

Comparação entre arranjos de tratamentos sistemáticos e aleatórios em experiências de fertilização de milho (*Zea mays* L.) para silagem

Comparison between randomized block and systematically arranged fertilizer experiments with maize (*Zea mays* L.)

L. M. Brito¹, A. S. Fernandes² & A. L. Amaro¹

RESUMO

A recuperação do azoto (N) mineral aplicado ao milho foi comparada entre duas experiências, a primeira de blocos casualizados e a segunda com arranjos sistemáticos dos tratamentos, na qual, com início num dos vértices de cada bloco, os tratamentos foram organizados, entre talhões adjacentes, ao longo de um eixo com doses crescentes de um adubo nítrico – amoniacal, incluindo um adubo de libertação controlada (ALC) para a dose mais elevada e, ao longo do eixo perpendicular, com compostos da fracção sólida do chorume (FSC), produzidos com 5 e 15 volteios durante 105 dias para primeira experiência, e com 5 volteios durante 154 dias para a segunda.

A produtividade do milho e a acumulação do N na planta aumentaram com a aplicação de N mineral ao solo até 140 kg/ha na primeira experiência, mas o aumento para 210 kg/ha de N não resultou em novo acréscimo de produção. No entanto, a produtividade do milho aumentou entre 90 kg/ha e 180 kg/ha,

na segunda experiência, particularmente quando esta última dose foi aplicada com o ALC, o que sugere que este poderá ser mais eficaz para sincronizar a disponibilidade de N no solo com as necessidades do milho.

A produtividade do milho não aumentou com os compostos da FSC porque estes deviam ser aplicados mais maduros ao solo, ou com maior antecedência relativamente à sementeira do milho. A eficiência agronómica do N e a recuperação do N pelo milho indicaram que, no arranjo sistemático e em comparação com os blocos casualizados, as bordaduras foram mais eficazes para impedir que o N de uns talhões fosse utilizado pelo milho dos talhões adjacentes, por causa do efeito progressivo da disponibilidade de N entre os talhões.

ABSTRACT

To compare N recovery within plots, a silage maize randomized block designed experiment was carried out, as opposed to an-

¹ Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Refóios, 4990-706 Ponte de Lima – Tel: (+351) 258 909 740 – Fax: (+351) 258 909 779 – E-mail: : miguelbrito@esa.ipv.pt; ² Divisão Leite e Lacticínios, Direcção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho, S. Pedro de Merelim, 4700-859 Braga – E-mail: antfernandes@net.sapo.pt

other experiment, with systematic arrangement of treatments, which included a controlled-release N fertilizer. Both experiments integrated increasing rates of an ammonium nitrate based fertilizer and composts from the solid fraction of dairy cattle slurry. Piles were composted over 105 days for the randomized experiment, with 5 and 15 turns and over 154 days for the systematic arranged experiment, with 5 turns.

Although occasional effects were found on crop growth with the application of composts they were generally small or not significant compared to the addition of mineral N fertilizer. Maize yield and N uptake increased with mineral N applied from 0 to 140 kg/ha, however, a further increase to 210 kg/ha was not related to higher yield in the randomized experiment. Nevertheless, increases of mineral N between 90 kg/ha and 180 kg/ha were associated with higher yield in the systematic arranged experiment, particularly when the controlled-release fertilizer was used. Since the most efficient management practice to maximise plant uptake and minimise losses, is to synchronise the N supply with the plant demand for N, controlled-release fertilizers may be an alternative to improve N recovery by the crop, whereas composts should be applied after a long period of maturation, or sooner before sowing. In contrast to the randomized experiment, edge effects within plots appeared to be largely cancelled each other out in the systematically arranged experiment, because of the stepwise progression of the mineral N treatments.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é a principal cultura da bacia leiteira do NW de Portugal, onde é utilizado como silagem na alimentação dos bovinos. O milho tem elevadas taxas de

crescimento (planta C₄), que se associam a uma grande capacidade para absorver o azoto (N) do solo. Contudo, com a intensificação pecuária, utilizam-se grandes quantidades de fertilizantes azotados orgânicos, e inorgânicos, e ultrapassam-se, frequentemente, as necessidades desta cultura, o que aumenta o risco de poluição dos ecossistemas, por lixiviação e por volatilização de N. Assim, muita investigação tem sido realizada sobre os vários aspectos da utilização do N na cultura do milho, por razões económicas e ambientais (Moll *et al.*, 1982; Herrmann & Taube, 2005), incluindo nesta região (Trindade, 1997).

Em anos recentes, em explorações leiteiras intensivas, a separação entre a fracção sólida e a fracção líquida do chorume, concentrando os nutrientes na fracção sólida, tornou-se numa tecnologia com crescente utilização na gestão deste resíduo (Ford & Fleming, 2002). Neste estudo, a fracção sólida do chorume foi compostada e avaliada como fertilizante orgânico, em combinação com a fertilização mineral, na cultura do milho forrageiro.

