

# Mineralização de azoto de diferentes resíduos orgânicos em incubação laboratorial de longa duração

## Nitrogen mineralization from different organic residues in long-term laboratory incubation

J.P. Carneiro<sup>1</sup>, S. Branco<sup>1</sup>, J. Coutinho<sup>2</sup> & H. Trindade<sup>2</sup>

### RESUMO

O objectivo do presente trabalho foi determinar, em condições laboratoriais e através de um ensaio de incubação de longa duração (443 dias), a mineralização do N orgânico resultante da incorporação de lamas de depuração, compostado de resíduos sólidos urbanos (RSU), chorume de bovinos e lamas celulósicas, num Solo Litólico de granito.

À excepção das lamas celulósicas (80 kg N ha<sup>-1</sup>), os resíduos orgânicos foram incorporados em duas doses (80 e 160 kg N ha<sup>-1</sup>). A avaliação da mineralização do N orgânico dos resíduos foi efectuada através da medição do teor de N mineral acumulado (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo com resíduo, tendo as amostragens sido efectuadas aos 1, 2, 3, 4, 8, 11, 15, 22, 29, 36, 46, 59, 74, 88, 120, 144, 186, 249, 338 e 443 dias após o início da incubação.

O chorume e as lamas de depuração foram os correctivos orgânicos que promoveram teores iniciais de N mineral no solo mais elevados, tendo o chorume disponibilizado no final do ensaio, na média das duas doses, 50% do N total incorporado, e as lamas 76%. As lamas celulósicas e o

compostado de RSU originaram imobilização de azoto, tendo-se observado esse efeito durante todo o ensaio e por um período de 4-5 meses, respectivamente. Em relação ao N total aplicado, e após 443 dias de incubação, o tratamento com lamas apresentou uma imobilização de 43%, enquanto que no tratamento com compostado de RSU a mineralização foi de 26%.

Os resíduos orgânicos utilizados apresentaram um comportamento muito distinto no que respeita à disponibilização de azoto após a sua incorporação ao solo. Face a essa diferença, a aplicação de chorume e das lamas de depuração deverá ser acompanhada na prática pela redução das adubações azotadas imediatas, enquanto que na utilização de compostado de RSU e, sobretudo de lamas celulósicas, poder-se-á impor um reforço da adubação azotada de fundo e de cobertura.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate, through a long-term incubation experiment (443 days) conducted under laboratory conditions, the N net mineralization

<sup>1</sup> Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Q<sup>ta</sup>. da Sra de Mércules, Ap. 119, 6001-909 Castelo Branco, [ipc@esa.ipcb.pt](mailto:ipc@esa.ipcb.pt); <sup>2</sup> Universidade de Trás os Montes e Alto Douro, Ap. 1013, 5001-801 Vila Real

progress after addition to soil of different amendments: sewage sludge, cattle slurry, municipal solid compost and pulp mill sludge.

Excluding pulp mill sludge, the residues were applied at two rates (80 and 160 kg total N ha<sup>-1</sup>). Treatments with the same rates of mineral N fertilizer and a control were also included. N net mineralization was evaluated using the mineral N content (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) accumulated in the mixtures of soil+residue. Measurements were performed at 1, 2, 3, 4, 8, 11, 15, 22, 29, 36, 46, 59, 74, 88, 120, 144, 186, 249, 338 and 443 days after residues application.

Highest values of soil mineral content at the beginning of the experiment were obtained on the treatments with cattle slurry and sewage sludge amendments. After 443 days of incubation, the treatments with cattle slurry and sewage sludge released respectively, 50 and 76% of the total N applied (two rates mean). Pulp mill sludge and municipal solid compost treatments originated N immobilization, with this effect lasting for a period of 4-5 months and one month respectively. After 443 days of incubation, the treatment with pulp mill sludge showed an immobilization of 43%, relatively to the amount of total N added. And the treatment with municipal solid compost showed a mineralization of 26% of the total N added.

The organic amendments showed a very diverse N mineralization behaviour, which may imply distinct practical results. Application of cattle slurry and sewage sludge should be accompanied by reduction of the amounts of mineral fertilizer applied in a short-term period, while the addition of municipal solid compost and, mainly, the addition of pulp mill sludge

may need a reinforcement of the rate of the mineral N fertilizers applied.

## INTRODUÇÃO

A utilização agrícola de produtos orgânicos é uma prática ancestral, que nos últimos anos tem ganho novos contornos. A procura do destino ambientalmente mais aceitável, a implementação de uma política de reutilização e mesmo questões de ordem económica, têm promovido uma crescente chegada aos campos de antigos e “novos” fertilizantes, cuja eficiência de utilização depende das suas características e da sua transformação no solo.

A mineralização é afectada por numerosos factores bióticos e abióticos (Griffin *et al.*, 2002), constituindo-se a composição dos resíduos como um dos principais (Sims, 1995), ainda que também determinadas características do solo possam influenciar o decorrer do processo (Kessel & Reeves, 2002). A cinética das transferências do C e N orgânicos através da biomassa microbiana presente num dado solo, controla a disponibilidade de N para sofrer lixiviação e/ou absorção por parte das plantas (Vinten *et al.*, 2002), pelo que uma utilização agrícola racional do tipo de produtos em causa passa pelo conhecimento da sua mineralização em determinados condicionalismos.

Um dos objectivos do presente trabalho foi o de determinar, em condições laboratoriais e através de um ensaio de incubação de longa duração (443 dias), a mineralização do N orgânico resultante da incorporação de lamas de depuração, compostado de RSU, chorume de bovinos e lamas celulósicas, num Solo Litólico de granito.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Resíduos orgânicos e solo

Os resíduos orgânicos considerados no ensaio de incubação (Quadro 1) foram lamas de depuração, provenientes da ETAR sul de Castelo Branco, lamas celulósicas, originárias da unidade fabril da Portucel-Vila Velha de Rodão, chorume de bovinos, recolhido numa exploração agrícola localizada no concelho da Covilhã e, compostado de resíduos sólidos urbanos, obtido na Estação de Tratamento existente no concelho do Fundão. O fertilizante mineral utilizado como termo de comparação foi o nitrato de amónio.

