



GESTÃO DE FERTILIZANTES DE LIBERTAÇÃO GRADUAL DE NUTRIENTES EM RELVADOS MUNICIPAIS

Paula Cristina da Rosa Magalhães

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia

Orientado por:

Prof. Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Bragança

Junho de 2009

Esta dissertação não inclui
as críticas e sugestões feitas
pelo júri.

À memória da minha mãe

Ao meu pai, minha irmã,
meu cunhado e meu sobrinho

A ti meu amor

Agradecimentos

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento.

Ao Sr. Professor Doutor Manuel Ângelo Rodrigues, orientador desta dissertação, pelo apoio constante, dedicação e ajuda dispensada ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. Engenheiro Francisco Tavares, Presidente da Câmara Municipal de Valpaços, quero agradecer todo o apoio e incentivo dado proporcionando todas as condições necessárias à realização deste trabalho.

À Sra. Professora Doutora Margarida Arrobas, responsável pelo laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança, no qual decorreram parte dos trabalhos da dissertação.

Ao Sr. Professor Luís Dias do Departamento de Ambiente e Recursos Naturais pela ajuda prestada.

À Sra. Rita, técnica do laboratório de solos da ESAB, agradeço a sua disponibilidade para me ajudar sempre que necessitei.

Aos funcionários do sector dos jardins da Câmara Municipal de Valpaços, Claudina, Reis, Eduardo e Tozé, agradeço a disponibilidade, o zelo e a prontidão demonstrada, sempre que foi solicitado o seu auxílio.

À Carla Cerdeira, agradeço todo o apoio dado ao longo da elaboração deste trabalho.

Ao Paulo e Valter pela ajuda prestada.

À minha família agradeço toda a compreensão e apoio dado.

E a todos que directamente ou indirectamente ajudaram na elaboração desta dissertação, aqui deixo o meu muito obrigado.

Índice

Agradecimentos	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de quadros	IX
Resumo	X
Abstract	XII
Nota introdutória.....	1
Justificação do tema.....	3
1. Aspectos gerais da dinâmica de azoto no solo e da fertilização azotada	4
1.1. Formas de azoto no solo e absorção pelas plantas	5
1.2. Dinâmica do azoto no solo.....	6
1.3. Gestão da fertilização azotada.....	9
1.4. Adubos de libertação lenta, libertação controlada e adubos estabilizados	11
2. Materiais e métodos	15
2.1. Local do ensaio.....	15
2.2. Delineamento experimental e aplicação dos fertilizantes.....	17
2.3. Amostragem, determinações laboratoriais e análise dos resultados.....	18
3. Resultados.....	20
3.1. Produção de biomassa e azoto exportado	20
3.2. Monitorização do teor de nitratos no solo.....	24
3.3. Avaliação da composição florística do relvado.....	25
3.4. Índices de eficiência de uso do azoto	26
4. Discussão dos resultados.....	28
5. Conclusões.....	31
Referências bibliográficas	32

Índice de figuras

Figura 1. Temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada.....	16
Figura 2. Evolução da produção média diária de matéria seca em função dos fertilizantes utilizados..	20
Figura 3. Produção média acumulada de matéria seca ao longo da estação de crescimento.....	21
Figura 4. Variação da concentração de azoto na matéria ao longo da estação de crescimento.....	22
Figura 5. Exportação média diária de azoto ao longo da estação de crescimento.....	23
Figura 6. Acumulação do azoto exportado na matéria seca ao longo da estação de crescimento.....	24
Figura 7. Concentração de nitratos nos extractos preparados a partir da eluição das membranas de troca aniónica..	25
Figura 8. Abundância relativa de leguminosas no relvado.	26

Índice de quadros

Quadro 1. Produção de matéria seca do relvado, azoto exportado, indicadores de eficiência de uso de azoto e indicador de eficiência económica dos fertilizantes.....	26
--	----

Resumo

Com vista a reduzir a contaminação ambiental associada ao uso de fertilizantes convencionais foram desenvolvidos os adubos que libertam os nutrientes de forma gradual, tentando assegurar um fornecimento mais regular de azoto às plantas durante o seu ciclo vegetativo, reduzindo o número de aplicações e restringindo as perdas de azoto.

Os objectivos gerais do trabalho passaram por avaliar os efeitos dos fertilizantes de libertação gradual na produção de biomassa de um relvado municipal. Simultaneamente foram monitorizados os teores de azoto nítrico no solo ao longo da estação de crescimento, bem como as modificações ocorridas na composição florística do relvado.

