, máquinas e mão de obra, no entanto quando utilizada por várias safras consecutivas, tem provocado redução da qualidade e conservação do solo e no aumento de problemas fitossanitários, como plantas daninhas de difícil controle, alguns insetos-praga, doenças necrotróficas e fitonematoides (DEBIASI *et al.*, 2017).

Outra cultura usada na entressafra da soja é o trigo, especialmente em regiões subtropicais ou tropicais com altitudes superiores a 600 m. As culturas de cobertura do solo também são alternativas para o cultivo na entressafra, como as braquiárias (LOSS *et al.*, 2011) e as crotalárias (CARVALHO *et al.*, 2013), objetivando melhorar a qualidade do solo e reduzir problemas fitossanitários. Adicionalmente, em várias regiões do país há ausência de cultivo na entressafra da soja (pousio), provocando aumento da erosão, da degradação da qualidade do solo e da ocorrência de plantas daninhas de difícil controle (MORAES *et al.*, 2013; YOKOYAMA *et al.*, 2018).

Os diferentes padrões de crescimento e requerimento de N das culturas de entressafra, bem como a produção de resíduos culturais em distintas quantidades e características químicas, como relação carbono/nitrogênio (C/N), podem influenciar os processos de ciclagem, imobilização e mineralização de N durante o ciclo dessas culturas ou na soja em sucessão (AULAKH *et al.*, 2000). Nesse sentido, as culturas de entressafra podem afetar os teores de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) no solo (MORO *et al.*, 2013). A palha com elevada relação C/N, como a produzida por milho, trigo e braquiária, pode imobilizar temporariamente o N presente na solução do solo, sobretudo na camada superficial, reduzindo momentaneamente o suprimento desse nutriente à cultura semeada em sucessão (LAMMEL *et al.*, 2017).

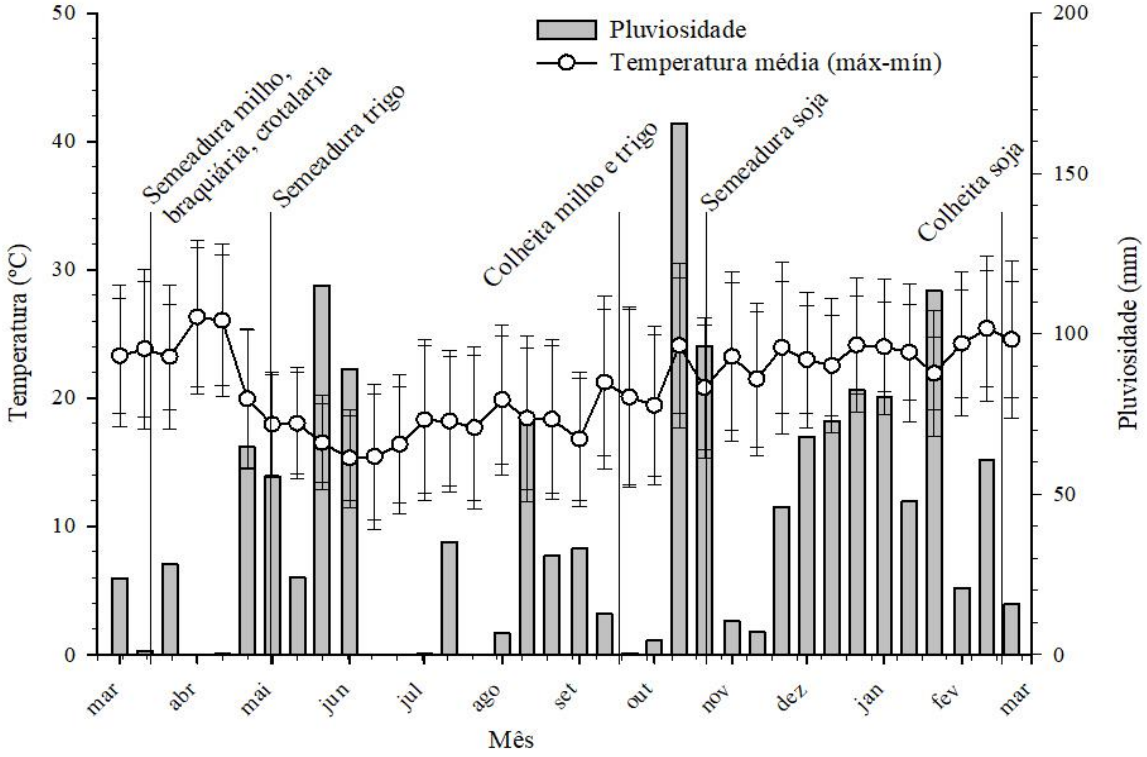
A cultura da soja apresenta elevada demanda por N, em função do elevado teor proteico da biomassa (BOHRER; HUNGRIA, 1998; SINCLAIR *et al.*, 2003; SATURNO *et al.*, 2017). Estima-se que sejam necessários cerca de 80 kg de N para a produção de 1.000 kg de grãos de soja (HUNGRIA *et al.*, 2001). A demanda de N pela soja pode ser atendida pela mineralização da matéria orgânica, pela fixação simbiótica e pela adubação (HUNGRIA *et al.*, 2006). Assim, outro fator que pode alterar os teores de N inorgânico no solo é a adubação nitrogenada na soja, que, apesar de não ser indicada pela pesquisa, alguns produtores adotam (SATURNO *et al.*, 2017). Uma das justificativas para uso de tal técnica é de que pode haver imobilização temporária de N pela palha em decomposição, especialmente de gramíneas, reduzindo os teores de N inorgânico no solo no início do ciclo da soja. Salienta-se que os efeitos da interação de culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na soja sobre os teores de nitrato e amônio no solo ainda não foram adequadamente elucidados.