O teor de N e a humidade dos resíduos foram determinados com grande proximidade à data da sua incorporação e, até à realização das restantes análises laboratoriais, os mesmos foram mantidos congelados.

Para o estudo em causa utilizou-se um Solo Litólico de granito, tendo a colheita da quantidade de terra necessária para o ensaio sido efectuada nos primeiros 20cm do perfil. Para mais fácil manuseamento e correcta homogeneização quando da incorporação dos fertilizantes, procedeu-se à sua secagem parcial ao ar. As principais características que apresentava quando da instalação do ensaio eram as que se indicam no Quadro 2.

**QUADRO 1 - Principais características dos resíduos orgânicos utilizados no ensaio**

Parâmetro	Resíduo Metodologia	Lamas de depuração	Lamas celulósicas	Chorume	Compostado RSU
Humidade (g kg <sup>-1</sup> )	EN 12880	740,4	75,8	959,6	78,5
pH (H <sub>2</sub> O)	EN 12176	7,79	7,40	7,87	7,87
Cond.Eléc.(mScm <sup>-1</sup> )	Met. Interno <sup>(1)</sup>	1,50	0,20	13,82	13,82
MO (g kg <sup>-1</sup> )	EN 12879	466,1	870,3	29,0 <sup>(2)</sup>	572,5
N total (g kg <sup>-1</sup> )	EN 13342	48,4	1,6	2,2 <sup>(2)</sup>	15,6
N Orgân.-N (g kg <sup>-1</sup> )	Met. Interno <sup>(1)</sup>	43,1	1,2	0,9 <sup>(2)</sup>	12,1
N Amon.-N (g kg <sup>-1</sup> )	Met. Interno <sup>(1)</sup>	Vest.	Vest.	0,9 <sup>(2)</sup>	Vest.
N Nítrico-N (g kg <sup>-1</sup> )	Met. Interno <sup>(1)</sup>	0,8	0,2	0,02 <sup>(2)</sup>	0,8
Ptotal -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. UV/VIS	30,6	1,2	0,6 <sup>(2)</sup>	13,4
Ktotal -K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> )	Digestão HCl, fot. chama	2,2	1,6	2,3 <sup>(2)</sup>	20,1
Ca total-CaO (gkg <sup>-1</sup> )	Digestão HCl, dosea. EAA	212,8	37,5	1,6 <sup>(2)</sup>	145,4
Mg tot-MgO (g kg <sup>-1</sup> )	Digestão HCl, dosea. EAA	3,2	2,3	0,3 <sup>(2)</sup>	8,2
Na total - Na(g kg <sup>-1</sup> )	Digestão HCl, doseamento em fotómetro de chama	0,9	1,2	0,9 <sup>(2)</sup>	7,8
Relação C/N		20	55	7 <sup>(2)</sup>	21
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	130	11	2 <sup>(2)</sup>	176
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	878	50	5 <sup>(2)</sup>	491
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	24	<0,25	<0,25 <sup>(2)</sup>	18
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	50	18	<0,25 <sup>(2)</sup>	82
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	12,74	3,65	0,77 <sup>(2)</sup>	14,44
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	EN 13346, dosea. EAA	1	<1	<1 <sup>(2)</sup>	207

<sup>(1)</sup>A metodologia interna referida no quadro é a empregue no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva.

<sup>(2)</sup> Valores referidos à matéria original. Os restantes valores apresentados são referidos à matéria seca.

QUADRO 2 - Algumas características do solo utilizado no ensaio

Textura	franco-arenosa	pH (H <sub>2</sub> O)	Mét. Interno <sup>(1)</sup>	4,7
Terra fina (%)	671	MO (g kg <sup>-1</sup> )	Wakley Black modifi.	12
Densidade aparente	1,15	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Egner-Riehn	13
Profundidade (m)	0,20	K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	Egner-Riehn	96

<sup>(1)</sup>A metodologia interna é a empregue no Lab. de Solos e Fertilidade da ESACB – relação solo/água de 1 para 2,5 (p/p)

### Instalação e condução do ensaio

Com excepção das lamas celulósicas, incorporaram-se os resíduos orgânicos numa quantidade passível de dosear 80 (1) e 160 kg N ha<sup>-1</sup> (2). No caso das lamas celulósicas, e dado o seu muito baixo teor em N (0,4 g kg<sup>-1</sup> na matéria original), tornar-se-ia irrealista considerar a possibilidade de através delas ser doseado o nível de N mais elevado considerado, pelo que se optou por efectuar um único tratamento com este resíduo, aquele que considerava a incorporação de uma quantidade de lamas necessária para incorporar 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Assim sendo foram estabelecidos dez tratamentos: com incorporação de adubo mineral (Ad1 e Ad2), de lamas celulósicas (Lcel), de chorume (Ch1 e Ch2), de composto de resíduos sólidos urbanos (RSU1 e RSU2), de lamas de depuração (Ldep1 e Ldep2) e, sem qualquer incorporação (T). Para cada tratamento consideraram-se três repetições.

O ensaio foi efectuada em caixas de polietileno com capacidade de 4,5 litros. Dado o número de colheitas previstas (20) durante o decurso do ensaio (443 dias), cada tratamento foi instalado em 4 caixas, tendo-se utilizado um total de 120.

Após se ter efectuada a crivagem do solo num crivo de Inox de malha 0,2cm e procedido à pesagem da quantidade necessária a cada tratamento (12kg, 3kg caixa<sup>-1</sup>), foram-se incorporando e homogeneizando, de forma gradual, os fertilizantes. Na aplicação do adubo mineral, e para se garantir essa homogeneidade na

incorporação, os grânulos foram primeiramente dissolvidos em água desionizada, a qual também foi adicionada ao solo dos restantes tratamentos na quantidade necessária para promover, em todos eles, o preenchimento de cerca de 60% da capacidade de campo. Uma vez todas as caixas cheias (apresentando ainda volume livre suficiente para ser ocupado por ar), as mesmas foram fechadas e colocadas numa estufa de ambiente controlado, a uma temperatura de 25°C.