Este trabalho decorreu num relvado do Município de Valpaços no ano de 2008. Foram implementados os seguintes tratamentos: Floranid permanent 16:7:15 (adubo de libertação lenta, IBDU/Isodur); Basacote plus 9M 16:8:12 (adubo de libertação controlada, copolímero etileno acrílico); Nitroteck 20:8:10 (fertilizante estabilizado, DCD como inibidor da nitrificação + revestimento de politerpeno); Nitrolusal (20,5% N); e uma modalidade testemunha sem azoto. Os fertilizantes foram aplicados em dose equivalente a 120 kg N ha^{-1} em 11 de Março de 2008. O Nitrolusal foi fraccionado em duas aplicações, sendo a segunda metade aplicada em 10 de Julho. Atendendo às diferentes composições dos adubos em macronutrientes, as doses de fósforo e potássio foram ajustadas com superfosfato 18% e cloreto de potássio, tornando-as equivalentes em todos os tratamentos. Para avaliar o desenvolvimento do relvado foram feitos cortes sequenciais desde Abril a Setembro. Com base na biomassa obtida foi determinado o azoto exportado. O teor de nitratos no solo foi monitorizado usando membranas de troca aniónica enterradas directamente no solo. Em Outubro foi avaliada a dinâmica da vegetação por comparação da matéria seca das componentes gramíneas e trifoliadas.

A matéria seca produzida foi significativamente superior no Floranid, Nitroteck e Nitrolusal em relação a Basacote, tendo este fertilizante produzido matéria seca significativamente superior à testemunha. Contudo, o azoto exportado no Basacote não foi inferior aos restantes fertilizantes. Através do teor de nitratos nos extractos

confirmou-se que o Basacote disponibilizou mais azoto nas fases mais avançadas do ciclo. O azoto libertado em fase avançada do ciclo teve menor influência na matéria seca produzida, mas aumentou a concentração de azoto nas plantas nos últimos cortes. A maior disponibilidade de azoto no talhão do Basacote na fase avançada da estação de crescimento favoreceu a componente gramínea em detrimento da leguminosa. Resultado semelhante ocorreu com Nitrolusal devido ao seu fraccionamento. Os índices de eficiência económica foram favoráveis a Nitroteck e desfavoráveis a Basacote, devido à grande diferença nos preços.

Abstract

In order to reduce environmental contamination from the use of fertilizers, it has appeared on the market a range of fertilizers that release nutrients gradually, trying to ensure a more regular supply of nitrogen to the plants during the growing season and, at the same time, reduce the number of applications and limit nitrogen losses.

The general objectives of this study were the evaluation of the effects of slow-release fertilizer in the production of biomass of a municipal turf grass. In addition soil nitrate nitrogen content was monitored during the growing season, being also the changes in floristic composition of the turf recorded.

The field experiment was carried out in the growing season of 2008, in the gardens of the city of Valpaços. Five fertilizer treatments were established: Floranid permanent 16-7-15 (slow-release, IBDU/Isodur fertiliser); Basacote plus 9M 16-8-12 (controlled-release fertiliser, copolymer ethylene acrylic); Nitroteck 20-8-10 (stabilized fertiliser, DCD as nitrification inhibitor + coating with polyterpene); Nitrolusal (ammonium nitrate, 20.5% N); and a zero N control. The fertilizers were applied in doses equivalent to 120 kg N ha⁻¹ on March 11th. Nitrolusal rate was split into two applications. The levels of phosphorus and potassium were adjusted with 18% superphosphate and potassium chloride. Sequential cuts were made to determine the production of dry matter and nitrogen recovered. The soil nitrates levels were checked by using anionic exchange membranes, buried in the soil. In October, the vegetation's status was evaluated by comparing the dry matter of the trifoliolate and grass components.

Dry matter yield was significantly higher with Floranid, Nitroteck and Nitrolusal than with Basacote, having this fertilizer produced significantly greater dry matter than the control treatment. However, nitrogen recovered in Basacote was not lower than that in the other fertilized plots. Through the level of nitrate in the extracts, it has been confirmed that the Basacote released more nitrogen in the advanced stages of the growing season. The nitrogen released later had less influence on dry matter yield, but increased the concentration of nitrogen in plants in latest cuts. The increased availability of nitrogen in the plot of the Basacote as the growing season progressed favored the

grass component. Similar result was obtained with Nitrolusal due to its fractionation. The economic efficiency index was favorable to Nitroteck and unfavorable to Basacote due to the large differences in their prices.

Nota introdutória

O aumento populacional que caracterizou o século XX determinou a ocupação de áreas cada vez mais extensas pelo Homem, implicando um recuo e conseqüentemente uma diminuição dos espaços naturais, com reflexos negativos sobre os restantes seres vivos. Por outro lado, além da ocupação de novas áreas, tem-se verificado sobretudo o aumento da densidade daquelas em que a permanência do Homem já se faz sentir, desde tempos recentes ou mesmo há dezenas de gerações.

Ao par do aumento da taxa de urbanização, fenómeno claramente característico do século XX, desenvolveram-se diversas actividades económicas associadas aos meios urbanos, gerando importantes concentrações de pessoas, indústria e redes de transportes. Esta situação implica um enorme aumento do consumo do espaço e de recursos naturais paralelamente ao agravamento da poluição. Neste processo, a artificialização do meio tem sido uma constante, com a conseqüente diminuição do espaço ocupado pelos elementos naturais.

Para contrariar todos estes efeitos, as áreas de espaços verdes têm vindo a aumentar e cada vez mais têm um papel importante dentro das comunidades.