O objetivo desse trabalho foi avaliar os teores de nitrato e amônio no solo na entressafra e na safra de soja em função de culturas de entressafra e fertilização com N mineral na soja.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido de março de 2016 a março de 2017, na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (23º11’37”S 51º11’03”W, altitude de 630 m). De acordo com a classificação de Köeppen, a região apresenta clima Cfa - subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18^{o}C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22^{o}C, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). Os dados de precipitação pluvial e temperatura no período experimental (Figura 1) foram obtidos em estação meteorológica localizada a 500 metros do experimento.

Figura 1. Precipitação pluvial por decêndio e temperaturas médias, máximas e mínimas do ar durante o período experimental - março de 2016 a março de 2017. Londrina, PR, 2016/17. Embrapa Soja.



O solo da área experimental foi identificado como Latossolo Vermelho distroférrico (SANTOS *et al.*, 2013), com os seguintes atributos físicos e químicos analisados na camada de 0-20 cm: 710, 82 e 208 g kg^{-1}, de argila, silte e areia, C (Walkley Black) - 17,76 g dm^{-3}; pH em $CaCl_2$ 5,07; $H^+ + Al^{3+}$ (SMP) - 5,15 $cmol_c$ dm^{-3}; K^+ (Mehlich-1) - 0,85 $cmol_c$ dm^{-3}; P (Mehlich-1) - 36,95 mg dm^{-3}; Ca^{2+} (KCl) - 1,52 $cmol_c$ dm^{-3} e Mg^{2+} (KCl) - 1,52 $cmol_c$ dm^{-3} (SILVA, 2009).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com cinco repetições e em parcelas subdividas. Nas parcelas principais (5,0 x 8,0 m), foram dispostas seis formas de uso do solo na entressafra: pousio, milho safrinha com 0 ou 80 kg de N ha^{-1} em cobertura, trigo, *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria spectabilis*, sendo as duas últimas destinadas à cobertura do solo. Nas subparcelas (2,5 x 8,0 m) foram alocados dois níveis de adubação nitrogenada mineral na implantação da soja (0 e 30 kg de N ha^{-1}), a qual foi realizada em nitrato de amônio (34% de N).

