

Valorização agrícola de lamas de ETAR – disponibilidade de azoto

Agricultural valorization of sewage sludge – nitrogen availability

Cristina Sempiterno*, Rui Fernandes e Luisa Peixoto

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. Unidade Estratégia de Investigação e Serviços de Sistemas Agrários e Florestais e Sanidade Vegetal. Tapada da Ajuda, Apartado 3228 1301-903 Lisboa, Portugal

(*E-mail: cristina.sempiterno@iniav.pt)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17081>

Recebido/received: 2017.03.30

Recebido em versão revista/received in revised version: 2017.05.04

Aceite/accepted: 2017.05.04

R E S U M O

Com o objetivo de determinar a disponibilidade de azoto para as culturas, veiculado através da aplicação ao solo de lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs), realizou-se um ensaio em ambiente controlado, utilizando o milho (*Zea mays* L.) como planta teste. O ensaio foi delineado em blocos completos casualizados, com três repetições e treze tratamentos experimentais: um tratamento testemunha, sem aplicação de azoto; quatro tratamentos com níveis crescentes de azoto veiculados por uma lama de ETAR; quatro tratamentos com níveis crescentes de azoto veiculados por nitrato de amónio; quatro tratamentos com os mesmos níveis crescentes de azoto veiculados pela mistura de lama e nitrato de amónio.

Nos tratamentos experimentais em que apenas foi aplicada lama ocorreu um aumento significativo ($p=0,05$) na produção de biomassa, até à aplicação de uma quantidade equivalente a 60 t ha^{-1} .

A aplicação conjunta de azoto na forma mineral e de lama provou ser uma técnica viável para suprir as necessidades em azoto das culturas, tendo conduzido às produções mais elevadas da parte aérea da planta teste e a maiores quantidades de azoto removidas por esta. A recuperação de azoto pela mistura de lama e nitrato de amónio foi estatisticamente superior ($p=0,05$) à observada quando se aplicou somente lama e à que ocorreu nos níveis mais elevados de nitrato de amónio.

Palavras-chave: azoto, disponibilidade, lama de depuração, recuperação, remoção.

A B S T R A C T

With the aim to study nitrogen availability from sewage sludge, a pot trial was installed under greenhouse conditions, using maize (*Zea mays* L.) as plant test. The experimental design was a completely randomized blocks with three replications and thirteen experimental treatments: control; four levels of N from sludge; four levels of N from a salt (NH_4NO_3) and four levels of N resulted of the sludge and salt mixture in equal quantities. Increasing amounts of sludge gave significantly increased yields ($p=0.05$) causing the larger response to the equivalent application level of 60 t ha^{-1} .

The combined application of nitrogen in the mineral and sludge form proved to be a viable technique to supply the nitrogen needs of the crops, and led to the higher yields of the aerial part of the plant test and to larger amounts of removed nitrogen.

The nitrogen recovery from the mixture of sludge and ammonium nitrate was statistically higher than the observed quantities when only sludge was applied and at the highest application level of ammonium nitrate.

Keywords: nitrogen availability, sewage sludge, recovery, remove

INTRODUÇÃO

É prática corrente, quer a nível mundial, quer nacional, o recurso à valorização de diversos resíduos orgânicos através da sua aplicação ao solo, procurando um destino final ambientalmente adequado e economicamente viável.

As lamas de depuração, subproduto resultante do tratamento de águas residuais, são usadas na agricultura como corretivos orgânicos aumentando o teor de matéria orgânica do solo e contribuindo, assim, para um aumento da capacidade de retenção de água e nutrientes em solos de textura mais arenosa, bem como o arejamento e a permeabilidade de solos de textura mais fina.

Além da função descrita, as lamas também podem ser usadas como fornecedoras de nutrientes para as culturas. Com efeito, vários são os autores que referem que o uso controlado deste subproduto na agricultura, apresentando teores consideráveis em nutrientes tais como azoto, fósforo e cálcio, podem conduzir a uma economia nas necessidades de adubação química para satisfazer as exigências nutritivas das culturas (Hernandez *et al.*, 1991; Soveral-Dias, 2004; Singh *et al.*, 2011; Singh e Agrawal, 2008; Joo *et al.*, 2015).