A importância dos espaços verdes nos nossos dias, e numa perspectiva futura, é tão evidente que dispensa argumentos de justificação. Na verdade, à medida que as sociedades vão evoluindo no sentido de uma maior qualidade de vida, mais exigências se vão colocando a nível de espaços verdes. Segundo Veloso *et al.* (s/d), se não se pode ter uma alimentação racional sem dispor de uma considerável gama de legumes, também não se pode atingir uma qualidade de vida aceitável sem espaços verdes.

A melhoria do ambiente dentro dos espaços urbanos pode fazer-se sentir através dos espaços verdes e, por conseqüência, a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos passa entres outros aspectos, pela aposta em espaços verdes de qualidade e em quantidade suficiente para que a sua influência positiva se possa fazer sentir.

Desta forma, cada vez mais, as Autarquias têm a percepção que os espaços verdes são formas de embelezar a urbe que aliam as vertentes estética e funcional, contribuindo para o bem-estar da comunidade.

O Município de Valpaços tem posto em prática a sua valorização, apostando na execução de projectos que tornem o concelho mais verde e ecológico.

Justificação do tema

A preservação do ambiente constitui hoje uma preocupação, face às ameaças que continuamente surgem, pondo em risco a sua própria sobrevivência. A utilização desregrada de fertilizantes pode ser uma fonte de contaminação e de poluição ambiental, seja dos solos, das águas e do ar. Algumas das substâncias constituintes ou provenientes de muitos adubos, como os nitratos, são dotados de grande solubilidade e, por isso, facilmente arrastados pelas águas das chuvas ou das regas.

Contudo, para que um relvado apresente bom desenvolvimento é fundamental proceder a fertilizações, que no início da primavera devem assentar na utilização de adubos compostos e depois, ao longo do ciclo vegetativo, devem ser suplementadas com adubos azotados (Serrano, s/d).

A fim de assegurar um fornecimento mais regular de azoto aos relvados, reduzir o número de aplicações, limitar as perdas de azoto nas águas de lixiviação, podem utilizar-se fertilizantes de libertação gradual de nutrientes, que permitem aumentar a eficiência do uso do azoto e outros nutrientes, reduzindo a contaminação do meio ambiente. Contudo, estes fertilizantes tendem a ser mais caros quando comparados com os fertilizantes convencionais.

Sendo as câmaras municipais entidades que gerem áreas significativas de espaços verdes são, por isso, potenciais utilizadores deste tipo de fertilizantes. Assim, dispor de informação sobre fertilizantes de libertação gradual de nutrientes será seguramente útil na gestão dos espaços verdes, mantendo-os aprazíveis mas com custos moderados.

1. Aspectos gerais da dinâmica de azoto no solo e da fertilização azotada

Para atingirem a sua máxima expressão produtiva as plantas necessitam que o solo disponha de um bom equilíbrio entre os elementos essenciais (Calouro, 2005). Para além de nutrientes as plantas devem dispor ainda de condições ambientais favoráveis ao crescimento, como temperatura, luz, humidade entre outras. A fertilização constitui-se como o reforço da disponibilidade dos elementos no solo necessário para que as plantas cultivadas possam expressar todo o seu potencial produtivo. De uma maneira geral os solos agrícolas não contêm os macronutrientes principais, azoto, fósforo e potássio, em quantidades adequadas ao desenvolvimento plantas.

O azoto é o elemento mais abundante na atmosfera. A molécula mais abundante, o N_2 , representa cerca de 79% da totalidade dos gases presentes (Barber, 1995). Contudo, o azoto é o elemento mais limitante ao desenvolvimento das plantas, quer em ecossistemas naturais quer em solos agrícolas. O azoto é um elemento chave na nutrição mineral das plantas (Dores *et al.*, 2008), sendo o elemento aplicado em maiores quantidades como fertilizante. A concentração de azoto nos tecidos vegetais situa-se entre 1 a 5 % (Santos, 1996).

Dada a limitação natural de azoto no solo, este constitui-se como um factor limitante crónico do desenvolvimento vegetal tanto em ecossistemas naturais como agrícolas. A aplicação de azoto como fertilizante tem normalmente um efeito marcado no desenvolvimento vegetativo e na produção final. Este aspecto faz com que haja alguma tendência para se aplicar azoto em excesso. Azoto em excesso constitui-se como uma perda económica, dada a falta de retorno do investimento em fertilizante. Por outro lado, o azoto pode sofrer diversas transformações no solo, podendo ser perdido tanto para águas de percolação como para a atmosfera, constituindo-se como fonte importante de contaminação ambiental.

O ciclo biogeoquímico do azoto é provavelmente o mais estudado, de entre todos os elementos essenciais à vida, pela importância do azoto enquanto elemento nutriente, pela dificuldade em gerir a fertilização azotada e pelas implicações potenciais de diversas formas de azoto nos ecossistemas e na saúde pública e sanidade animal

(Stevenson, 1986). A compreensão da dinâmica do azoto no solo é fundamental na gestão da fertilização azotada e na minimização de riscos de contaminação ambiental (Dores *et al.*, 2008).