Na maioria das experiências de campo que avaliam a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes, os talhões são distribuídos ao acaso, podendo localizar-se um talhão que não inclui fertilizante junto a outro que inclui a dose máxima do mesmo fertilizante. Neste caso, é difícil garantir que as raízes das plantas localizadas no talhão sem fertilizante não alcancem o talhão fertilizado. Excepto, se as bordaduras ocuparem a maioria da superfície da experiência com plantas guarda, e aumentar a razão entre a superfície do terreno que não é colhida, para efeitos experimentais, e a superfície total da experiência, resultando numa experiência demasiado onerosa.

O arranjo sistemático dos tratamentos, em oposição aos arranjos ao acaso, acontece quando os tratamentos são organizados

numa determinada ordem como, por exemplo, com doses crescentes de um fertilizante entre talhões adjacentes (Mead, 1990). Quando existem vários níveis crescentes de aplicação de um fertilizante, o arranjo dos talhões para que o fertilizante aumente sistematicamente, de forma progressiva, em vez de ao acaso, diminui os riscos das plantas do talhão não fertilizado utilizarem o fertilizante aplicado ao talhão adjacente (Cleaver *et al.*, 1970).

Nos arranjos sistemáticos, apesar de poder continuar a existir alguma competição entre as plantas de um talhão adjacente e as plantas do próprio talhão, esta poderá ser considerada pequena, ou mesmo anulada completamente, pelo efeito compensatório entre os lados opostos do talhão, uma vez que o aumento do fertilizante entre talhões é progressivo. (Nelder, 1962; Bleasdale, 1967; Cleaver *et al.*, 1970). Em acréscimo, quando os arranjos sistemáticos incluem dois factores, por exemplo, um fertilizante orgânico e um fertilizante inorgânico, é possível colocar, ao longo de um dos eixos, as doses crescentes do primeiro factor, enquanto que, ao longo do eixo perpendicular ao anterior, se aplicam as doses crescentes do segundo factor, desta forma, num canto do bloco fica localizado o talhão que não recebe qualquer dos fertilizantes e no canto diagonalmente oposto, fica o talhão que recebe a dose máxima de ambos os fertilizantes (Brito & Hadley, 1993).

Existem vários parâmetros referentes à eficácia da aplicação de azoto ao solo que podem ser utilizados para avaliar a eficiência com que o azoto é acumulado nas culturas (Huggins & Pan, 1993; Wen *et al.*, 2003) e desta forma, para propor uma fertilização que minimize os riscos de poluição causados pela lixiviação, ou pela volatilização de azoto que se encontra em excesso no solo. O cálculo da eficiência com que o milho recupera o N aplicado ao solo pode

ser efectuado com base na diferença entre o N acumulado no milho dos talhões fertilizados e o N acumulado no milho dos talhões não fertilizados, expressa em percentagem do N aplicado aos talhões fertilizados (Dilz, 1988). Se as plantas não fertilizadas absorverem N dos talhões fertilizados, as eficiências serão inferiores porque a produtividade das plantas não fertilizadas aumenta e, simultaneamente, a produtividade das plantas fertilizadas pode diminuir.

Neste estudo, utilizaram-se adubos azotados e compostos da fracção sólida do chorume, para avaliar a eficiência do milho para recuperar o N incorporado no solo em duas experiências, uma de bloco casualizados (2004), e outra de arranjos sistemáticos (2005) e compararam-se os resultados entre estes dois modelos de delineamento experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

A fracção sólida de chorume (FSC) utilizada neste trabalho foi extraída com uma máquina separadora baseada na pressão provocada por um sem-fim (screw press) que impulsiona a fracção sólida para a extremidade frontal da máquina, enquanto a fracção líquida atravessa um crivo que rodeia o sem-fim. A FSC foi compostada em 2004 por um período de 105 dias em pilhas com 15 m³ de volume, sobre o solo. A FSC foi compostada com 5 e com 15 volteios, com o objectivo de obter uma pilha com um composto menos maduro (CI) e outra com um composto mais maduro (CM), respectivamente. Em 2005, a FSC (C) foi compostada por um período de 154 dias em pilhas de 15m³ com 5 volteios durante a compostagem, sobre uma tela de cobertura do solo, para evitar a introdução de solo na pilha durante o volteio.

A experiência de campo decorreu num

Antrossolo cumúlico dístrico em granitos e rochas afins (ATcd.g) derivado de um Cambissolo húmico de granitos (CMux.g) de textura franco arenosa. Em 2004, realizou-se a experiência com 3 blocos casualizados e estrutura factorial de tratamentos. Os factores incluíram o tipo de compostos (sem composto – SC, composto imaturo – CI e composto maduro – CM) e a dose de azoto mineral (0, 140 e 210 kg/ha), resultando 9 tratamentos por bloco, num total de 27 talhões experimentais.