Os teores dos nutrientes presentes nas lamas variam muito, consoante o tipo de tratamento aplicado na fase líquida e o processo de estabilização aplicado durante o seu tratamento. Também a proporção entre as diferentes formas de azoto varia bastante com os processos de tratamento. Regra geral, as lamas digeridas apresentam uma proporção de azoto orgânico facilmente mineralizável superior às lamas submetidas a tratamentos mais intensos e duradouros de estabilização, como é o caso dos longos períodos de retenção em leitos de secagem e em estruturas de compostagem (Sousa, 2005).

O azoto contido nas lamas de depuração encontra-se na forma orgânica e sob a forma mineral, pelo que a passagem do N para a solução do solo é mais lenta do que acontece quando se aplica um adubo mineral de solubilização mais rápida. Assim, a quantidade de azoto disponibilizada pela lama para as culturas dependerá da quantidade de azoto amoniacal fornecida ao solo e da quantidade

de azoto orgânico mineralizável durante o ciclo vegetativo das culturas (Soveral-Dias, 2004).

Embora a constituição quase totalmente orgânica destes materiais beneficie o solo em termos físicos, químicos e biológicos, a sua contribuição como fornecedor de azoto é menos eficiente que o adubo mineral, obrigando a que se avalie a sua intensidade de modo a prover corretamente as necessidades das culturas. Com efeito, é necessário conhecer o valor fertilizante destes materiais para que possam vir a substituir em parte o uso de adubos inorgânicos.

No presente trabalho procurou medir-se o azoto disponibilizado por uma lama, da ETAR de Beirolas, através da resposta da produção e da quantidade de azoto removida e recuperada pelo milho, comparando os resultados obtidos com os provenientes da aplicação de azoto na forma de um adubo mineral (nitrato de amónio), como convencionalmente se pratica em agricultura. Comparou-se ainda com os resultados da aplicação de azoto proveniente, em partes iguais, da mistura de lama com o citado adubo.

MATERIAL E MÉTODOS

Tendo em vista o objetivo do estudo, estabeleceu-se um ensaio em vasos, delineado em blocos completos casualizados com três repetições, tendo sido considerados treze tratamentos experimentais (T1 a T13): Um tratamento testemunha, sem aplicação de azoto, quer através da lama quer de nitrato de amónio, quatro tratamentos com níveis crescentes de lama (T2 a T5, correspondendo respetivamente a valores equivalentes a 15, 30, 60 e 90 t ha⁻¹), quatro tratamentos com níveis crescentes de nitrato de amónio, com um grau de pureza *pro analyse* (T6 a T9) fornecendo a mesma quantidade de azoto total e, por fim, quatro tratamentos constituídos por níveis crescentes de azoto veiculados, em partes iguais, pela mistura de lama e nitrato de amónio (Quadro 1).

O ensaio decorreu sob ambiente controlado no Horto Químico Agrícola Boaventura de Azevedo, utilizando vasos de polietileno branco preenchidos com 4,5 kg de terra.

Quadro 1 - Tratamentos experimentais: doses de azoto veiculadas pela lama (L) e pelo nitrato de amónio (NA)

Tratamentos experimentais	Nível de N	N veiculado pelo L (g /vaso)	N veiculado pelo NH ₄ NO ₃ (g /vaso)	N total fornecido (g /vaso)
T1	0	0	0	0
T2	1 L	0,287	0	0,287
T3	2 L	0,574	0	0,574
T4	4 L	1,149	0	1,149
T5	6 L	1,723	0	1,723
T6	1 NA	0	0,287	0,287
T7	2 NA	0	0,574	0,574
T8	4 NA	0	1,149	1,149
T9	6 NA	0	1,723	1,723
T10	1/2 L+ 1/2NA	0,144	0,144	0,287
T11	1L + 1 NA	0,287	0,287	0,574
T12	2L + 2NA	0,574	0,574	1,149
T13	3L + 3NA	0,862	0,862	1,723

Foi utilizada no ensaio terra retirada da camada 0 a 0,20 m de um *Arenossolo districo* (ARdy) (39°13'00"N, 08°33'20"W) segundo a classificação de IUSS Working Group WRB (2015). A macro amostra de terra foi crivada por crivo de malha de 10 mm, para o ensaio em vasos e 2 mm para a análise química, cujos resultados se apresentam no Quadro 2.