1.1. Formas de azoto no solo e absorção pelas plantas

O azoto encontra-se no solo em formas orgânicas e minerais. As formas orgânicas representam 93 a 97 % do total do azoto nos solos (Campbell, 1978). As formas orgânicas não são absorvidas pelas plantas, com excepção de moléculas solúveis de baixo peso molecular, como alguns aminoácidos. As formas orgânicas constituem-se como uma reserva de nutrientes, disponíveis para as plantas após a sua mineralização pelos microrganismos do solo. As formas de azoto normalmente absorvidas pelas plantas são o ião nitrato (NO_3^-) e o amoníaco (NH_4^+). Existem outras formas de azoto mineral no solo, embora de menor significado agrícola e ecológico, como o ião nitrito (NO_2^-). Azoto elementar (N_2) e óxidos de azoto (NO_x) estão também presentes na atmosfera do solo (Stevenson, 1986).

As plantas absorvem sobretudo NO_3^- e/ou NH_4^+ . Em solos arejados as plantas absorvem maioritariamente NO_3^- , devido à abundância relativa desta forma de azoto. Plantas adaptadas a solos alagados ou a solos com pH muito ácido podem absorver maioritariamente NH_4^+ , devido ao predomínio deste espécime no solo (Tisdalle *et al.*, 1985). A forma em que o azoto é absorvido tem implicações na rizosfera e no metabolismo da planta. Quanto a planta absorve NH_4^+ , o processo é acompanhado da libertação de um protão com efeito acidificante. Quando a planta absorve NO_3^- o processo é acompanhado da libertação de bicarbonato, com efeito contrário no solo (Tisdalle *et al.*, 1985). Quando as plantas absorvem NH_4^+ , este tem de ser imediatamente assimilado na raiz, devido ao facto de ser fitotóxico. Assim, as plantas necessitam de dispor de energia e quelatos carbonados para a assimilação do azoto. Se a forma de azoto disponível no solo é o ião nitrato, este pode ser absorvido e acumulado na parte aérea, nomeadamente nos vacúolos dos tecidos condutores. Contudo, quando o azoto é absorvido na forma de nitrato este tem de ser reduzido para ser assimilado, o que tem também elevados custos energéticos para as plantas (Marschner, 1986).

1.2. Dinâmica do azoto no solo

O azoto é susceptível de sofrer inúmeras transformações no solo, desde a conversão de formas orgânicas a minerais, bem como o inverso, e também diversas transformações entre formas minerais. Genericamente designa-se de aminização a degradação dos substratos orgânicos complexos em compostos orgânicos simples, como aminoácidos e proteínas (Santos, 1996). Por amonificação entende-se a conversão destes compostos orgânicos simples em amoníaco. Estas transformações ocorrem devido à acção de microrganismos heterotróficos que usam os substratos orgânicos como fonte de energia. O ião amónio é convertido em nitrito e este em nitrato pela acção de bactérias autotróficas aeróbias dos géneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, respectivamente, fenómeno designado de nitrificação (Boswell *et al.*, 1985). O termo mineralização deve ser entendido como o processo geral da conversão de substratos orgânicos em formas minerais, em particular NH_4^+ . A ureia é uma forma orgânica de azoto que pode surgir no solo a partir de um substrato orgânico natural, como os estrumes de aviário, ou através de um adubo de síntese industrial. A hidrólise da ureia tende a ser um processo muito rápido em solos agrícolas (Rodrigues, 2004) e deve-se à acção de microrganismos que contém urease nos seus sistemas enzimáticos.

Durante o processo de decomposição dos substratos orgânicos os microrganismos podem usar azoto mineral disponível, em particular NH_4^+ , sempre que os substratos a decompor tenham baixos teores em azoto ou genericamente reduzida razão C/N. A razão C/N dá indicação da relação entre o valor energético e o teor de proteína dos substratos. Se os substratos orgânicos têm razão C/N baixa significa que o azoto não é factor limitante à decomposição do resíduo orgânico. Se a razão C/N for elevada significa que o substrato tem proporcionalmente mais energia que proteína. Nestas condições os microrganismos podem usar azoto mineral do solo, competindo com as plantas pelo recurso. Quando os microrganismos retiram azoto mineral no solo no processo de decomposição dos substratos diz-se que ocorreu imobilização biológica (Jansson e Persson, 1982). O balanço do processo mineralização/imobilização é difícil de prever constituindo-se como uma das etapas difíceis dos sistemas de recomendação de fertilização.

O ião nitrato é quimicamente estável em solos bem arejados e de reacção próxima da neutralidade. Contudo, em condições particulares, como em situações de anóxia,

pode ser utilizado por bactérias anaeróbias que usam o ião nitrato como aceitador terminal de electrões da cadeia respiratória com libertação de N_2 e/ou óxidos de azoto. O fenómeno é conhecido como desnitrificação biológica (Firestone, 1982). Nos campos agrícolas é um fenómeno comum nos arrozais e em outros campos em que persista reduzido arejamento do solo. A desnitrificação biológica é um fenómeno de uma importância ecológica extrema uma vez que permite descontaminar o planeta das formas oxidadas de azoto fechando o ciclo do nutriente com a formação de N_2 . Contudo, com a desnitrificação biológica podem formar-se óxidos de azoto (N_2O , NO , ...) com implicações ambientais negativas importantes, contribuindo para o aquecimento global e para a depleção da camada de ozono. Do ponto de vista agrícola a desnitrificação corresponde a perda de azoto dos solos, reduzindo a eficiência de uso do nutriente. Para além de quimicamente estável, a carga negativa do ião nitrato faz com que não seja retido no complexo coloidal do solo, maioritariamente com carga positiva. Assim, e sendo particularmente solúvel em água, o ião nitrato pode sair do solo nas águas de percolação, num fenómeno designado de lixiviação. A lixiviação de nitratos a partir dos solos agrícolas tem estado no centro das atenções das comunidades científicas e política, devido ao impacte muito negativo na eutrofização das águas superficiais e da contaminação dos aquíferos.