As colheitas de amostras tiveram lugar aos 1, 2, 3, 4, 8, 11, 15, 22, 29, 36, 46, 59, 74, 88, 120, 144, 186, 249, 338 e 443 dias após a incorporação dos fertilizantes, período durante o qual as caixas foram sendo abertas e arejadas de dois em dois dias e a humidade controlada periodicamente. Após a colheita das amostras foram de imediato constituídas 9 subamostras de 15g por tratamento (3 por repetição), as quais foram ultracongeladas até ao momento da realização da análise ao teor em azoto mineral.

Para extracção do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> adicionaram-se 30ml de KCl 2M às subamostras ainda congeladas, agitaram-se as suspensões durante 1h e de seguida centrifugaram-se, durante 10 minutos, a 3000 rpm. Até à determinação dos teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, por espectrofotometria de absorção molecular em analisador automático de fluxo segmentado (Houba *et al.*, 1994), os extractos, recolhidos em tubos de polipropileno de 10ml de capacidade, foram mantidos tapados a baixa temperatura (≈4°C).

## Análise dos resultados

Para além de se atender à evolução dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  durante o período de incubação (evolução do N mineral), calculou-se a mineralização líquida do azoto nos vários tratamentos, através da variação no teor de azoto mineral entre cada observação considerada e o início da incubação.

Para melhor se apreciar a influência dos diferentes fertilizantes na disponibilidade de azoto mineral num determinado momento (contributo dos fertilizantes para o N mineral), calculou-se a percentagem de azoto mineral existente nessa data em relação ao adicionado (52 e 104 mg N  $\text{kg}^{-1}$  de solo quando se incorporou o correspondente a 80 e 160 kg N  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente), após se deduzir o teor determinado nesse mesmo dia na modalidade testemunha (solo sem qualquer adição de fertilizante). Considerou-se ainda a diferença entre o teor de N mineral inicial e final em cada um dos tratamentos, como uma das formas de se avaliar a mineralização. Tais diferenças foram expressas por unidade de massa de solo e convertidas para unidade de área, considerando uma profundidade de 20cm e utilizando os valores de percentagem de terra fina e da densidade aparente, determinados no início do ensaio (Quadro 2).

## RESULTADOS

### Evolução do N mineral

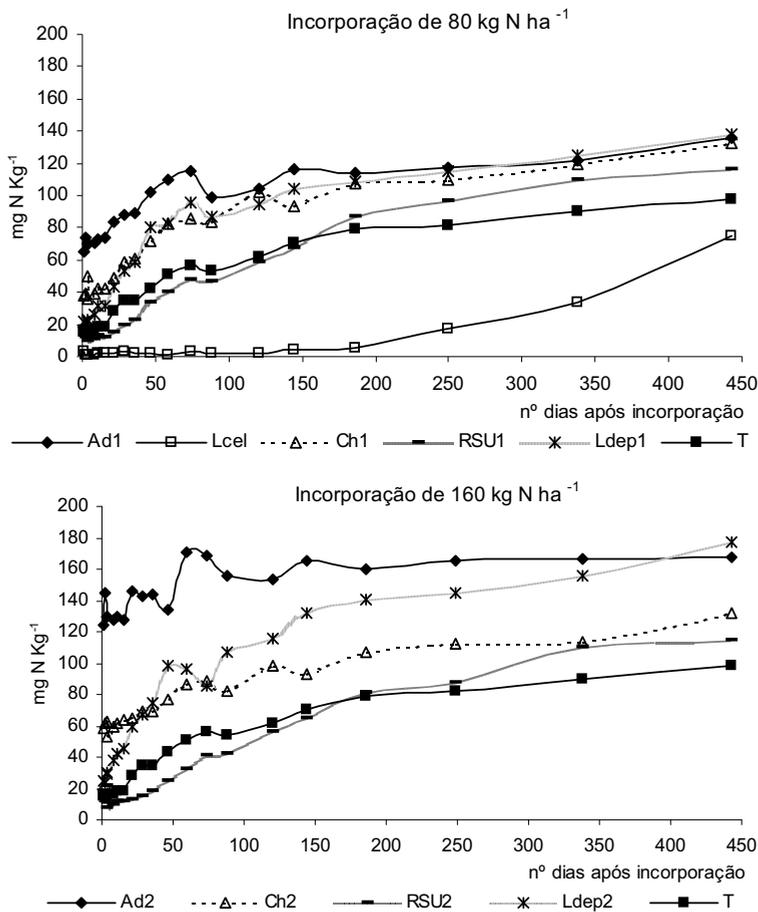
Na Figura 1 apresentam-se os resultados do N mineral medidos no solo, podendo observar-se que em todas as modalidades, independentemente da quantidade de N doseada, se registaram aumentos com o

tempo de incubação. Com a adição de lamas celulósicas (Lcel), tais aumentos só se começaram a verificar depois de decorridos cerca de 150 dias de incorporação, quando nas restantes modalidades já se começava a fazer sentir uma evolução menos intensa na evolução dos teores de N em análise.

Considerando todas as modalidades verificou-se ter havido, em cada uma das amostragens, diferenças altamente significativas ( $P < 0,001$ ) entre elas quanto ao teor de N mineral medido no solo, tendo as lamas celulósicas proporcionado sempre os valores mais baixos, mesmo em relação à modalidade sem qualquer incorporação de fertilizante (T). Durante os primeiros 5 meses de ensaio, no solo onde se aplicaram lamas celulósicas, registou-se um teor médio de 2 mg N  $\text{kg}^{-1}$ , valor esse que corresponde a aproximadamente 5% daquele que foi obtido na modalidade testemunha, durante o mesmo período (34 mg N  $\text{kg}^{-1}$ ).