Trata-se de um solo de textura arenosa, muito pobre em matéria orgânica e em nutrientes, ácido e de muito baixa capacidade de troca catiónica sendo, por isso, um tipo de solo adequado à realização de ensaios em vaso em que se pretende obter resultados da aplicação de fertilizantes evidentes e num curto período de tempo.

Os teores de metais pesados determinados são inferiores aos limites máximos estabelecidos para o solo, segundo o estabelecido no DL n.º 276/2009, de 2 de outubro, que estabelece as normas de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas (MAOTDR, 2009) permitindo, assim, a incorporação deste tipo de produtos.

Quadro 2 - Características físico-químicas da macroamostra de terra utilizada no ensaio

Parâmetros			Parâmetros		
Areia	(%)	92,3	Acidez de troca	(cmol(+) kg ⁻¹)	1,1
Limo	(%)	4,9	SBT	(cmol(+) kg ⁻¹)	0,58
Argila	(%)	2,9	CTC	(cmol(+) kg ⁻¹)	1,68
Classificação textural		Arenosa	GSB	(%)	34,7
pH _{H2O}		5,4	Fe ext.	(mg kg ⁻¹)	8
Nec. Cal	(t CaCO ₃ ha ⁻¹)	2	Mn ext.	(mg kg ⁻¹)	<2,5
N total	(g kg ⁻¹)	0,25	Zn ext.	(mg kg ⁻¹)	<0,10
CE	(mS cm ⁻¹)	0,01	Cu ext.	(mg kg ⁻¹)	2,7
MO	(g kg ⁻¹)	3,5	B ext.	(mg kg ⁻¹)	<0,20
P ext.	(mg kg ⁻¹)	<23	Cd "total"	(mg kg ⁻¹)	<0,05
K ext.	(mg kg ⁻¹)	<24	Cu "total"	(mg kg ⁻¹)	14,6
Mg ext	(mg kg ⁻¹)	17	Ni "total"	(mg kg ⁻¹)	1,8
Bases de troca			Pb "total"	(mg kg ⁻¹)	2,8
Ca	(cmol(+) kg ⁻¹)	0,41	Zn "total"	(mg kg ⁻¹)	3,6
Mg	(cmol(+) kg ⁻¹)	0,14	Hg "total"	(mg kg ⁻¹)	0,006
K	(cmol(+) kg ⁻¹)	0,03	Cr "total"	(mg kg ⁻¹)	1,9
Na	(cmol(+) kg ⁻¹)	0,01	MV _{ap}	(g cm ⁻³)	1,65

Nec. Cal - necessidade de cal; CE - condutividade elétrica; MO - matéria orgânica; ext. - extraível; SBT - soma das bases de troca; CTC - capacidade de troca catiónica; GSB - grau de saturação de bases; MV_{ap} - massa volúmica aparente.

A lama utilizada era proveniente da ETAR de Beírolas, que trata efluentes urbanos e industriais. A sua composição foi determinada no INIAV e é apresentada no Quadro 3.

Para evitar a ocorrência de outros fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura, antes da sementeira foi efetuada uma fertilização mineral de base, em todos os vasos, veiculando os nutrientes P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu e B. A aplicação de azoto nos tratamentos experimentais T6 a T13, na forma de nitrato de amónio, foi fracionada em três aplicações, espaçadas de duas a três semanas entre elas. A lama e as soluções nutritivas foram cuidadosamente incorporadas e homogeneizadas com a terra, nas quantidades previstas para cada tratamento experimental.

A sementeira foi realizada em maio de 2016, tendo sido colocadas oito sementes de milho (*Zea mays* L.) por vaso, dispostas em círculo, à profundidade de aproximadamente 2 cm. Na fase de duas folhas, realizou-se o desbaste para quatro plantas por vaso. Durante o ensaio, a terra foi mantida a 70% da capacidade máxima de retenção de água.

Nas análises efetuadas nas matrizes solo e material vegetal recorreu-se aos métodos laboratoriais utilizados no INIAV – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (INIAV, I.P., 2016).

As análises efetuadas à lama regeram-se pelos parâmetros e normas de referência estipulados no DL n.º 276/2009 (MAOTDR, 2009).