O ião amónio tendo carga positiva pode surgir no solo adsorvido ao complexo coloidal e ficar assim mais protegido da lixiviação, mesmo sendo também um ião solúvel em água. Outro aspecto importante é que o ião amónio tem um raio semelhante ao do potássio na sua forma desidratada, podendo trocar com este ião na malha cristalina dos minerais de argila do tipo 2:1, podendo ser fixado nestes minerais (Nommik e Vahtras, 1982). A fixação de NH_4^+ nos minerais de argila tanto pode significar protecção do ião contra perda de azoto por lixiviação como uma perda de eficiência por não ficar disponível para as plantas. A libertação do ião fixado é um processo que pode ser lento e ter um ritmo imprevisível, sendo portanto difícil de gerir.

Contudo, azoto na forma amoniacal pode sair do solo por volatilização de amoníaco. Em solução aquosa o ião NH_4^+ está em equilíbrio com NH_3 . Quando o pH do solo é elevado tende a aumentar a proporção de NH_3 que, sendo um gás, pode sair do solo para a atmosfera (Schmidt, 1982). Assim, aplicações superficiais de adubos amoniacais ou materiais orgânicos com elevada concentração em NH_4^+/NH_3 ou

compostos orgânicos que rapidamente se convertam em NH_3 podem originar perdas significativas de amoníaco para a atmosfera. Para além da perda de azoto enquanto nutriente também o amoníaco tem implicações ambientais negativas. Pode estar associado ao fenómeno das chuvas ácidas, eutrofização de águas por deposição atmosféricas, etc.

Quantidades significativas de azoto podem sair do solo por erosão. Por erosão entende-se a perda de solo transportado pelo vento ou pelas águas de escoamento superficial. Na bacia mediterrânea assume particular importância a erosão hídrica, sobretudo associada às chuvadas estivais de elevada intensidade. Nestas condições, a quantidade de água que cai supera a capacidade de infiltração dos solos, escoando superficialmente o excesso de água que arrasta consigo o solo. Por erosão perde-se sobretudo azoto orgânico, por ser esta a fracção de azoto mais abundante nos solos. A erosão dos solos é dos fenómenos que mais afecta a sustentabilidade das produções ficando os solos progressivamente mais pobres. A jusante, os sedimentos podem contribuir para a eutrofização das águas e para o assoreamento das albufeiras e dos cursos de água navegáveis.

Por processos naturais, o azoto chega ao solo sobretudo através de dois processos: fixação biológica de N_2 , e deposições atmosféricas húmidas e secas. Fixação biológica de azoto é levada a cabo por microrganismos que conseguem usar N_2 como fonte de azoto. Todos os microrganismos fixadores de azoto contêm nitrogenase, um sistema enzimático que consegue romper a ligação covalente tripla que une os dois átomos de azoto da molécula N_2 . Os organismos com capacidade de fixação podem viver livres na rizosfera, em associações específicas estabelecidas com plantas superiores ou em simbiose com espécies da família das leguminosas e outras (Mengel e Kirkby, 1987). A capacidade de fixação aumenta extraordinariamente nos sistemas simbióticos de fixação. O homem tem promovido sobretudo o estabelecimento de relações simbióticas entre espécies da família das *Rhizobiaceae* e *Fabaceae*. Em solos agrícolas a capacidade de fixação das simbioses rizóbio/leguminosas pode atingir elevados níveis de fixação, mantendo a sistema agrícola altamente produtivo sem adição de fertilizantes azotados. As deposições atmosféricas consistem na adsorção pelo solo de gases azotados e na presença de iões amónio e nitrato e azoto orgânico na água das chuvas (Legg e Meisinger, 1982). A quantidade de azoto introduzido pode ter significado elevado em

ecossistemas naturais mas é geralmente pouco significativa nos solos agrícolas devido às elevadas quantidades de azoto necessárias ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas.

Em solos agrícolas sai anualmente do solo uma quantidade elevada de azoto exportado pelas culturas. As entradas naturais não asseguram produtividades adequadas às espécies cultivadas, normalmente de elevadas necessidades de azoto, excluindo eventualmente pastagens ricas em leguminosas. Em solos agrícolas o equilíbrio entre entradas e saídas consegue-se com a aplicação de fertilizantes. Em espécies cultivadas de elevadas necessidades em azoto, como o milho, podem obter-se produções crescentes com doses de azoto aplicadas superiores a 400 kg ha^{-1} .