A semeadura das culturas do milho, *U. ruziziensis* e *C. spectabilis* foram realizadas em 11 de março de 2016 e o trigo em 27 de abril de 2016. O milho (híbrido AG 9010 YG) foi semeado em espaçamento entre linhas de 0,90 m e 6 sementes m^{-1}, obtendo-se 65 mil plantas ha^{-1}. A braquiária, a crotalária e o trigo (cultivar BRS Gralha Azul) foram semeados em espaçamento de 0,17 m, com 50, 40 e 60 sementes m^{-1}, respectivamente. A adubação de base para o milho e o trigo foi de 260 e 300 kg ha^{-1}, respectivamente, de fertilizante NPK 08-28-16. No trigo não foi utilizada adubação nitrogenada de cobertura, bem como não foi realizada fertilização de base ou cobertura na braquiária e na crotalária.

A fonte utilizada para o fornecimento de N foi a ureia (45% N) em cobertura no milho segunda safra, aplicada quando a cultura apresentava-se com seis folhas expandidas. No tratamento pousio, houve emergência espontânea de algumas plantas daninhas, principalmente buva (*Conyza* spp.) e capim-amargoso (*Digitaria insularis*), em densidade inferior a 2 plantas m^2. A colheita do milho e do trigo foi realizada no dia 15 de setembro de 2016. A área foi dessecada com glyphosate (1.080 g e.a. ha^{-1}) no dia 3 de outubro de 2016.

A soja, cultivar indeterminada BRS 1010 IPRO, que apresenta grau de maturidade 6.1, foi semeada no dia 16 outubro de 2016, em espaçamento de 0,45 m e na densidade de 16 sementes viáveis m^{-1}. As sementes foram tratadas com Standak Top® (1 mL kg^{-1} de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5® contendo *Bradyrhizobium elkaniibr* (2 mL kg^{-1} de sementes). Foram utilizados 350 kg ha^{-1} do adubo formulado 00-20-20.

As amostragens de solo foram realizadas de abril de 2016 até meados de fevereiro de 2017, totalizando 26 coletas. As primeiras 16 coletas foram realizadas antes da semeadura da soja, portanto consideraram apenas as parcelas, com as culturas de entressafra. As 10 coletas posteriores, realizadas durante o ciclo da soja, foram feitas nas subparcelas, considerando os dois níveis de adubação nitrogenada na soja.

No momento da coleta de solo, o material orgânico presente na superfície foi retirado manualmente. A amostragem foi realizada na camada de 0,0-0,1 m, com trado calador na área útil de cada subparcela, obtendo-se uma amostra composta, com aproximadamente 0,5 kg, oriunda de cinco sub amostras coletadas nas entrelinhas. Os teores de nitrato e amônio foram determinados por meio de extração com sulfato de potássio (0,5 mol L^{-1}) e por colorimetria em espectrofotômetro (SEARLE, 1984), modelo Lambda-25 UV-Vis. Os teores de nitrato respondem na faixa de 220 nm e de 275 nm, enquanto que os de amônio na faixa de 697 nm (SEARLE, 1984).

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste F ($p \leq 0,05$) e, quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas por teste de Tukey, separadamente em cada coleta ($p \leq 0,05$).

Resultados e Discussão

Durante o período de entressafra, das 16 coletas realizadas, houve diferença no teor de nitrato entre os tratamentos em 5 coletas (Tabela 1). Na coleta de 19/05, o milho com nitrogênio apresentou teor superior de nitrato em relação à braquiária. No entanto, na coleta de 14/06 o teor de nitrato foi maior no milho com N, comparativamente ao pousio e ao trigo. Nas coletas realizadas em 11/08 e 24/08, constataram-se maiores teores de nitrato no solo no milho com N em relação ao trigo e à braquiária. Já, na coleta de 26/09 o milho com N obteve maior teor de nitrato em relação ao pousio e ao trigo.