Na análise estatística dos dados experimentais recorreu-se à análise de variância (ANOVA tipo II) para avaliação do efeito dos diferentes tratamentos experimentais sobre as diversas variáveis controladas, ao teste múltiplo de comparação de médias, método de *Duncan* ($p=0,05$), para comparação *a posteriori* das médias correspondentes às modalidades experimentais e à análise de regressão para avaliar a resposta da produção de biomassa à aplicação de quantidades crescentes de azoto veiculado pela lama e pelo nitrato de amónio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de biomassa

O corte da biomassa do milho foi realizado 45 dias após a sementeira, tendo-se obtido os valores relativos à produção média de biomassa da parte aérea e da raiz, por tratamento experimental, apresentados no Quadro 4.

Verificou-se que os tratamentos experimentais tiveram um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) na produção de biomassa, quer da parte aérea, quer da raiz da cultura.

Quadro 3 - Caracterização da lama desidratada, da ETAR de Beírolas, utilizada no ensaio

Parâmetros			Parâmetros		
MS	(%)	19	Ni	(mg kg ⁻¹)	43
pH _{H2O}		12	Zn	(mg kg ⁻¹)	680
CE	(mS cm ⁻¹)	2,0	Cr	(mg kg ⁻¹)	18,5
MO	(%)	64,4	Pb	(mg kg ⁻¹)	20,6
N total	(%)	7,39	Cd	(mg kg ⁻¹)	2,8
P	(mg kg ⁻¹)	15590	Cu	(mg kg ⁻¹)	157
K	(mg kg ⁻¹)	1909	Hg	(mg kg ⁻¹)	1
Ca	(mg kg ⁻¹)	87336	C/N		4,8
Mg	(mg kg ⁻¹)	3558	<i>E. coli</i>	(células/g de MF)	<1000
Na	(mg kg ⁻¹)	1200	<i>Salmonella</i> spp.	(células/g de MF)	ausente

Valores referidos à matéria seca (MS), com exceção do pH, CE e *E. coli* e *Salmonella*.

Quadro 4 - Produção média de biomassa, por tratamento experimental

Tratamentos experimentais		Produção de biomassa (MS g vaso ⁻¹)	
		Parte aérea	Raiz
Ø	T1	2,3h	3,0f
Lama	T2	12,2f	11,1d
	T3	20,8d	16,0c
	T4	26,0c	20,7b
	T5	26,8c	23,7a
Nitrato de amônio	T6	17,5e	10,7d
	T7	22,2d	10,9d
	T8	16,1e	6,0e
	T9	7,1g	3,0f
Lama e nitrato de amônio	T10	15,2e	11,0d
	T11	26,7c	16,0c
	T12	34,8b	17,0c
	T13	37,2a	15,6c
	sm (±)	0,808	0,738
	c.v. (%)	6,9	10,1

Valores seguidos de letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si $p=0,05$; sm – desvio padrão da média; c.v. - coeficiente de variação.

A produção mais baixa foi obtida no tratamento testemunha (T1) em que não foi aplicado azoto quer na forma mineral quer na forma orgânica.

Nos tratamentos experimentais em que apenas foi aplicada lama (T2 a T5), ocorreu um aumento significativo ($p=0,05$) da produção até à aplicação de quantidade equivalente a 60 t ha⁻¹ (T4), não diferindo do tratamento que recebeu a dose mais elevada (correspondente a 90 t ha⁻¹ – T5).

Nos tratamentos que receberam somente o azoto na forma mineral (T6 a T9), verificou-se um acréscimo de produção até à aplicação de 574 mg de N por vaso, o que equivale a cerca de 420 kg N.ha⁻¹ (T7). A partir desse nível verificou-se uma redução significativa na produção (T8 e T9), quer da parte aérea quer da raiz. De realçar, que no tratamento experimental com a dose mais elevada de nitrato de amônio (T9) observou-se, logo na fase inicial do desenvolvimento das plantas (duas a três folhas), uma murchidão e necrose da zona apical da folha mais jovem. Na fase de colheita observou-se um reduzido desenvolvimento radicular nas plantas

deste tratamento experimental, obtendo-se valores de biomassa seca idênticos ao verificado no tratamento em que as plantas não receberam azoto (T1).