Independentemente da quantidade de azoto considerada (80 ou 160 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ), foi com a aplicação de adubo mineral que se foram registando os valores mais elevados, de forma particularmente evidente durante o primeiro mês de incubação (valores médios de 74 mg N  $\text{kg}^{-1}$  na Ad1 e 134 mg N  $\text{kg}^{-1}$  na Ad2). Durante esse período, o chorume surgiu como o fertilizante orgânico capaz de proporcionar valores mais elevados de N na forma mineral (valores médios de 44 e 62 mg N  $\text{kg}^{-1}$  na Ch1 e Ch2, respectivamente), ainda que inferiores aos verificados com a aplicação de adubo em cerca de 40 e 50%, nas incorporações de 80 ou 160 kg N  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente.

Após o primeiro mês de ensaio, não se voltaram a verificar diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) provenientes da adição de uma maior ou menor quantidade de chorume, e



**Figura 1** - Evolução dos teores médios de N mineral no solo resultantes de incorporações correspondentes a 80 e 160 kg N ha<sup>-1</sup>

foram as lamas de depuração que se assumiram como o resíduo orgânico capaz de promover a presença no solo de teores de N mineral mais elevados e mais próximos dos observados com o adubo mineral. Decorridos 46 dias após a incorporação dos fertilizantes, a aplicação da dose mais elevada destas lamas já proporcionava teores semelhantes aos observados com a incorporação de adubo na quantidade mais baixa (98 e 102 mg N kg<sup>-1</sup> na Ldep2 e Ad1,

respectivamente) e, aos 338 dias de ensaio, lamas de depuração e adubo, para quantidades iguais de N veiculado, faziam surgir no solo teores muito próximos de N mineral (126, 122, 156 e 167 mg N kg<sup>-1</sup> na Ldep1, Ad1, Ldep2 e Ad2, respectivamente).

Em relação ao compostado de RSU, observou-se que, independentemente da quantidade aplicada, durante o primeiro mês de incubação não proporcionou gran-

des variações no teor de N mineral no solo, tendo nesse período dado origem a valores significativamente mais baixos aos determinados na testemunha. Só 150 a 180 dias depois da sua aplicação ao solo se observaram teores de N mineral mais elevados nestas modalidades comparativamente à testemunha (T) mas, sem que se tivessem evidenciado diferenças apreciáveis resultantes da aplicação de diferentes quantidades deste resíduo. No final do ensaio, determinaram-se teores médios de 116 e de 115 mg N kg<sup>-1</sup> nas modalidades RSU1 e RSU2, respectivamente, os quais foram superiores aos observados na testemunha (98 mg N kg<sup>-1</sup>).

### **Contributo dos fertilizantes para o N mineral**

Deduzindo o teor de N mineral inicial ao teor de N mineral medido em cada uma das amostragens obteve-se a mineralização líquida de N (Figura 2).

Com exceção do verificado com as lamas celulósicas, os aumentos dos valores da mineralização líquida tenderam, de uma forma geral, a ser mais nítidos até cerca de 3 meses após a aplicação ao solo dos fertilizantes, ainda que se tenham observado aumentos continuados desses valores até ao final do ensaio em todas as modalidades, com exceção da Ad2, na qual se obtiveram valores muito semelhantes a partir dos 6 meses.

Em relação à modalidade onde se tinham incorporado lamas celulósicas, foi só depois de transcorridos cerca de 6 meses de incorporação que se começaram a identificar aumentos mais acentuados nos valores de mineralização.

Foi com a adição de lamas de depuração que mais rapidamente subiram os valores de mineralização líquida, mas foi com a aplicação de adubo a única situação em

que nunca se verificaram valores de mineralização negativos, nos dias imediatamente a seguir à incorporação dos fertilizantes.

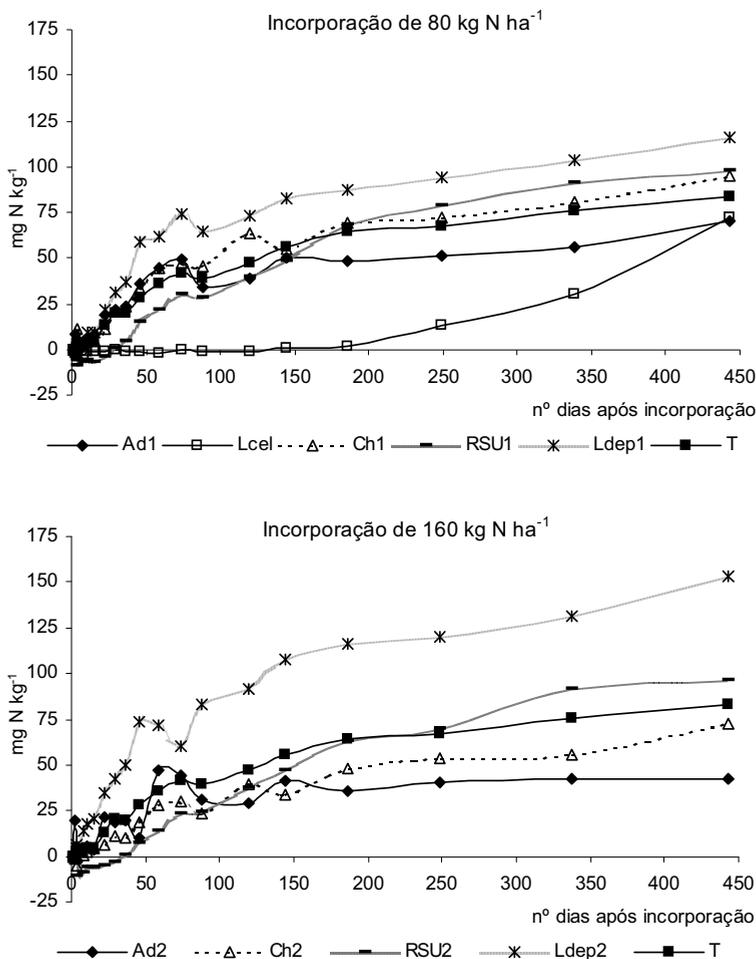
Efectivamente, ainda que tenha sido o adubo a proporcionar maiores acréscimos imediatos de N mineral durante os restantes dias da primeira semana de incubação, não se registaram mais diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) nos valores de mineralização observados com a incorporação de adubo ou de lamas de depuração. Decorrida a primeira semana, foram estas lamas que, quando aplicadas na dose mais elevada, proporcionaram valores de mineralização claramente mais elevados que todos os outros fertilizantes e, um mês depois, independentemente da dose aplicada (31 mg N kg<sup>-1</sup> na Ldep1 e 42 mg N kg<sup>-1</sup> na Ldep2).