Em relação aos teores de amônio no solo, das 16 coletas realizadas na entressafra,

contatou-se diferença entre os tratamentos em apenas uma coleta, realizada em 19/05. Nesta, o teor de amônio foi maior no milho adubado com N quando comparado ao pousio, trigo e braquiária.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se inferir que o efeito dos tratamentos de entressafra foi mais acentuado nos teores de nitrato do que nos teores de amônio, sendo que a adubação com 80 kg de N ha^{-1} no milho segunda safra teve incremento positivo nos teores de nitrato até o final de setembro, aproximadamente cinco meses após a adubação nitrogenada de cobertura e há menos de um mês da semeadura da soja em sucessão. De modo geral, o trigo e a braquiária apresentaram menores teores de nitrato no solo na entressafra, provavelmente em razão da absorção desse nutriente pelas plantas. Além disso, os menores teores de nitrato na braquiária, ao longo das coletas, podem ser justificados pela capacidade da planta em sintetizar inibidor biológico da nitrificação, denominado de brachialactone. Segundo Subbarao *et al.* (2015), a brachialactone age inibindo a atividade das enzimas nitrificadoras, que são responsáveis por transformar o amônio em nitrato no solo. Adicionalmente, a leguminosa utilizada no experimento (*Crotalaria spectabilis*) teve pouco impacto sobre os teores de N inorgânico no solo. Provavelmente isso ocorreu porque em junho de 2016 ocorreu forte geada na área experimental, provocando a morte das plantas dessa espécie.

Tabela 1. Teores de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) e amônio ($N\text{-}NH_4^+$) na camada de 0,0-0,10 m de solo, em 16 coletas, realizadas de abril de 2016 a outubro de 2016, em função de seis culturas de entressafra da soja. Londrina, PR, 2016/17.

	Datas de coleta															
	19/04	02/05	19/05	01/06	14/06	27/06	08/07	19/07	01/08	11/08	24/08	05/09	15/09	26/09	06/10	16/10
	Nitrato - NO_3^- (mg kg^{-1})															
Pousio	16,5	19,6	8,6ab	9,9	11,9b	10,3	12,4	13,0	9,6	6,3ab	5,4ab	12,1	13,8	15,5b	13,2	8,9
Milho SN	13,2	19,6	8,6ab	9,8	15,0ab	12,3	10,7	12,8	11,8	8,8a	6,5ab	15,6	15,6	15,6ab	14,9	11,3
Milho CN	20,1	24,1	13,8a	11,5	22,1a	13,4	20,0	13,2	15,9	10,2a	6,9a	18,5	19,7	20,8a	17,6	10,9
Trigo	17,6	25,2	10,9ab	9,3	12,9b	9,6	8,7	9,4	8,3	2,1b	2,8b	13,8	14,5	15,2b	12,3	10,4
Braquiária	13,9	17,4	7,4b	7,4	14,8ab	11,2	12,3	10,6	11,0	2,8b	2,7b	15,8	16,3	16,7ab	15,6	12,3
Crotalária	12,2	18,4	9,2ab	9,8	15,0ab	13,3	14,0	13,4	12,0	7,7ab	6,7ab	18,1	16,9	15,8ab	14,7	11,2
C.V.(%)	35,4	16,6	31,3	20,0	26,3	29,4	42,7	21,7	38,6	47,5	39,5	50,6	23,8	16,1	19,4	25,9
	Amônio - NH_4^+ (mg kg^{-1})															
Pousio	13,6	12,6	3,2b	2,7	11,7	5,6	4,0	3,7	5,5	1,8	1,8	2,0	8,0	3,7	14,3	19,1
Milho SN	10,2	11,9	3,4ab	2,7	11,0	3,1	3,5	3,3	5,3	1,5	1,2	1,6	9,0	3,9	16,1	27,0
Milho CN	16,1	18,1	4,2a	6,1	5,5	4,0	8,6	6,5	6,8	1,6	1,7	1,9	8,4	4,1	10,8	24,2
Trigo	11,3	15,4	3,1b	2,5	9,1	6,3	6,6	6,1	9,3	1,6	1,7	1,9	9,0	3,9	13,9	19,0
Braquiária	12,9	11,5	3,0b	3,1	9,7	5,3	8,2	4,3	8,0	1,5	1,3	1,8	10,0	4,1	20,2	23,4
Crotalária	12,8	13,4	3,9ab	2,7	9,6	4,4	7,6	6,0	5,1	2,0	1,5	1,7	8,8	4,1	21,6	18,9
C.V.(%)	31,0	32,6	14,0	67,6	47,2	70,7	53,9	72,3	39,6	28,8	44,2	39,0	18,3	14,8	55,1	35,3

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns=não significativo. SN=sem nitrogênio. CN=com 80 kg de nitrogênio ha^{-1}.