1.3. Gestão da fertilização azotada

Atendendo aos inúmeros mecanismos identificados de perdas de azoto do solo, a eficiência de uso do elemento pelas plantas é geralmente reduzida. A percentagem do azoto aplicado como fertilizante que é recuperado pelas culturas pode variar entre 30 a 80% (Shaviv, 1993). Parte do azoto que não é recuperado eventualmente perde-se, constituindo-se como um contaminante das águas ou da atmosfera. Contudo, a eficiência de uso de azoto pode aumentar muito se forem aplicadas as doses correctas de fertilizante, nos momentos mais oportunos e escolhidas as formas de azoto mais adequadas.

Contudo, aplicar a dose correcta não é necessariamente fácil. Os laboratórios não dispõem ainda hoje de métodos eficazes, com capacidade de prever qual a disponibilidade natural de azoto de um solo. Sabe-se que a mineralização da matéria orgânica nativa do solo pode dar um contributo importante para nutrição azotada das plantas, mas os laboratórios não conseguem fazer essa previsão com qualidade satisfatória (Rodrigues, 2000). Assim, a recomendação da fertilização azotada é de pior qualidade que a dos outros macronutrientes e em grande medida é uma recomendação empírica.

A dificuldade em fazer recomendações da fertilização azotada satisfatórias com base em análise de terras, tem levado a uma linha de intervenção interessante que consiste na redução da aplicação da dose de azoto em fundo, sendo complementadas as

necessidades das plantas após avaliação do seu estado nutritivo através de métodos expeditos de campo. Assim, decide-se a meio da estação de crescimento quais as necessidades reais de azoto através da avaliação do estado nutritivo das plantas. Desta forma é possível melhorar a eficiência de uso do nutriente (Rodrigues *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2005).

O fraccionamento da dose de azoto é também uma forma de melhorar a eficiência de uso do nutriente (Westermann e Davis, 1992). Atendendo à grande dinâmica do nutriente no solo e à possibilidade real deste sair da rizosfera, deve aplicar-se o nutriente quando as plantas estejam numa fase de absorção activa para aumentar a oportunidade de absorção radicular. Em agricultura de sequeiro, em culturas Outono/Inverno, é frequente aplicar-se uma pequena fracção da dose de azoto recomendada em fundo, antes da sementeira, e uma fracção maior após a estação húmida, no fim do Inverno, quando o risco de perda de azoto por lixiviação e desnitrificação de nitratos se reduz e aumenta o ritmo de crescimento das plantas com o aumento da temperatura. Em agricultura de regadio é frequente fazer-se o fraccionamento do azoto na água de rega em várias doses ao longo da estação de crescimento melhorando, assim, a oportunidade de absorção radicular e a eficiência de uso do nutriente.

A forma química em que o nutriente se aplica pode influenciar a eficiência de uso do nutriente, devido à sua própria dinâmica no solo. Os fertilizantes orgânicos, por exemplo, apresentam invariavelmente reduzida eficiência de uso do azoto (Rodrigues *et al.*, 2006). Antes de ser utilizado pelas plantas o azoto neles contido tem de ser mineralizado, sendo este processo tendencialmente lento e pouco previsível. As formas amoniacais tendem a ser preferíveis quando o risco de perda é ainda elevado e se admite que o ritmo de absorção é ainda lento. Espera-se destas formas de azoto que resistam melhor que as formas nítricas aos fenómenos de lixiviação e desnitrificação de nitratos. Contudo, em solos agrícolas arejados a nitrificação é um processo muito rápido (Rodrigues, 2004), podendo não ser significativas as vantagens do uso das formas amoniacais. Por outro lado alguns solos com argilas do tipo 2:1 podem fixar parte significativa do azoto aplicado. Embora este azoto não esteja “perdido” fica temporariamente indisponível para absorção radicular. Na aplicação de formas amoniacais deve assegurar-se que as perdas por volatilização de amoníaco não ocorrem, fazendo a incorporação imediata do adubo em particular em solos alcalinos.

As formas nítricas consideram-se mais adequadas para aplicar quando as plantas se encontram em fase de crescimento activo. As plantas podem absorver grandes quantidades de nitrato e acumula-lo nos tecidos como forma de reserva. Por vezes nos fertilizantes associa-se a forma nítrica e a amoniacal na esperança de que a forma nítrica tenha um efeito mais rápido na vegetação e a forma amoniacal uma acção mais duradoura.

Com vista a reduzir a contaminação ambiental associada ao uso de fertilizantes, surgiu no mercado uma linha dos fertilizantes que libertam os nutrientes de forma gradual, tentando assegurar um fornecimento mais regular de azoto às plantas, e ajustado no tempo às suas necessidades. Dada a importância deste tipo de fertilizantes para este trabalho é-lhe dedicado um tópico separado que se apresenta a seguir.

1.4. Adubos de libertação lenta, libertação controlada e adubos estabilizados

Adubos de libertação lenta e adubos de libertação controlada são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos elementos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos. Os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e outros ureia-aldeídos são normalmente designados comercialmente como adubos de libertação lenta (slow-release fertilisers). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de adubos de libertação controlada (coated or encapsulated controlled-release fertilisers) (Trenkel, 2007). Fertilizantes estabilizados são apenas aqueles que se modificam durante o processo de fabrico com a introdução de um inibidor da nitrificação. Noutras situações podem também usar-se inibidores da nitrificação ou da hidrólise da ureia e não podendo ser designados de adubos estabilizados (Trenkel, 2007).