Efeito oposto foi observado com a incorporação de compostado de RSU e de lamas celulósicas, com os quais se observaram valores de mineralização líquida negativos até cerca de 1 mês e 4-5 meses, respectivamente, após o início do ensaio.

Foi com a utilização de compostado de RSU que, independentemente da quantidade aplicada, se registaram os valores mais baixos de mineralização líquida durante o 1º mês de ensaio (e de todo o período de incubação), da ordem de -7 a -8 mg N kg<sup>-1</sup> durante a primeira semana, aumentando gradualmente ao longo das três semanas seguintes e, de forma bem mais evidente, decorridos cerca de 30-40 dias de incorporação.

Para melhor se apreciar o contributo dos diferentes fertilizantes na disponibilidade de N mineral num determinado momento, calculou-se a percentagem de N mineral existente nessa data em relação ao adicionado, depois de se deduzir o teor determinado nesse mesmo dia na modalidade testemunha (solo sem qualquer adição de fertilizante).

Como se pode visualizar a partir da Figura 3, foi o chorume o fertilizante orgânico



**Figura 2** - Evolução dos valores médios de mineralização líquida acumulada durante o ensaio, em incorporações correspondentes a 80 e 160 kg N ha<sup>-1</sup>

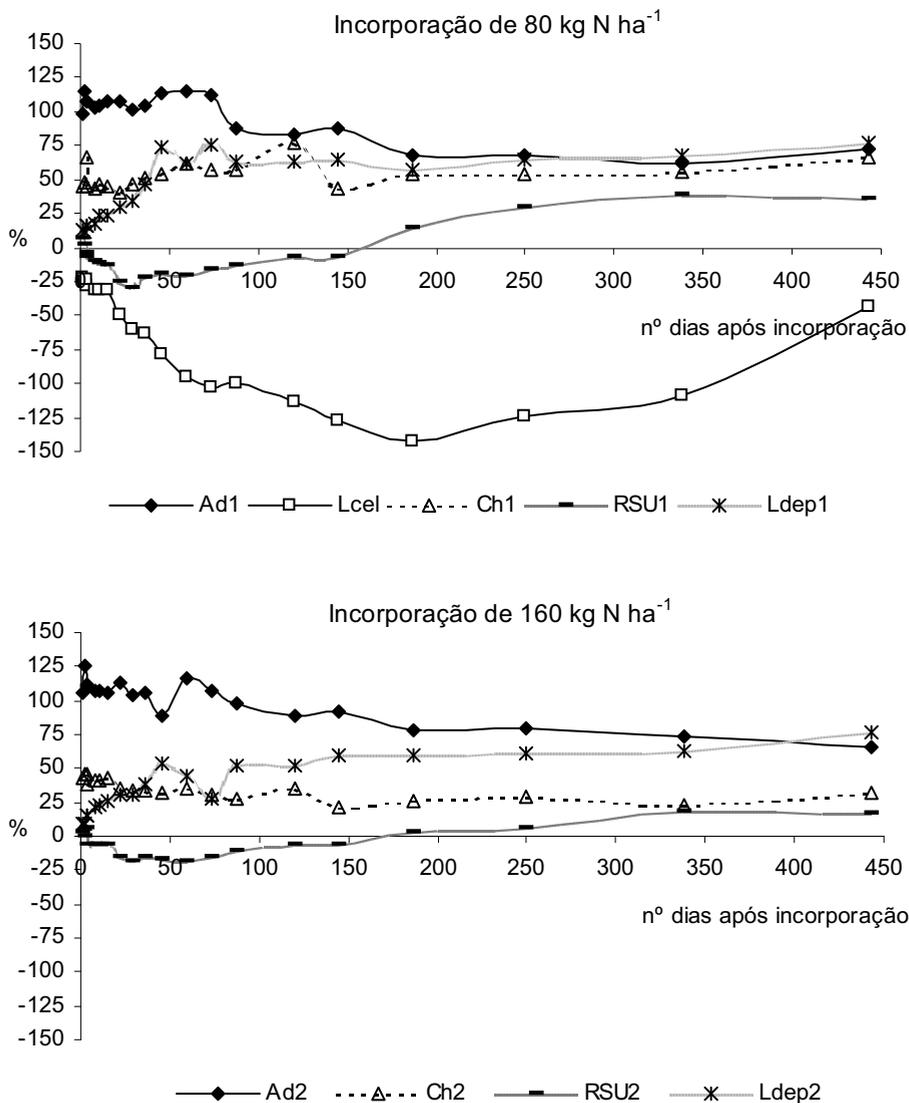
que menor alteração tendeu a apresentar ao longo do tempo quanto ao N mineral disponibilizado, permitindo logo após a sua incorporação que 40-50% do azoto veiculado estivesse disponível em formas solúveis. Pelo contrário, as lamas celulósicas não só não dosearam qualquer quantidade de N mineral durante o período de ensaio, como promoveram imobilizações de quantitativos superiores ao de N total previsto ser doseado.