No período de entressafra da soja, observou-se que os menores teores de nitrato e amônio no solo ocorreram quando houve associação de baixas temperaturas do ar com alta precipitação (Tabela 1 e Figura 1). Isso pode ser constatado nas coletas realizadas em 19/05, 01/06, 17/08 e 24/08. Possivelmente isso ocorreu porque as baixas temperaturas reduziram o processo de mineralização e as precipitações ocorridas podem ter movido o nitrato da camada superficial avaliada (0,0-0,1 m) para camadas subsuperficiais do solo. Solos corrigidos possuem coloides com cargas predominantemente negativas, que repulsam as cargas aniônicas (CRUSCIOL *et al.*, 2011), favorecendo a percolação e o movimento descendente do nitrato. Nesse contexto, a associação de baixas temperaturas com alta precipitação pode reduzir o teor de nitrato no solo (ROSOLEM *et al.*, 2003; DARYANTO *et al.*, 2018).

Durante o ciclo da soja, nas 10 coletas realizadas, não houve efeito da interação entre os tratamentos de entressafra e a adubação nitrogenada na soja sobre os teores de nitrato e amônio no solo, apesar das culturas de entressafra produzirem quantidades distintas de palha, com diferentes características químicas (YOKOYAMA *et al.*, 2018). Na média das cinco repetições o milho sem e com adubação nitrogenada produziu 2,5 e 2,8 t ha^{-1} de palha, enquanto o trigo, a braquiária e a crotalária produziram 4,7; 3,5 e 0,3 t ha^{-1} de palha, respectivamente.

Os tratamentos de entressafra não influenciaram os teores de nitrato e amônio no solo durante o cultivo da soja em sucessão (Tabela 2). Assim, para esse trabalho não confirmou-se a hipótese de que a decomposição da palha de espécies de gramíneas, como milho, trigo e braquiária reduzem os teores de N inorgânico em relação ao pousio ou com cultivo de crotalária. Em trabalho desenvolvido por Moro *et al.* (2013) também constatou-se que o cultivo de *Crotalaria spectabilis* não proporcionou aumento nos teores de nitrato e amônio no solo até 0,2 m de profundidade, em relação ao cultivo de quatro espécies de braquiária (*Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha*, *U. humidicola* e *U. decumbens*).

Tabela 2. Teores de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) e amônio ($N\text{-}NH_4^+$) na camada de 0,0-0,10 m de solo, em 10 coletas, realizadas de outubro de 2016 a fevereiro de 2017, em função de seis culturas de entressafra da soja e adubação nitrogenada mineral na soja. Londrina, PR, 2016/17.

	Datas de coleta e estádios de desenvolvimento da soja									
	28/10 (V1)	08/11 (V3)	21/11 (R1)	02/12 (R3)	13/12 (R4)	23/12 (R5.1)	03/01 (R5.3)	20/01 (R5.4)	30/01 (R6)	15/02 (R7)
Nitrato - NO_3^- (mg kg^{-1})										
Pousio	14,4	15,4	13,7	15,4	14,2	15,3	19,9	17,9	11,4	12,9
Milho SN	13,8	16,9	8,5	17,4	16,2	19,4	18,9	17,0	11,4	15,6
Milho CN	13,6	17,7	7,4	17,7	16,4	22,9	19,3	23,3	11,9	14,4
Trigo	17,1	14,3	11,9	15,3	16,5	17,1	19,2	20,1	10,6	11,9
Braquiária	13,9	16,9	11,5	19,2	14,7	18,5	18,1	15,7	12,5	13,9
Crotalária	17,0	16,9	6,8	18,2	16,7	20,2	18,9	16,0	11,7	12,5
C.V.(%)	41	17	85	17	15	31	22	35	18	17
Soja SN	13,5b	15,3b	8,2b	16,6	16,0	19,5	19,2	20,0	11,7	13,8
Soja CN	16,4a	17,3a	11,8a	17,8	15,6	18,3	18,9	16,7	11,4	13,3
C.V.(%)	45	15	67	16	20	43	17	34	13	18
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Amônio - NH_4^+ (mg kg^{-1})										
Pousio	15,6	5,6	25,7	3,1	2,5	5,1	7,4	11,6	6,8	3,9
Milho SN	12,7	5,4	27,1	4,7	3,2	4,4	7,0	6,2	6,4	4,5
Milho CN	8,4	2,8	22,9	4,6	2,6	3,6	7,8	6,3	6,7	4,1
Trigo	5,8	6,4	25,6	4,4	4,2	4,7	6,9	6,1	5,9	4,0
Braquiária	10,3	12,1	20,1	4,4	8,0	4,8	6,5	9,9	6,1	5,1
Crotalária	14,2	11,1	23,9	2,6	2,6	5,5	6,5	8,0	6,5	3,9
C.V.(%)	95	104	34	63	128	73	19	80	27	37
Soja SN	13,2	6,6	25,5	4,2	3,9	5,0	6,9	8,8	6,1	4,4
Soja CN	9,2	7,9	22,9	3,7	3,8	4,4	7,1	7,2	6,7	4,1
C.V.(%)	70	82	28	50	59	62	24	43	27	47
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ns=não significativo. SN=sem nitrogênio. CN=com 80 kg de nitrogênio ha^{-1} em cobertura no milho ou com 30 kg de N ha^{-1} na semeadura da soja.