Em 2005 os tratamentos foram arrançados de forma sistemática, em 3 blocos. Em cada bloco, ao longo de um eixo aumentaram-se as doses de azoto mineral (0, 90, 180 kg/ha através de um adubo nítrico-amoniaco e 180 kg/ha através de um adubo de libertação controlada) enquanto ao longo do eixo perpendicular ao anterior se aumentaram as doses de aplicação do composto da FSC (0, 20 e 30 t/ha), resultando 12 tratamentos por bloco, num total de 36 talhões.

Cada talhão (30 m²) incluiu 8 linhas (6 m) com 30 plantas por linha (5m). O milho forrageiro (cv. Mikado, FAO 500) foi semeado em 21 de Maio em 2004 e em 24 de Maio em 2005, com a densidade de 80 000 plantas por hectare e espaçamento de 0,75 m entre linhas. Antes da sementeira, os compostos foram aplicados ao solo com uma lavoura e parte do adubo (1/3 da dose de N) com uma rotofresa. A restante parte (2/3) do adubo (com 20,5% de N mineral, metade na forma nítrica e metade na forma amoniaco) foi aplicado 40 dias após a sementeira. Na experiência de arranjos sistemáticos, o adubo de libertação controlada (Fertis, com 17% de N amídico e 5% de N amoniaco) foi aplicado todo em fundo com a rotofresa.

Em cada talhão, 117 e 116 dias após a sementeira em 2004 e 2005, respectivamente, colheram-se as plantas dos 3 m centrais das 2 linhas de plantas do meio do talhão (4,5 m²) para determinação do peso fresco

no campo, e dessas foram seleccionadas 2 plantas de cada talhão, pela homogeneidade, para determinação da humidade e do azoto total na matéria seca.

Calcularam-se os parâmetros de eficiência do N acumulado na planta e do N aplicado ao solo (adaptados de Wen *et al.*, 2003) seguintes:

1. NUE – Eficiência de utilização do N
kg PS / kg N acumulado
 2. NPE – Eficiência fisiológica do N
(kg PS do N_x - kg PS do N₀) / (kg N acumulado no N_x - kg N acumulado no N₀)
 3. NAE – Eficiência agronómica do N
(kg PS do N_x - kg PS do N₀) / kg de N aplicado no N_x
 4. NRR – Taxa de recuperação de N
(kg N acumulado no N_x - kg N acumulado no N₀) / kg de N aplicado no N_x
- Em que PS representa o peso seco e N_x (N₀) o talhão adubado com x (0) kg de N.

Utilizaram-se as normas europeias (EN - Soil improvers and growing media, 1999) para a determinação das seguintes características dos compostos: humidade, com base em 50 g de material original (EN 13040); pH por potenciometria (EN 13037); condutividade eléctrica (25°C) dos extractos aquosos obtidos para o pH (1+5, v/v) após filtração (EN 13038); matéria orgânica, por calcinação a 550°C durante 4 horas (EN 13039); e azoto Kjeldahl modificado (EN 13654). A relação C/N foi calculada pelo quociente entre o teor de carbono, e o teor de azoto. O teor de carbono total, foi calculada pela fracção entre o teor da matéria orgânica e a constante 1,8 (Gonçalves & Baptista, 2001).

O azoto mineral, após extracção com KCl 2M (1:5), foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, em autoanalisador de fluxo segmentado, sendo o teor de N amoniaco determinada pela reacção de

Berthelot e a de N nítrico através do reagente de Griess-Ilosvay, após redução em coluna de cádmio. As concentrações totais de P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, e Ni foram determinadas nos extractos obtidos por digestão com *Aqua Régia*, através de colorimetria para o P, fotometria de chama para o K e absorção atômica para os restantes elementos. O azoto na matéria seca do milho foi determinado pelo método Kjeldahl.

A comparação das médias dos resultados entre tratamentos, e entre conjuntos de tratamentos, realizou-se através da análise de variância, recorrendo-se ao programa SPSS versão 12.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas das características dos compostos da fracção sólida do chorume e do solo, no início das experiências, encontram-se no Quadro 1. Os compostos produzidos em 2004 possuíam um teor mais baixo de humidade, matéria orgânica, N nítrico e N total, do que o de 2005, porque em 2004 houve contaminação das pilhas com terra durante os volteios com a pá frontal do trac-

tor, o que não aconteceu em 2005 quando a compostagem decorreu sobre uma tela de cobertura do solo.