Quanto ao RSU, e como se referiu anteriormente, só 150 a 180 dias após a sua incorporação possibilitou aumentos efectivos dos teores de N mineral no solo, tendo chegado a originar durante o primeiro mês imobilizações equivalentes a 20-25% do N total aplicado através da sua utilização.

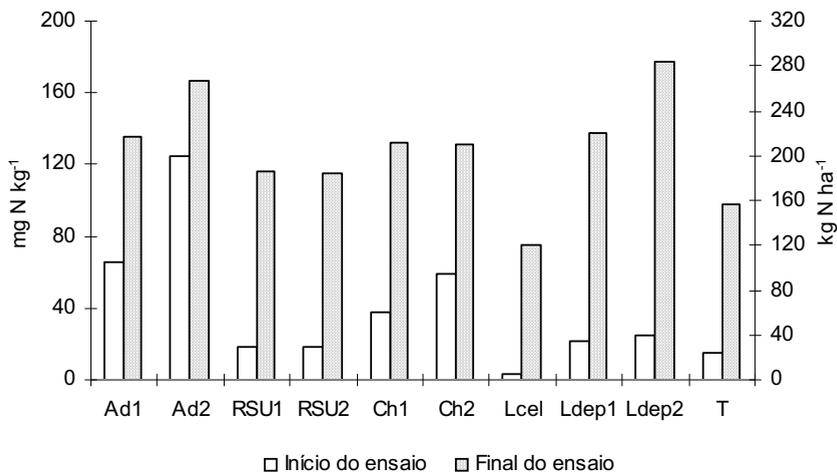
Independentemente da dose incorporada, as lamas de depuração permitiram um rápido incremento das formas de N solúvel no

solo, ainda que de forma mais lenta mas mais prolongada do que o observado com o cho-

rume, acabando por disponibilizar uma percentagem mais elevada do N total doseado.



**Figura 3** - Evolução da disponibilidade percentual de N mineral proporcionada pelos fertilizantes



**Figura 4** - Teores médios de N mineral no início e no final do ensaio, nas diversas modalidades

Atendendo ao teor de N mineral inicial e final medidos em cada modalidade (Figura 4) e, considerando a sua diferença ( $N_{\text{final}} - N_{\text{inicial}}$ ), verifica-se que foi com a aplicação de lamas de depuração que maior formação de N mineral ocorreu; 116 mg N kg<sup>-1</sup> em Ldep1 e 152 mg N kg<sup>-1</sup> em Ldep2, mais 33 e 70 mg N kg<sup>-1</sup>, respectivamente, do que na testemunha. Em contrapartida, foi com a aplicação de adubo que menores diferenças se observaram entre os valores finais e os iniciais (70 mg N kg<sup>-1</sup> na Ad1 e 43 mg N kg<sup>-1</sup> na Ad2), seguindo-se-lhe, por ordem crescente, a observada com a de lamas celulósicas (72 mg N kg<sup>-1</sup>), de chorume (95 mg N kg<sup>-1</sup> na Ch1 e 73 mg N kg<sup>-1</sup> na Ch2) e de compostado de RSU (98 e 97 mg N kg<sup>-1</sup> na RSU1 e RSU2, respectivamente).

A diferença média apurada entre o teor de N final e N inicial na modalidade testemunha (83 mg N kg<sup>-1</sup>) representa um acréscimo próximo de 130 kg N ha<sup>-1</sup> no final dos 443 dias de ensaio, valor que foi superado com a aplicação de lamas de depuração, de compostado de RSU e de chorume, mas com este último só quando incorporado em menor quantidade. Os

acréscimos obtidos com estes fertilizantes, em relação à testemunha, foram de 107 e 50 kg N ha<sup>-1</sup> com as lamas (dose mais alta e mais baixa, respectivamente), cerca de 20 kg N ha<sup>-1</sup> com a aplicação de compostado de RSU (independentemente da dose incorporada) e de 17 kg N ha<sup>-1</sup> com a aplicação de chorume, na quantidade mais baixa.

## DISCUSSÃO

A mineralização é um processo mediado por microrganismos do solo, pelo que todos os parâmetros que afectem a sua actividade influenciarão o resultado desta transformação, podendo ocorrer mineralização líquida ou imobilização. São diversos os estudos que confirmam a influência da incorporação de fertilizantes, nomeadamente orgânicos, sobre esses parâmetros, e também numerosos são aqueles que evidenciam a importância das características desses fertilizantes sobre a dinâmica do N por eles veiculado (Sims, 1995, Trindade *et al.*, 2001, Griffin *et al.*,

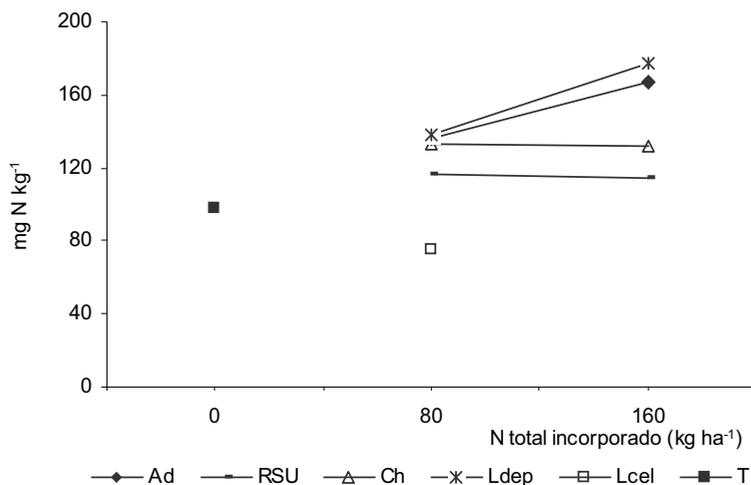
2002, Kessel & Reeves, 2002). Isto mesmo foi observado por nós, na medida em que as diferenças entre os teores de N mineral medidos nas diversas modalidades nas 20 amostragens efectuadas, revelaram o efeito acentuado do tipo de fertilizante incorporado.