Para os restantes tratamentos, nos quais foi aplicada a mistura de lama com nitrato de amônio (T10 a T13), o aumento da produção de biomassa acompanhou o aumento das quantidades de azoto, apresentando para a dose mais alta (T13) o resultado significativamente ($p=0,05$) mais elevado de produção de biomassa da parte aérea, revelando ser melhor solução a aplicação controlada de lama juntamente com uma fonte de azoto mineral.

O aumento do pH do solo induzido pela presença da lama (T1 $pH_{H_2O} = 4,9$; T5 $pH_{H_2O} = 7,3$ – valores registados após a colheita da cultura), associado ao fornecimento de azoto e outros nutrientes como o fósforo, cálcio, zinco e cobre, muito provavelmente, deverão ter sido os principais responsáveis pelo acréscimo de produção de biomassa verificado nos tratamentos com aplicação de lama.

Por outro lado, no caso do nitrato de amônio, supõe-se que o aumento da condutividade elétrica (T1: CE = 0,09 mS cm⁻¹; T9: CE = 0,7 mS cm⁻¹ – valores registados após a colheita da cultura), associado ao acréscimo dos teores em azoto amoniacal e nítrico no solo (T1: N-NH₄ = 2,3 mg kg⁻¹; N-NO₃ = 6,6 mg kg⁻¹; T9: N-NH₄ = 48,7 mg kg⁻¹; N-NO₃ = 475,7 mg kg⁻¹ – valores registados após a colheita da cultura), poderão ter sido os principais agentes de fitotoxicidade responsáveis pelo decréscimo significativo da produção nas doses mais altas.

Os resultados obtidos relativos à produção nos tratamentos T12 e T13 revelam, por um lado, o efeito inibitório de toxicidade que a lama produziu em relação ao excesso de azoto inorgânico veiculado pelo adubo mineral e, por outro, a melhoria de condições físicas e químicas propícias ao desenvolvimento da raiz, como normalmente ocorre com a aplicação de materiais orgânicos ao solo, com consequente aumento de absorção de azoto e de outros nutrientes, de que resultou um aumento de produção.

Para os valores médios de produção de biomassa da parte aérea ajustaram-se equações de regressão em função da quantidade de azoto aplicada nas diversas formas que se podem observar na Figura 1 e ajudam a demonstrar o atrás referido.