A adubação na implantação da soja com 30 kg de N ha^{-1} aumentou os teores de nitrato no solo nas três coletas realizadas após a semeadura da cultura, período que transcorre da emergência ao início de florescimento da cultura. Após o dia 02/12, a adubação nitrogenada na soja não influenciou os teores de nitrato no solo. Por outro lado, os teores de amônio não foram influenciados pela adubação nitrogenada na soja. Na presente pesquisa, as culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na soja não influenciaram a produtividade de grãos - média de 4,4 t ha^{-1} (YOKOYAMA *et al.*, 2018). Isso demonstra que o aumento no teor de nitrato no início do ciclo, proporcionado pela adubação nitrogenada, não impacta na produtividade da soja, corroborando vários resultados de pesquisa (FRANCHINI *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016; WERNER *et al.*, 2016; SATURNO *et al.*, 2017; MOURTZINIS *et al.*, 2018).

Durante o ciclo da soja, as temperaturas mínimas e máximas médias diárias variaram de 17 a 31 ^{o}C, sem ocorrência de déficit hídrico (Figura 1). Nesse período, os teores de nitrato no solo não variaram acentuadamente entre as 10 coletas realizadas (Tabela 2). No entanto, os teores de amônio variaram expressivamente entre as coletas durante o ciclo da soja. Por exemplo, a média de teor de amônio caiu de 24,2 mg kg^{-1} na coleta realizada em 21/11 para apenas 4,0 mg kg^{-1} em 02/12. Isso demonstra a grande variação temporal do teor de amônio no solo.

De forma geral, considerando a entressafra e a safra da soja os teores de nitrato e amônio no solo variaram expressivamente no tempo. O grande número de reações do N no solo e a predominância da forma nítrica (AULAKH *et al.*, 2000) fazem com que os valores de N mineral no solo variem amplamente, mesmo no período de poucos dias (MORO *et al.*, 2013), o que dificulta a utilização de análises laboratoriais de rotina para estimar sua disponibilidade às culturas (ERNANI *et al.*, 2002). Além disso, é necessário considerar a grande variabilidade espacial dos teores de nitrato e amônio no solo, que podem variar consideravelmente em curtas distâncias (ROSOLEM *et al.*, 2003).

CONCLUSÕES

O milho safrinha adubado com 80 kg de N ha^{-1} apresentou maior teor de nitrato no solo durante a entressafra, no entanto houve pouca variação nos teores de amônio entre os tratamentos.

As culturas de entressafra não influenciaram os teores de nitrato e amônio no solo durante a soja em sucessão.

Na fase vegetativa da soja, os teores de nitrato no solo foram superiores quando a soja foi adubada com 30 kg de N ha^{-1}, em relação à ausência de adubação, mas na fase reprodutiva essa diferença não ocorreu.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa de mestrado para Anderson Hideo Yokoyama e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora 1D para Alvadi Antonio Balbinot Junior.