Tal influência acentuou-se com o aumento da quantidade incorporada (Figura 5), situação que proporcionou maiores diferenças entre o N disponibilizado pelos diferentes fertilizantes; aumentando-se a dose, o N mineral aumentou de forma muito evidente quando se adicionou lamas de depuração e adubo e, praticamente não sofreu alteração no caso da aplicação de chorume e compostado de RSU.

Durante os primeiros 150 dias que se seguiram à incorporação, o compostado de RSU, quando aplicado em menor quantidade ( $80 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), teve tendência para proporcionar, em relação ao N total adicionado, uma percentagem mais baixa de N em formas disponíveis do que quando utilizado em maior quantidade ( $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

$\text{N ha}^{-1}$ ). No entanto, uma vez decorrido esse período de tempo a situação inverteu-se, verificando-se no final do ensaio uma grande proximidade entre os resultados finais proporcionados pelos dois quantitativos incorporados ( $80$  e  $160 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Tal comportamento, ainda que pouco expressivo, deixa pressupor a existência de factores inibidores da mineralização, cuja acção se acentua com o aumento da quantidade de compostado incorporada.

A não existência de maiores acréscimos nos teores de N solúvel resultantes da duplicação de quantidade de chorume incorporada, poderá ficar a dever-se, eventualmente, a um deficiente controlo da humidade nesta modalidade (Ch2) em determinada fase do ensaio, facto que poderá ter contribuído para a ocorrência de uma menor mineralização. Efectivamente, na Ch2 registou-se um teor médio de humidade 3% superior ao observado na Ch1, na qual se determinou uma taxa de mineralização líquida média superior (resultados não apresentados).



**Figura 5** – Teores médios de N mineral medidos no final do ensaio nas diferentes doses de N aplicadas

De entre os correctivos orgânicos utilizados, foram o chorume e as lamas de depuração aqueles que logo de início promoveram teores de N mineral no solo mais elevados que os registados na modalidade sem qualquer adição de fertilizante (T), resultados certamente relacionados com a presença nos efluentes de azoto em formas solúveis e não com a sua disponibilização por mineralização. Relativamente ao chorume, estas observações estão de acordo com os resultados obtidos por Beuchamp (1986) cit. por Trindade (1997), segundo o qual, neste fertilizante, o azoto existente na forma orgânica é disponibilizado muito lentamente, ainda que, para Kessel & Reeves (2002), a disponibilidade do N orgânico proveniente de chorumes e estrumes de bovinos seja muito variável, e difícil de prever, quando para tal se consideram, unicamente, parâmetros da sua composição. Tal não significa contudo, e como já foi referido, que o chorume não tenha fornecido quantidades apreciáveis de azoto imediatamente disponível para uma eventual cultura, podendo também considerar-se como um dos fertilizantes orgânicos usados que maior percentagem do N veiculado permitiu disponibilizar durante o ensaio. Efectivamente, deduzindo-se os teores de N mineral obtidos na testemunha aos teores observados nas modalidades com aplicação de fertilizante e, considerando a média das doses ensaiadas (correspondentes a 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup>), verifica-se que o chorume disponibilizou no final dos 443 dias de ensaio, 50% do N total, valor só superado pelo proporcionado pelas lamas de depuração, que disponibilizaram 76% do N total veiculado. Após um ano de incorporação, Gutser *et al.* (2005) citam percentagens de disponibilidade de N com origem em chorumes de bovinos e lamas de depuração, até cerca de 47% e 53%, respectivamente, o que vem confirmar que as

lamas de depuração (pelo menos quando secundárias digeridas) permitem uma maior disponibilidade de N do que o chorume num período de tempo mais curto (1 ano. Esta relativamente rápida disponibilização de N em formas solúveis por parte de lamas de depuração, foi também observada, por exemplo, por Hallet *et al.* (1999) e Kleber *et al.* (2000).

As lamas celulósicas primárias, como referido por Santos *et al.* (1990), Carneiro (1994) e Santos (2001), assim como o compostado de RSU (Parker & Sommers (1983), cit. por Epstein, 2003), são correctivos orgânicos cuja adição pode promover imobilização de azoto, tendo-se observado esse efeito neste estudo durante todo o ensaio e por um período de 4-5 meses, respectivamente.

No final dos 443 dias de incubação, as lamas celulósicas disponibilizavam 43% do N total incorporado, constituindo-se como o fertilizante que maior imobilização de azoto provocou. Já o compostado de RSU, responsável por um menor período de imobilização de N, no final do mesmo intervalo de tempo proporcionou uma disponibilização média de N mineral, relativamente ao N total doseado, de 26%. Nendel *et al.* (2005), num ensaio com aplicação de diferentes quantidades de compostado (constituído por lixo orgânico e material vegetal de jardins) em quatro tipos de solos, verificaram que, num período de dois anos, a percentagem de N total mineralizada pode variar entre 2,0 e 45,2%.

Comummente, caracteriza-se o potencial de mineralização de um determinado correctivo orgânico, através da sua razão C/N (Sims, 1995; Probert *et al.*, 2005). Atendendo às quantidades de N mineral disponibilizadas pelos resíduos orgânicos sólidos utilizados, verifica-se que, efectivamente, as lamas de depuração com razão C/N mais baixa (6), disponibilizaram mais

azoto solúvel que o compostado de RSU (C/N de 21), e este mais do que as lamas celulósicas (C/N de 315).

Segundo Santos (2001), nos casos em que as substâncias orgânicas tenham razões C/N compreendidas entre 20 e 30, a imobilização de azoto não é de recear. Considerando-se a razão C/N do compostado de RSU e a imobilização de N que a sua aplicação originou, poder-se-á depreender que, nem sempre a razão C/N poderá ser um bom indicador da mineralização do azoto, nomeadamente quando ocorra uma imobilização inicial de N (Probert *et al.*, 2005), provavelmente devido a diferenças de biodisponibilidade do C e N (Reinertsen *et al.*, 1984, cit. por Wang *et al.*, 2003) nos correctivos orgânicos.