Na experiência de blocos casualizados, a acumulação de peso seco do milho diminuiu com a aplicação de compostos ao solo ($P < 0,05$), e aumentou ($P < 0,001$) com a aplicação de 140 kg/ha de azoto mineral (Figura 1). A redução de 10% de peso seco com a aplicação dos compostos resultou parcialmente de uma diminuição (5%) no número de plantas por hectare. A percentagem de matéria seca do milho (Figura 1) foi ligeiramente inferior à que (35%) que maximiza a produção de leite em bovinos de acordo com Darby & Lauer (2002) e Demarquilly (1994); e não variou significativamente entre tratamentos. Assim, as conclusões referidas para o peso seco aplicam-se, também, ao peso fresco. A relação entre o peso seco das espigas e o peso seco da parte verde (caule e folhas) do milho forrageiro nesta experiência não variou significativamente entre os tratamentos sendo a produção de matéria seca das espigas aproximadamente 75% da produção da matéria seca dos caules e folhas.

QUADRO 1 – Características do solo no início das experiências e dos compostos da fracção sólida do chorume compostada 105 dias em 2004, com menor (CI) e maior (CM) número de volteios e 154 dias em 2005 (C) ($\bar{x} \pm \sigma$, n = 5)

Solo	pH	MO (%)	N (mg g^{-1})	P ₂ O ₅ ext. (mg kg^{-1})	K ₂ O ext. (mg kg^{-1})	Ca (mg kg^{-1})	Mg (mg kg^{-1})
0 – 30 cm	5,6±0,1	4,4±0,5	2,30±0,1	> 200	> 200	498±38	34±4
30 – 60 cm	6,0±0,1	3,4±0,2	2,12±0,13	53±41	134±26	355±90	24±3
60 – 100 cm	6,0±0,1	2,3±1,0	1,56±0,57	31±16	106±32	287±58	19±6

FSC	Humid. (%)	pH	CE (mS m^{-1})	MO (%)	C/N	N-NO ₃ ⁻ ($\mu\text{g g}^{-1}$)	N-NH ₄ ⁺ ($\mu\text{g g}^{-1}$)	N total (mg g^{-1})
CI	60±7,5	8,0±0,2	108±13	29±8	14,0±0,6	168±89	15±2	12±3,5
CM	41±6,7	7,8±0,2	87±8	17±1	14,6±1,0	203±47	12±2	7,0±0,7
C	78±1,1	7,9±0,4	108±28	76±1	11,3±0,4	755±195	11±5	37,1±0,9

FSC	P (mg g^{-1})	K (mg g^{-1})	Ca (mg g^{-1})	Mg (mg g^{-1})	Fe (mg g^{-1})	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$)
CI	0,9±0,1	10,6±2,8	7,0±0,8	2,9±0,4	12,6±1,2	151±15,4	34,0±3,1	26,6±2,9
CM	0,8±0,1	10,7±1,0	5,2±0,6	2,3±0,1	10,6±0,6	112±10,5	32,4±2,6	20,4±1,7

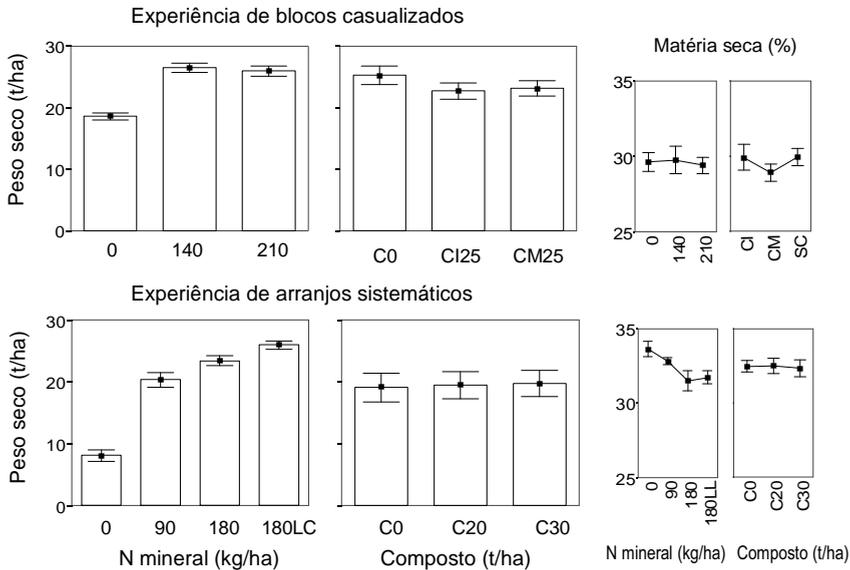


Figura 1 – Peso seco (t/ha) e percentagem (%) de matéria seca do milho forragem, em experiências de blocos casualizados e de arranjos sistemáticos. O N mineral (kg/ha) aplicado ao solo inclui um adubo de libertação controlada (LC). Os compostos (C) da fracção sólida de chorume incluíram um menos maduro (CI) e outro mais maduro (CM). As barras indicam +/- o erro padrão da média.