Os adubos de libertação lenta são produtos de baixa solubilidade que resultam da condensação da ureia. A ureia-formaldeído é uma das formulações mais importantes. Resulta da reacção do formaldeído com excesso de ureia da qual resulta uma mistura de metileno-ureias com polímeros de cadeia longa (formam-se várias moléculas com cadeias de diferentes comprimento). Parte é solúvel em água e fica rapidamente disponível. Outra parte é libertada de forma gradual por um período mais longo.

Apresenta um efeito de libertação lenta significativo, com baixa solubilidade (reduzidos riscos para a vegetação). O processo de libertação dos nutrientes fica dependente da degradação microbiana e indirectamente da temperatura, humidade, pH e oxigénio. Outra formulação importante é isobutilideno-diurea (IBDU). Resulta da reacção de condensação de isobutiraldeído (isobutilideno) líquido com ureia, com formação de um precipitado, formado por uma única molécula, a IBDU. Foi desenvolvida no Japão para a cultura do arroz nos anos 1960. Actualmente é produzida no Japão (Mitsubishi) e na Alemanha (BASF). A libertação de N fica dependente do tamanho do grânulo, humidade e temperatura. Fica disponível por hidrólise. A formulação crotonilideno-diureia (CDU) tem também algum significado no mercado dos fertilizantes. Resulta da reacção da ureia com aldeído acético (Japão) ou crotonaldeído (Alemanha). É decomposto por hidrólise e pela acção de microrganismos. Assim, o tamanho do grânulo, o teor de humidade, a temperatura e actividade biológica do solo são decisivos na degradação do produto (Trenkel, 2007).

Dentro dos adubos de libertação controlada os que resultam de revestimentos da ureia com enxofre (sulfur coated urea, SCU) foram os primeiros a ser desenvolvidos à escala comercial. Os SCU são fertilizantes solúveis que após granulação são envoltos num revestimento de protecção para controlar a entrada de água e reduzir a dissolução do nutriente. Degradam-se lentamente no solo por processos microbiológicos, químicos e físicos. A libertação de nutrientes depende da espessura da membrana relativamente ao tamanho do grânulo. O processo reduz (favoravelmente) a concentração de azoto da ureia de 46 % para 30 a 42 %. São comercializados desde a década de 1970. Têm as vantagens do enxofre ser um nutriente importante e um produto barato. Nos fertilizantes revestidos com polímeros usam-se membranas impermeáveis ou semi-impermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres, resinas, ...). A maior parte dos polímeros decompõem-se muito lentamente. A tecnologia de fabrico varia muito entre empresas relativamente ao material utilizado no revestimento (tipo de polímero) e à técnica de revestimento. A libertação de nutrientes fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana à água. Muitos põem problemas de resíduos no solo pois são dificilmente biodegradáveis. São produtos tendencialmente muito caros (Trenkel, 2007).

Os fertilizantes estabilizados incorporam na sua composição compostos químicos que inibem a nitrificação. Alguns dos inibidores da nitrificação que têm sido incorporados nos fertilizantes são: nitrapirina [2-cloro-6-(triclorometil-piridina)] que se aplica a amoníaco anidro e tem um efeito muito selectivo sobre *Nitrosomonas* spp.; dicianodiamida (DCD), que é uma substância bacteriostática sobre *Nitrosomonas* spp.; e 3,4 – dimetilpirazole fosfato (DMPP), que foi recentemente introduzido no mercado mas ganhou já elevada aceitação. Há ainda muitos outros inibidores da nitrificação e da hidrólise da ureia patenteados com menor ou nulo significado comercial (Trenkel, 2007).

Diversos estudos por todo o mundo têm mostrado os efeitos positivos do uso de adubos de libertação lenta, libertação controlada, adubos estabilizados e inibidores da nitrificação e da hidrólise da ureia no aumento da produtividade das culturas e na redução da contaminação ambiental em diversos condicionalismos agrónomicos críticos para a gestão do azoto. Pasda *et al.* (2001) registaram efeitos positivos da utilização do inibidor da nitrificação DMPP na produtividade de várias espécies cultivadas por toda a Europa. Aumento da produção de arroz e da eficiência de uso do azoto através do uso de adubos de libertação lenta e inibidores da nitrificação foi registado por Carreres *et al.* (2003). Tang *et al.* (2007) observaram um incremento na produção de arroz com o uso de adubos de libertação controlada em comparação com outros fertilizantes específicos para a cultura do arroz. Estudos envolvendo adubos de libertação lenta, adubos de libertação controlada e inibidores da nitrificação em plantas de viveiro envasadas mostraram que as plantas apresentaram melhorias no desenvolvimento comparadas com fertilizantes convencionais (Walter e Hunt, 1999; Fernández-Escobar, 2004; Olliet *et al.*, 2004; Girardi *et al.*, 2005). Smoleń e Sady (2009) registaram que um fertilizante estabilizado com DMPP, manteve o teor de nitratos abaixo dos limites legais estabelecidos (Regulamento da Comissão Europeia No. 655/2004) em cenoura (*Daucus carota*).