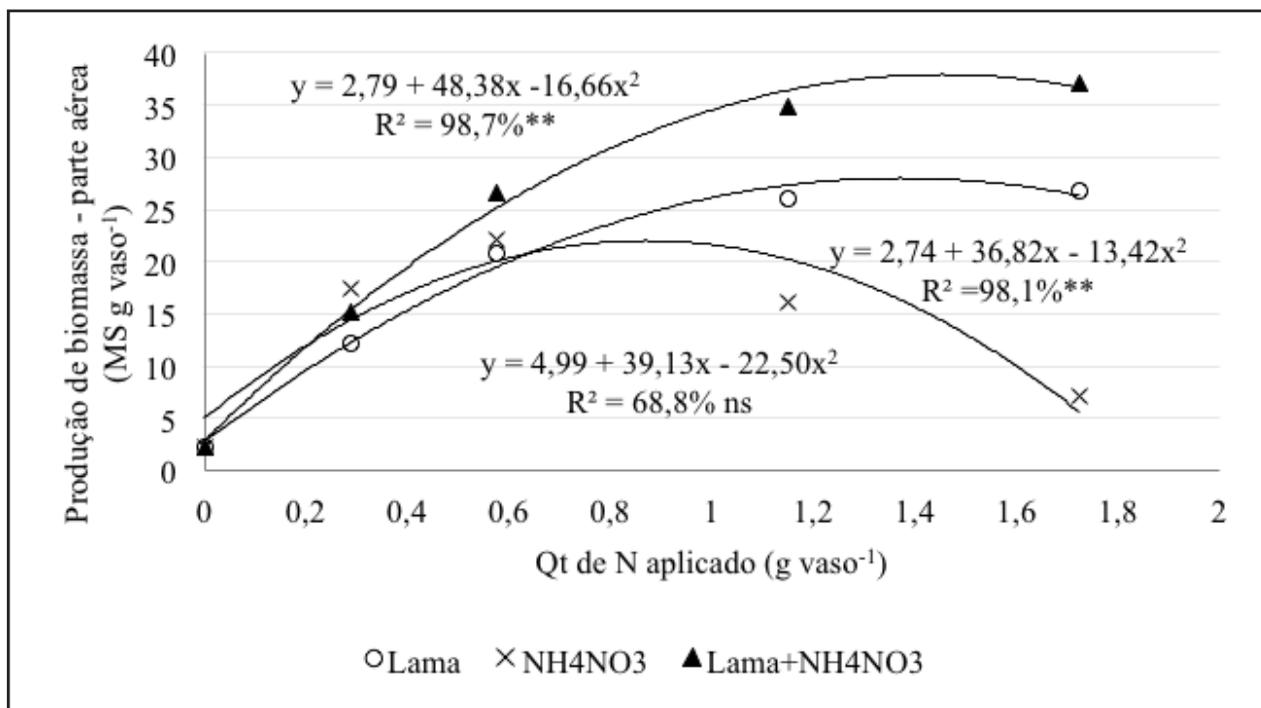


Figura 1 - Resposta da produção média de milho à aplicação de quantidades crescentes de azoto.

Teores de azoto no material vegetal

Embora o teor de azoto na planta, de modo geral, esteja abaixo da gama de valores de referência para a cultura (Jones *et al.*, 1991), foi possível detetar um acréscimo significativo ($p \leq 0,05$) nos teores deste nutriente nos tecidos vegetais com a aplicação de doses crescentes de N na forma de lama e/ou de nitrato de amónio. As diferenças observadas entre tratamentos experimentais devem-se, em parte, aos efeitos de concentração/diluição devidos a diferentes níveis de produção de biomassa, bem como à disponibilização de diferentes quantidades de azoto. Por esses motivos, o tratamento experimental que recebeu a dose máxima de nitrato de amónio (T9) atingiu, no material vegetal, valores de azoto já considerados elevados (>5%) (Figura 2).

Nas plantas do tratamento testemunha (T1) observaram-se alguns sintomas associados à deficiência de azoto, como seja aspeto clorótico e necrosado das folhas mais velhas e fraco desenvolvimento das plantas (Mengel e Kirkby, 2001). Por outro lado, nas plantas do tratamento T9, nível mais alto de nitrato de amónio, observaram-se logo

desde a fase inicial da cultura sintomas de fitotoxicidade pelo excesso do ião amónio.

Remoção e taxa de recuperação de azoto

Para todos os tratamentos experimentais, avaliou-se a remoção de azoto total (N rem) pelas plantas e a recuperação aparente de azoto (RAN), utilizando as fórmulas de cálculo propostas por Mengel e Kirkby (2001):

$$Nrem = \text{produção de biomassa da parte aérea} \times [N]_{\text{foliar}}$$

$$RAN = [(Nrem_{Tx} - Nrem_{Tt}) / N_{\text{aplicado}_{Tx}}] \times 100\%$$

onde:

$Nrem_{Tx}$ – N removido por cada um dos tratamentos experimentais;

$Nrem_{Tt}$ – N removido pelo tratamento testemunha.

Obtiveram-se os valores que figuram no Quadro 5.