Na experiência de arranjos sistemáticos, a aplicação de composto não afectou a produtividade do milho, mas a influência do adubo mineral foi muito forte (Figura 1). Quando se comparam as produtividades entre ambas as experiências torna-se evidente que a diferença existente entre o peso seco das testemunhas é muito grande.

O teor média de N na matéria seca do milho foi ligeiramente superior em 2004 (0,94%), em comparação com 2005 (0,92%), e não variou significativamente entre os tratamentos de 2004. Contudo, na experiência de arranjos sistemáticos, o teor de N no milho aumentou sempre com o aumento do fertilizante azotado, sendo máxima no tratamento com adubo de libertação controlada (Figura 2).

Existe pouca informação na literatura onde se compara a eficiência do azoto orgânico proveniente do chorume, ou da sua

fracção sólida, com as fontes de azoto mineral mais comuns, como o nitrato de amónio. Aqui, estas experiências evidenciam que os compostos da FSC não contribuíram para um aumento de produção de milho, sendo as variações na produção explicadas basicamente em função da quantidade de N mineral aplicado à cultura. Isto resulta do facto do nitrato de amónio disponibilizar o azoto quase imediatamente para a cultura, enquanto que a forma de azoto predominante nos compostos da FSC é a orgânica e, por isso, só será disponibilizada para a cultura após a sua mineralização.

Não se verificaram aumentos na produtividade (Figura 1) ou na acumulação de N (Figura 3) do milho com a aplicação dos compostos ao solo, provavelmente porque estes precisavam de um período mais longo de amadurecimento para evitar a imobilização de N, ou a criação de outras condições

adversas à germinação das sementes ou ao crescimento do milho no início do seu desenvolvimento, como por exemplo, aquelas que resultam da sua condutividade eléctrica. Estas condições poderiam ser minimizadas se a aplicação dos compostos ao solo se realizasse com maior antecedência relativamente à sementeira. Nesse caso, estes compostos poderiam ter aumentado a eficiência com que o azoto mineral disponível para a cultura seria utilizado, imobilizando-o antes do início do crescimento do milho e libertando-o, gradualmente, durante o ciclo vegetativo.

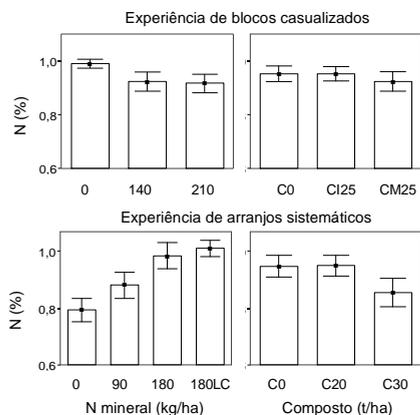


Figura 2 – Percentagem (%) de N na matéria seca do milho forragem, em experiências de blocos casualizados e de arranjos sistemáticos. O N mineral (kg/ha) aplicado ao solo inclui um adubo de libertação controlada (LC). Os compostos (C) da fracção sólida de chorume incluíram um menos maduro (CI) e outro mais maduro (CM). As barras indicam +/- o erro padrão da média.

Não se verificaram aumentos na produtividade (Figura 1) ou na acumulação de N (Figura 3) do milho com a aplicação dos compostos ao solo, provavelmente porque estes precisavam de um período mais longo de amadurecimento para evitar a imobilização de N, ou a criação de outras condições

adversas à germinação das sementes ou ao crescimento do milho no início do seu desenvolvimento, como por exemplo, aquelas que resultam da sua condutividade eléctrica. Estas condições poderiam ser minimizadas se a aplicação dos compostos ao solo se realizasse com maior antecedência relativamente à sementeira. Nesse caso, estes compostos poderiam ter aumentado a eficiência com que o azoto mineral disponível para a cultura seria utilizado, imobilizando-o antes do início do crescimento do milho e libertando-o, gradualmente, durante o ciclo vegetativo.

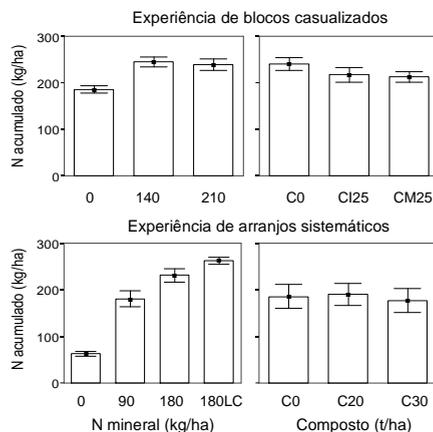


Figura 3 – Acumulação de N (kg/ha) no milho forragem, em experiências de blocos casualizados e de arranjos sistemáticos. O N mineral (kg/ha) aplicado ao solo inclui um adubo de libertação controlada (LC). Os compostos (C) da fracção sólida de chorume incluíram um menos maduro (CI) e outro mais maduro (CM). As barras indicam +/- o erro padrão da média.