## CONCLUSÕES

Ficou claro neste estudo existirem diferenças importantes quanto à mineralização dos fertilizantes aplicados, as quais devem originar práticas de utilização diferenciadas por parte dos agricultores.

Quer as lamas de depuração quer o chorume disponibilizam num curto intervalo de tempo, após a sua aplicação, azoto susceptível de rápida utilização por parte das culturas, o que deverá originar uma redução substancial na aplicação de fertilizantes minerais que doseiem este nutriente, à sementeira.

O chorume foi o correctivo que no primeiro mês maior disponibilidade de N mineral proporcionou, pelo que aplicação de maiores quantidades em fundo em culturas de Outono-Inverno, deve obrigar à adopção de medidas que possam limitar perdas de N solúvel por lixiviação.

As lamas de depuração, pela mineralização líquida crescente e prolongada a que estão sujeitas, deverão constituir-se como

um resíduo mais utilizável em culturas de Primavera-Verão e em quantidades não muito elevadas, de forma a evitarem-se teores excessivos de N susceptíveis de sofrerem lixiviação no Inverno seguinte ao da sua aplicação, mesmo quando efectuadas sementeiras no cedo. Provavelmente, para a maior parte das lamas de depuração geradas no País, a par do teor em metais pesados, deveria ser considerado o seu teor em N e a sua cinética de mineralização, quando da definição de quantitativos a incorporar e de intervalos de aplicação a respeitar.

O compostado de RSU e as lamas celulósicas são correctivos em relação aos quais não se colocarão receios de poluição de águas superficiais ou subsuperficiais com nitratos, quando incorporados antes da sementeira de uma cultura de Outono-Inverno. Pela imobilização de azoto a que dão origem, a sua utilização implicará antes um reforço da aplicação de fertilizantes azotados na adubação de fundo e, também nas de cobertura, quando em causa esteja a aplicação de lamas, dado o período extremamente prolongado de imobilização a que dão origem. Efectivamente, a imobilização observada foi tão expressiva com este último resíduo que, mesmo na cultura de Primavera-Verão que se seguisse, seriam de recear deficiências em azoto.

Ainda em relação ao compostado de RSU, não se observaram diferenças entre as quantidades de azoto solúvel disponibilizadas pelas diferentes quantidades de fertilizante utilizadas.

Quer os resultados observados com a aplicação de lamas de depuração quer os originados pela incorporação de lamas celulósicas e mesmo de compostado de RSU, suscitam o interesse em que futuramente se venha a observar a cinética do azoto e a mineralização que se verificará com a incorporação simultânea de lamas e

um dos outros dois correctivos, que numa perspectiva de curto/médio prazo parece ser uma boa solução mas que, num prazo mais alargado, poderá comportar alguns inconvenientes, dada a prolongada mineralização que todos sofrem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carneiro, J.P. 1994 – *Interesse Fertilizante da Aplicação Simultânea de Lamas Celulósicas e Estrume De Aviário*. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.
- Epstein, E. 2003. *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. Lewis Publishers, USA.
- Hallett, R.A., Bowden, W.B. & Smith, C.T. 1999. Nitrogen dynamics in forest soils after municipal sludge additions. *Water, Air and Soil Pollution*, **112**: 259-278.
- Houba, V.J.G., Novozamsky, I. & Ten-mighff, E. 1994. *Soil Analysis Procedures*. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Netherlands.
- Kessel, J.S.V. & Reeves, J.B. 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, **36**: 118-123.
- Kleber, M., Nikolaus, P., Kuzyakov, Y. & Stahr, K. 2000. Formation of mineral N ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) during mineralization of organic matter from coal refuse and municipal sludge. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, **163**: 73-80.
- Griffin, T.S., Honeycutt, C.W. & He, Z. 2002. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biology and Fertility of Soils*, **36**: 442-446.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M. & Schmidhalter, U. 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, **168**:439-446.
- Nendel, C., Reuter, S., Kersebaum, K.C., Kubiak, R. & Niedr, R. 2005. Nitrogen mineralization from mature bio-waste compost in vineyard soils II. Test of N-mineralization parameters in a long-term *in situ* incubation experiment. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, **168**: 219-227.
- Probert, M.E., Delve, R.J., Kimani, S.K. & Dimes, J.P. 2005. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biology & Biochemistry*, **37**: 279-287.
- Santos, J.Q. 2001. *Fertilização e Ambiente – Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes*. Coleções Euroagro, Publicações Europa-América.
- Santos, Q., Vasconcelos, E., Cabral, F. 1990. Utilização de lamas celulósicas como fertilizante. *4º Encontro Nacional de Sanamento Básico*, Aveiro.
- Sims, J.T. 1995 - Organic Wastes as Alternative Nitrogen Sources. In Peter Edward Bacon (ed) *Nitrogen Fertilization in the Environment*, pp. 487-536. Marcel Dekker, Inc.
- Trindade, H. 1997. *Fluxos e Perdas de Azoto em Explorações Forrageiras Intensivas de Bovinicultura Leiteira no Noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Trindade, H., Coutinho, J., Jarvis, S. & Moreira, N. 2001. Nitrogen mineralization in sandy loam soils under an intensive double-cropping forage system with dairy-cattle slurry applications. *Euro-*

- pean Journal of Agronomy*, **15**: 281-293.
- Vinten, A.J.A., Whitmore, A.P., Bloem, J., Howard, R. & Writh, F. 2002. Factors affecting N immobilisation/mineralisation Kinetics for cellulose-, glucose- and straw-amended sandy soils. *Biology and Fertility of Soils*, **36**: 190–199.
- Wang, H., Kimberley, M.O. & Schlegel-milch, M. 2003. Biosolids-derived nitrogen mineralization and transformation in forest soils. *Journal of Environmental Quality*, **32**: 1851-1856.