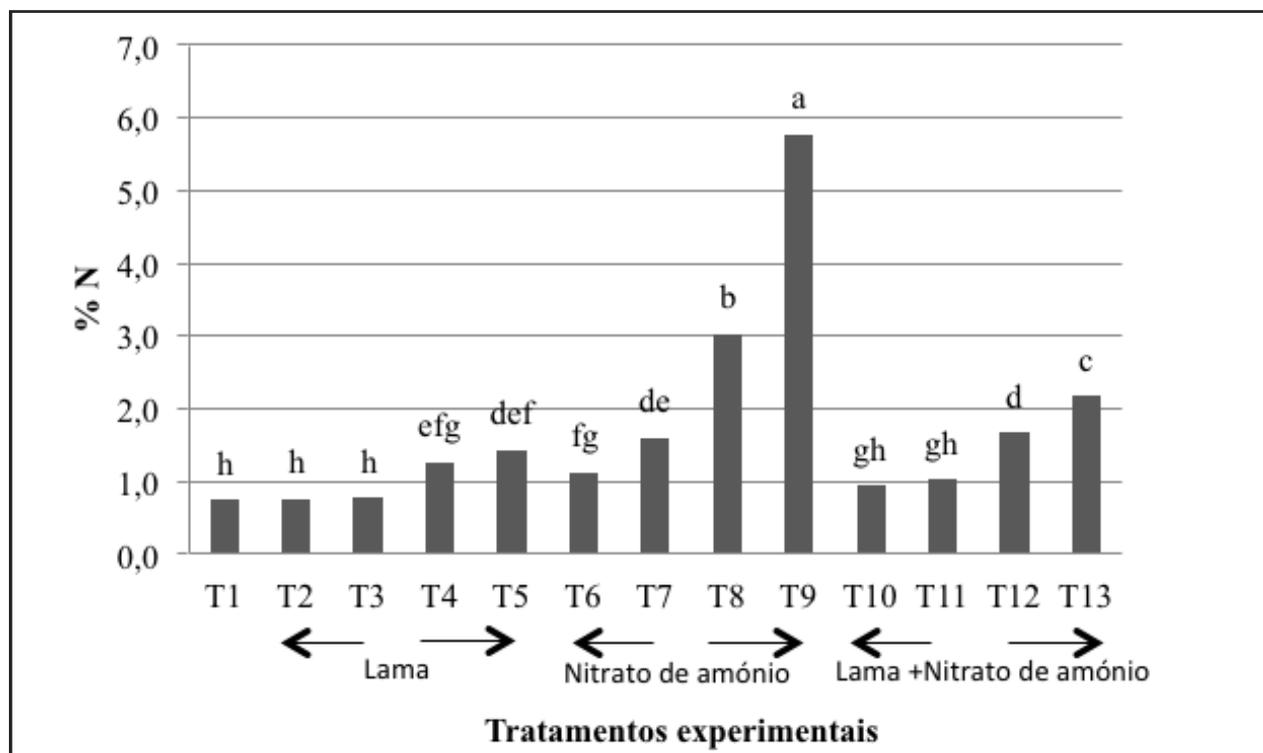


Figura 2 - Teores de azoto observados na parte aérea do milho.

Quadro 5 - Azoto removido (N rem) e recuperação aparente de azoto (RAN) pela cultura

Tratamentos experimentais		N adicionado (mg vaso ⁻¹)	Nrem (mg vaso ⁻¹)	RAN (%)
Ø	T1	0	18j	
Lama	T2	287	92i	26d
	T3	574	161gh	25d
	T4	1149	323ef	27d
	T5	1723	386d	21d
Nitrato de amónio	T6	287	196g	62a
	T7	574	358de	59a
	T8	1149	473c	40c
	T9	1723	406d	23d
Lama e nitrato de amónio	T10	287	143h	44bc
	T11	574	274f	45bc
	T12	1149	588b	50b
	T13	1723	811a	46b
	sm (±)		16,901	1,975
	c.v. (%)		9,0	8,8

Resultados expressos na matéria seca a 100-105°C; Sm – desvio padrão da média; c.v. – coeficiente de variação; Resultados experimentais, na coluna, seguidos de letras iguais não diferem significativamente entre si (p=0,05).

Verificou-se que foi nos tratamentos experimentais com o fornecimento de azoto nas doses mais elevadas, veiculado pela mistura de nitrato de amónio com a lama (T12 e T13), que foram removidas as maiores quantidades de azoto (588 e 811 mg vaso⁻¹) do solo pela cultura, apresentando valores significativamente superiores (p=0,05) aos dos outros tratamentos experimentais reflexo, em grande parte, da maior produção obtida nestes tratamentos.

Atendendo aos resultados apurados relativos à recuperação aparente de azoto, observa-se que, quando se utilizaram apenas doses crescentes de lama (T2 a T5) ocorreu um menor aproveitamento de azoto pelas plantas, o que está de acordo com o facto de os fertilizantes orgânicos constituírem, geralmente, uma fonte que disponibiliza o azoto com uma intensidade inferior à taxa de absorção requerida pelas culturas, ao longo do seu ciclo e têm, assim, eficiências de utilização inferiores aos adubos minerais.

Já com a aplicação de azoto unicamente na forma mineral (T6 a T9), houve um aproveitamento

do nutriente decrescente e estatisticamente significativo ($p=0,05$) com o aumento da quantidade aplicada, revelando o excesso de azoto mineral aplicado. No entanto, os valores mais altos de recuperação de N do ensaio foram observados nos tratamentos T6 e T7 respectivamente com 287 e 574 mg de N por vaso aplicado na forma de nitrato de amônio.