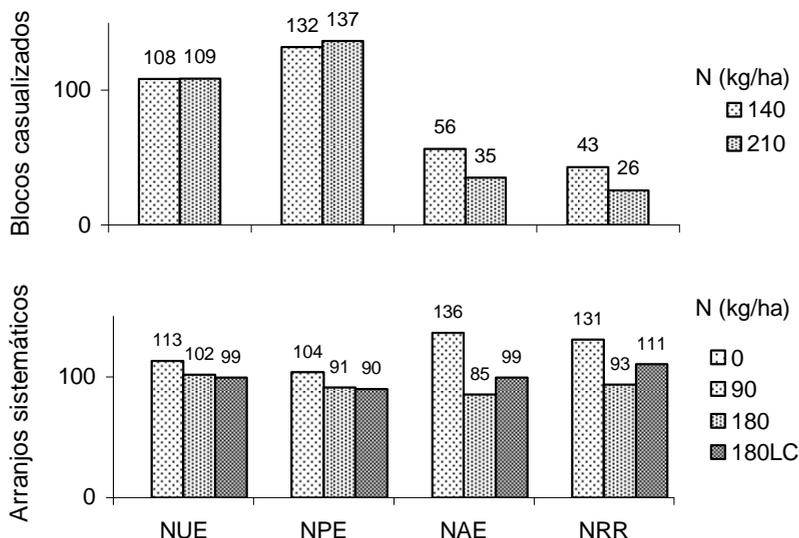
Aparentemente, na experiência de arranjos sistemáticos, o teor de N no milho (Figura 2) foi ligeiramente inferior nos tratamentos que incluíram a dose máxima de composto (C30). O mesmo não se verificou com a acumulação de N (Figura 3). Pelo contrário,

rio, nesta experiência, verificou-se um forte acréscimo de N acumulado no milho com o aumento da adubação azotada.

A eficiência com que o milho utilizou o N para acumular matéria seca diminuiu ligeiramente na experiência de arranjos sistemáticos com o aumento de N aplicado ao solo, mas o mesmo não se verificou na experiência de blocos casualizados (Figura 4). Contudo, a eficiência agronômica do N aplicado ao solo diminuiu, em ambas as experiências, com o aumento da dose de adubo azotado. A aplicação de 140 kg/ha de N mineral aumentou a produção de peso seco em 42,5 % e a acumulação de N na parte aérea da cultura em 32%, correspondendo a uma eficiência de recuperação de N pela parte aérea da cultura de 42,7 %. Contudo, com a aplicação de 210 kg/ha de N mineral, apenas 25,6 % deste azoto foi recuperado. A aplicação de 210 kg/ha, em comparação com 140 kg/ha, não contribuiu para uma produção de milho superior, ou para uma maior acumulação de N na parte aérea das plantas. A recuperação do N foi muito superior na experiência de arranjos sistemáticos, em comparação com a de blocos casualizados, porque as plantas testemunha, nos arranjos sistemáticos, produziram menos peso seco e acumularam muito menos N do que na experiência de blocos casualizados (Figura 4). No cálculo dos parâmetros de eficiência do N, é necessário garantir que as plantas testemunha não utilizem o N dos talhões adjacentes. Por outro lado, assume-se que a mineralização do N do solo é semelhante nos talhões fertilizados e não fertilizados, logo, assume-se que o acréscimo do N acumulado nos talhões fertilizados provém do N do fertilizante. Contudo, as plantas fertilizadas podem ter um maior sistema radicular, o qual estimula a mineralização do N do solo num maior volume de solo. Este fenómeno é designado pelo efeito do N mineral aplicado ao solo na mineralização do N

orgânico do solo, ou por interacção entre o N adubado e a mineralização do N do solo (Strong, 1995). Por outro lado, o maior sistema radicular ajuda a impedir a lixiviação de nitratos e causa outros benefícios para a fertilidade do solo (Nielsen *et al.*, 1988). Estes fenómenos poderão explicar o facto das plantas fertilizadas com o adubo nítrico-amoniaco na dose inferior (90 kg/ha) ou através do adubo de libertação controlada (180 kg/ha), terem acumulado mais N do que aquele que foi aplicado na experiência de arranjos sistemáticos, quando na experiência de blocos casualizados, a recuperação de N variou entre valores muito inferiores para adubações com 140 kg/ha (de 42,7 %) e 210 kg/ha (25,6 %) de N mineral (Figura 4).