REFERÊNCIAS

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K.; SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.5, p.1867-1876, 2000. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2000.6451867x

BOHRER, T.R.J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.6, p. 937-952, 1998.

CARVALHO, W.P.; CARVALHO, G.J.; NETO, D.O.A.; TEIXEIRA, L.G.V. Desempenho agronômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.2, p.157-166, 2013. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D.; GALDINO, J.; BORROZINO, E.; PUGSLEY, L. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD- ROM.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos. Acesso em: 04 jan. 2019.

CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A.; ROSOLEM, C.A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6 p.1975-1984, 2011.

http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600014

DARYANTO, S.; WANG, L.; GILHOOLY, W.P.; JACINTHE, P.A. Nitrogen preference across generations under changing ammonium nitrate ratios**. Journal of Plant Ecology**, p.014, 2018. https://doi.org/10.1093/jpe/rty014

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; BETIOLI JUNIOR, E.; NUNES, E.S.; FURLANETTO, R.H.; MENDES, M.R.P. **Alternativas para diversificação de sistemas de produção envolvendo a soja no norte do Paraná**. Londrina: Embrapa, 2017.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação da ureia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.993-1000, 2002. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400017

FERREIRA, A.S.; BALBINOT JUNIOR, A.A. ; WERNER, F.; ZUCARELI, C.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H. Plant density and mineral nitrogen fertilization influencing yield, yield components and concentration of oil and protein in soybean grains. **Bragantia**, v.75, n.3, p.1, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.479

FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.12, p.1131-1138, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200002

HUNGRIA, M.; CAMPO, J.R.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA, 2001. 48 p.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N2 fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, n.4, p.927-939, 2006. https://doi.org/10.4141/P05-098

LAMMEL, D.R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; CERRI, C.E.P.; LOUIS, S.; SCHNITZLER, J.; FEIGL, B.J.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022

MORAES, P.V.D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L.; OLIVEIRA, C.E.; VIGNOLO, G.K.; MARKUS, C. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.2, p.497-508, 2013. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582009000200011

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.4, p.424-435, 2013.

MOURTZINIS, S.; KAUR, G.; ORLOWSKI, J.M.; SHAPIRO, C.A.; LEE, C.D.; WORTMANN, C.; HOLSHOUSER, D.; NAFZIGER, E.D.; KANDEL, H.; NIEKAMP, J.; ROSS, W.J.; LOFTON, J.; VONK, J.; ROOZEBOOM, K.L.; THELEN, K.D.; LINDSEY, L.E.; STATON, M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N.; WIEBOLD, W.J.; CONLEY, S.P. Soybean response to nitrogen application across the United States: A synthesis-analysis. **Field Crops Research**, v.215, p.74-82, 2018. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.035

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

SATURNO, D.F.; CEREZINI, P.; SILVA, P.M.; OLIVEIRA, A.B.; OLIVEIRA, M.C.N.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Mineral nitrogen impairs the biological nitrogen fixation in soybean of determinate and indeterminate growth types. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, n.12, p.1690-1710, 2017. https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1310890

SEARLE, P.L. The Berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen.

Analyst, v.109, p.549–568, 1984. https://doi.org/10.1039/AN9840900549

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas do solo, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SINCLAIR, T.R.; FARIAS, J.R.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. **Field Crops Research**, v.81, n.2-3, p.149-158, 2003. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00221-6

SUBBARAO, G.V.; YOSHIHASHI, T.; WORTHINGTON, M.; NAKAHARA, K.; ANDO, Y.; SAHRAWAT, K.L.; RAO, I.M.; LATA, J.C.; KISHI, M.; BRAUN, H.J. Suppression of soil nitrification by plants. **Plant Science**, v.233, p.155-164, 2015. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.01.012

WERNER, F.; BALBINOT JR., A.A.; FERREIRA, A.S.; AGUIAR E SILVA, M.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n.8, p.734-738, 2016. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p734-738

YOKOYAMA, A.H.; RIBEIRO, R.H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.953-962, 2018. http://dx.doi.org/10.19084/RCA18153