Quando se utilizou simultaneamente azoto na forma mineral e lama, a recuperação deste elemento pela cultura variou muito pouco com as doses aplicadas, apresentando valores estatisticamente iguais e elevados, na ordem dos 44-50%.

Os resultados obtidos estão de acordo com o previsto, uma vez que nos fertilizantes minerais os elementos, de forma geral, encontram-se mais disponíveis para absorção pela planta, enquanto nos fertilizantes orgânicos necessitam de ser mineralizados para se encontrarem disponíveis. Tal permite concluir que, quando misturada a forma orgânica (lama neste caso) com a inorgânica (nitrato de amônio), é possível atingir resultados competitivos com os obtidos usando apenas os fertilizantes inorgânicos.

CONCLUSÕES

A produção de biomassa da planta teste mostrou-se altamente dependente da fertilização azotada,

verificando-se que a presença de azoto causou um maior desenvolvimento da sua parte vegetativa e a expansão do sistema radicular.

A aplicação de quantidades excessivas de azoto na forma mineral confirmou ser esta uma prática que afeta negativamente a produção e o desenvolvimento radicular, bem como o aproveitamento do nutriente pelas plantas.

O estudo demonstrou também que a eficiência de utilização do azoto dos corretivos orgânicos é mais baixa relativamente à dos adubos minerais, bem como a importância de se saber prever a disponibilização de N a partir da mineralização dos materiais orgânicos para que, com a sua utilização, possam resultar benefícios em termos agronômicos, económicos e ambientais.

A utilização conjunta do corretivo orgânico (neste caso lama de ETAR) com adubação mineral azotada revelou ser a melhor solução, conduzindo às maiores produções da parte aérea da planta teste e a uma superior eficiência de utilização do azoto, permitindo concluir que a lama poderá constituir um substituto parcial dos fertilizantes minerais azotados. Contudo, os resultados obtidos sugerem a necessidade de se continuar a efetuar estudos desta índole, em particular em condições de campo, de modo a conhecer-se com maior precisão a disponibilização do azoto a partir dos materiais orgânicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hernandez, T.; Moreno, J. & Costa, F. (1991) – Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 37, n. 2, p. 201-210. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.1991.10415030>
- INIAV (2016) – *Lista de determinações e métodos analíticos na Área de Ambiente e Recursos Naturais*. Agosto 2016, 9 p. [cit. 2017-03-23]. http://www.iniaiv.pt/fotos/editor2/mod_lqars_82_lista_analises_efetuadas_arn_08_2016.pdf
- IUSS Working Group WRB (2015) – *World Reference Base for Soil Resources 2014*. Update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Roma, World Soil Resources Report 106, 203 p. [cit. 2017-03-22]. <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>
- Jones, J.B.; Wolf, J.B. & Mills, H.A. (1991) – *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing, Estados Unidos da América. 213 p.
- Joo, S.H.; Monaco, F.D.; Antmann, E. & Chorath, P. (2015) – Sustainable approaches for minimizing biosolids production and maximizing reuse options in sludge management: A review. *Journal of Environmental Management*, vol. 158, p. 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.014>
- MAOTDR (2009) – DL n. 276/2009, de 02 de outubro. Diário da República n. 192 – I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa, p. 7154-7165. www.drapc.min-agricultura.pt/base/legislacao/files/decreto_lei_276_2009.pdf
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. (2001) – *Principles of plant nutrition*. 5th ed., Kluwer academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 849 p.
- Singh, R.P. & Agrawal, M. (2008) – Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, vol. 28, n. 2, p. 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>
- Singh, R.P.; Singh P.; Ibrahim, M.H. & Hashim, R. (2011) – Land application of sewage sludge: Physicochemical and microbial response. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 214, p. 41-61. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-0668-6_3
- Sousa, R.J. (2005) – *Estratégias de gestão de lamas das estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Extrusão de lamas para aplicação na agricultura*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Ambiente (Ramo de Gestão e Tratamento de Resíduos Industriais). FEUP Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. 147 p.
- Soveral-Dias, J.C. (2004) – *Guia de Boas Práticas – Aplicação de lamas na agricultura*. Reciclamas – Multigestão Ambiental, S.A., Lisboa. 159 p.