Em ambas as experiências deste estudo, as linhas das plantas que foram colhidas para análise encontravam-se a 2,6 m dos talhões adjacentes (e a primeira planta de cada linha a 1,0 m do talhão seguinte). Contudo, a taxa de crescimento da raiz principal do milho pode exceder 6 cm d⁻¹ (Weaver, 1926; Taylor *et al.*, 1970; Blacklow, 1972), significando que, em seis semanas de rápido crescimento vegetativo (ou menos para as primeiras plantas colhidas em cada linha), as raízes do milho poderiam ter alcançado os talhões adjacentes e utilizar parte do azoto desses talhões. Nestas condições, vulgarmente utilizadas na Região de Entre Douro e Minho, as plantas de um talhão fertilizado podem ter absorvido N de um talhão adjacente, diminuindo, simultaneamente, a disponibilidade de N nesse talhão. Nesse caso, as plantas do talhão menos fertilizado poderão ter sido beneficiadas e as plantas do talhão mais fertilizado poderão ter sido prejudicadas, relativamente à suposta disponibilidade de N no solo, resultando numa menor diferença de peso seco, acumulação e eficiência agronômica do N, entre os respectivos talhões.



NUE: PS / N acumulado (kg/kg). **NPE:** $PS_{N_x} - PS_{N_0}$ / N acumulado em $N_x - N_0$ (kg/kg).
NAE: $PS_{N_x} - PS_{N_0}$ / N aplicado (kg/kg). **NRR:** N acumulado em $N_x - N_0$ / N aplicado (%).
 N_x (N_0) = Talhão adubado com x (ou 0) kg de azoto (N); PS = Peso seco do milho

Figura 4 – Eficiências de utilização (NUE) e fisiológica (NPE) de N acumulado, eficiência agrônômica (NAE) e taxa de recuperação (NRR) do N aplicado ao solo, na forma de adubo mineral, para a cultura de milho forragem, em experiências de blocos casualizados e arranjos sistemáticos. O N mineral (kg/ha) aplicado ao solo inclui um adubo de libertação controlada (LC).

Com os arranjos sistemáticos, as linhas das plantas testemunha nunca ficaram próximas do talhão mais fertilizado, e as plantas dos extremos das linhas ficaram sempre junto de talhões não fertilizados, e assim, terão expressado melhor a baixa produtividade correspondente à ausência de adubo mineral. Em comparação com os talhões localizados ao acaso, as plantas testemunha na experiência de arranjos sistemáticos terão sido sujeitas a restrições mais fortes de N. Cresceram mais lentamente, e as suas folhas mantiveram-se amareladas durante toda a experiência, o que não aconteceu nos blocos casualizados. Na colheita, verificou-se que o teor de N na matéria seca das plantas teste-

munha variou entre 0,72% e 0,86% nos arranjos sistemáticos enquanto que as plantas testemunha, na experiência de blocos casualizados, possuíam um concentração variável entre 0,96% e 1,02% N. Estas concentrações de N explicam a baixa produtividade (< 9 t/ha PS) e a menor acumulação de N (62 kg/ha) das testemunhas na experiência de arranjos sistemáticos, em comparação com a de blocos casualizados (17 t/ha PS e 185 kg/ha N). Também, o facto de não existirem diferenças significativas entre a produção com 140 kg/ha e 210 kg/ha de N mineral na experiência de blocos casualizados, poderá ser explicado por parte do N dos talhões com 210 kg/ha ter sido utilizado por

plantas de outros talhões adjacentes.

O adubo de libertação controlada, em comparação com o fertilizante tradicional (nitríco-amoniaco), teve uma maior eficiência agronómica e uma maior taxa de recuperação de N (Figura 4), o que permite sugerir que poderá maximizar a absorção do N porque o disponibiliza de forma mais síncrona com as necessidades da planta, diminuindo, assim, os riscos de lixiviação de N nítrico.

CONCLUSÕES

A aplicação dos compostos da FSC ao solo imediatamente antes da sementeira, e as características que lhes são intrínsecas, como a sua condutividade eléctrica, poderão explicar o facto destes não terem contribuído para o aumento da produtividade do milho na experiência de arranjos sistemáticos, ou terem mesmo provocado um decréscimo de produção na experiência de blocos casualizados. Este decréscimo resultou, provavelmente, da criação de condições adversas à germinação e ao crescimento das jovens plantas. Assim, a sua incorporação no solo tem de ser realizada com compostos mais maduros e/ou muito antes da sementeira. A aplicação deste tipo de compostos ao solo, quando bem maturados, poderá ser recomendada até doses de 20 a 25 t/ha sem se ultrapassar a dose máxima de N orgânico recomendada pelo código das boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola.

A eficiência com que a cultura recuperou o azoto aplicado ao solo diminuiu de 43% para 26% quando se aumentou a aplicação de N mineral de 140 para 210 kg/ha na experiência de blocos casualizados, enquanto na experiência de arranjos sistemáticos, foi sempre superior a 93%, ultrapassando os 100% da dose de 90 kg/ha aplicada com o adubo nítrico-amoniaco e da dose de 180

kg/ha aplicada com o adubo de libertação controlada. Deste modo, sugere-se este último tipo de adubos para maximizar a absorção do N porque disponibiliza este nutriente de forma mais sincronizada com as necessidades da planta, diminuindo os riscos de lixiviação de N nítrico, para além de ser mais prático para o agricultor aplicar todo o adubo antes da sementeira.

A diferença de produtividade e de acumulação de N no milho, entre os talhões não fertilizados de ambas as experiências, sugere que as bordaduras, na experiência de blocos casualizados, não terão sido suficientemente eficazes, sendo necessário aumentar muito a distância entre talhões neste tipo de delineamento experimental. Caso contrário, será preferível utilizar um delineamento com arranjo sistemático dos tratamentos que possa evitar a competição do milho entre talhões, para que o cálculo da eficiência agronómica do N, e da recuperação do N mineral aplicado ao solo, seja mais rigorosa. No entanto, parte da variação entre as produtividades de milho nas duas experiências poderá resultar, também, de diferenças nas condições ambientais entre os dois anos consecutivos e não exclusivamente nas diferenças de delineamento experimental.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pelos fundos estruturais da União Europeia através do projecto nº 794 da Acção 8.1 do PO AGRO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blacklow, W.M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, **12**: 647-650.

- Bleasdale, J.K.A. 1967. Systematic designs for spacing experiments. *Exp. Agric.*, **3**: 73-85.
- Brito, L.M & Hadley P. 1993. Effects of composted municipal waste and a paper mill waste composted with bark on the growth of vegetable crops. In A.C. Fragoso and van Beusinchem (eds) *Optimization of plant nutrition*, pp.101-105. Kluwer A.P. Netherlands.
- Cleaver, T.J., Greenwood, D.J. & Wood, J.T.1970. Systematically arranged fertilizer experiments. *J. Hortic. Sci.* **45**:457-469.
- Darby, H.M. & Lauer, J.C. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agron. J.* **94**:559-566.
- Demarquilly, C. 1994. Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage. *INRA. Prod. Anim.* **7**(3):177-189.
- Dilz, K. 1988 Efficiency of uptake and utilization of fertilizer nitrogen by plants. In D.S. Jenkinson *et al.* (eds) *Nitrogen efficiency in agricultural soils*, pp. 1-26. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Ford, M. & Fleming, R. 2002. Mechanical solid-liquid separation of livestock manure. Literature review. *Report to Ontarioa Pork*. Ridgeway College, University of Guelph.
- Gonçalves, M. S. & Baptista, M. 2001. Proposta de regulamentação sobre qualidade do composto para utilização na agricultura. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, INIA, MADRP, Lisboa.
- Herrmann, A. & Taube, F. 2005. Nitrogen concentration at maturity – An indicator of nitrogen status in forage maize. *Agron. J.* **97**:201-210.
- Huggins, D.R. & Pan W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron.J.* **85**: 898-905.
- Mead, R. 1990. *The design of experiments*. Cambridge, UK: CUP
- Moll, R.H., Kamprath, E.J. & Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. *Agron. J.* **74**:562-564.
- Nelder, J.A. 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*, **18**: 283-307.
- Nielsen, N.E., Schjorring, J.K. & Jensen, H.E. 1988. Efficiency of fertilizer nitrogen uptake by spring barley. D.S. Jenkinson *et al.* (eds) *Nitrogen efficiency in agricultural soils*, pp. 62-72. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Strong, W.M. 1995. Nitrogen Fertilization of Upland Crops. In Bacon, P.E. (ed). *Nitrogen Fertilization in the Environment* pp.129-169. Marcel Dekker, New York.
- Taylor, H.M., Huck, M.G., Klepper, B. & Lund, Z.F. 1970. Measurement of soil grown roots in a rhizotron. *Agron. J.* **62**: 807-809.
- Trindade, H. 1997. *Fluxos e perdas de azoto em explorações forrageiras de bovinicultura leiteira no noroeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real.
- Weaver, J.E. 1926. *Root development of field crops*. McGraw-Hill, N. York.
- Wen, G., Schoenau, J.J., Charles, J.L. & Inanaga, S. 2003. Efficiency parameters of nitrogen in hog and cattle manure in the second year following application. *J. Plant Soil Sci.* **166**: 490-498.