Os inibidores da nitrificação têm também sido usados como forma de reduzir a poluição ambiental. Está bem documentado que DCD, DMPP e outros inibidores da nitrificação podem reduzir as emissões de óxido hiponitroso (N₂O) a partir de pastagens de elevada carga animal (Macadam *et al.*, 2003; Zaman *et al.*, 2009), arroz irrigado (Majumdar *et al.*, 2000) e muitas outras culturas regadas (Delgado e Mosier, 1996;

Linzmeier *et al.*, 2001; Shoji *et al.*, 2001; Majumdar *et al.*, 2002). A redução das emissões de metano a partir da rotação trigo-arroz na Índia foi registado por Pathak *et al.* (2003). Os inibidores da nitrificação podem reduzir as emissões de amoníaco a partir de pastagens intensivas (Zaman *et al.*, 2009). A redução na lixiviação de nitratos com o uso de DMPP num pomar de citrinos foi observada por Serna *et al.* (2000). Resultados semelhantes em pastagens com o uso de DCD foram obtidos por Di e Cameron (2005). Emilsson *et al.* (2007) registou uma redução significativa na lixiviação de nutrientes de uma zona ornamental com o uso de adubos de libertação controlada.

2. Materiais e métodos

2.1. Local do ensaio

Este trabalho decorreu na cidade de Valpaços (41° 31' N; 7° 12' O), concretamente num dos melhores relvados de todos os espaços verdes do município, situado no jardim do Largo da Feira. À data da instalação do ensaio o relvado tinha dois anos de idade. A composição florística era completamente dominada por gramíneas, sendo esta a vegetação desejada por razões estéticas. A parcela apresenta-se ligeiramente exposta a Sul com um declive próximo de 1 a 2%. A altitude acima do nível do mar é de 415 m.

O Concelho fisiograficamente, é uma região em correspondência com superfície rebaixada e de forma concoidal, definida pela ampla bacia do Rio Tua, rodeada de todos os lados por formas planálticas de cujos rebordos, a 700/800 m de altitude, se desce, de início, um tanto bruscamente e depois de forma gradual, até ao nível do Rio Tua situado a uma cota de 200/250 m. A superfície concoidal caracteriza-se por um relevo geralmente ondulado, por vezes um tanto expressivo, alternando as áreas aplanadas, como a base do Rio Tua, com outras onde surgem formas bastantes salientes e coroadas por afloramentos de quartzitos. Contudo, as bacias hidrográficas, dos Rios Tua, Rabaçal e Tuela e seus afluentes (rio Torto, Calvo e Vilares), determinam a existência de muitos vales de exposições diversas e portanto de um grande número de microclimas. Apesar destes factores, verifica-se também uma certa uniformidade climática devido sobretudo à protecção da bordadura Ortográfica constituída por relevos acentuados, das serras da Nogueira, Bornes, Padrela, Alvão, Santa Comba e Coroa, que atenuam as influências Ibéricas de características continentais, assim como as provenientes do litoral de características marítimas (Magalhães, 1993).

O clima do concelho insere-se num clima sub-atlântico (PMDFC, 2006). Na frente ocidental prevalece o clima da Terra Fria de Planalto, recebendo a influência da orografia que termina com os 1148 metros de altitude da serra da Padrela. Na área central do concelho predomina o clima sub-atlântico da Terra de transição, onde as formas de relevo ganham uma feição mais aplanada ou suavemente ondulada. Por último, à medida que se acentua o vale do rio Rabaçal, na parte oriental concelhia, destaca-se o clima sub-atlântico Terra Quente. É de salientar que é enorme o gradiente

pluviométrico Oeste-Este no norte de Portugal, certos vales encaixados de Trás-os-Montes recebem anualmente valores semelhantes ao da orla algarvia, apenas alguns maciços elevados, mais expostos ou isolados, como a serra da Padrela escapam à escassez pluviométrica. Assim sendo a serra da Padrela porta-se como uma barreira de condensação, face aos ventos oceânicos carregados de humidade que estão na origem da abundante precipitação, à medida que a altitude diminui vai haver uma retracção na penetração de massas de ar húmido oceânico na área oriental do concelho, vale do Rio Rabaçal, registando-se uma acentuada diminuição dos valores de pluviométricos, em apenas 18,5 km em linha recta passamos de valores de precipitação superiores a 1100 mm anuais, na serra da Padrela, para 560 mm anuais em Rio Torto, conferindo ao clima uma feição mediterrânea. Verifica-se assim que no concelho de Valpaços a quantidade de precipitação diminui de poente para nascente, verificando-se algumas situações pontuais devido à altitude, tendo como explicação o caso da serra de Santa Comba na área sul do concelho.

Na figura 1 observam-se os dados meteorológicos registados na Estação de Valverde, a três quilómetros do local de ensaio, durante o período em que decorreu a experiência. Podemos observar que o Verão decorreu seco e quente, com características típicas dos climas mediterrânicos.

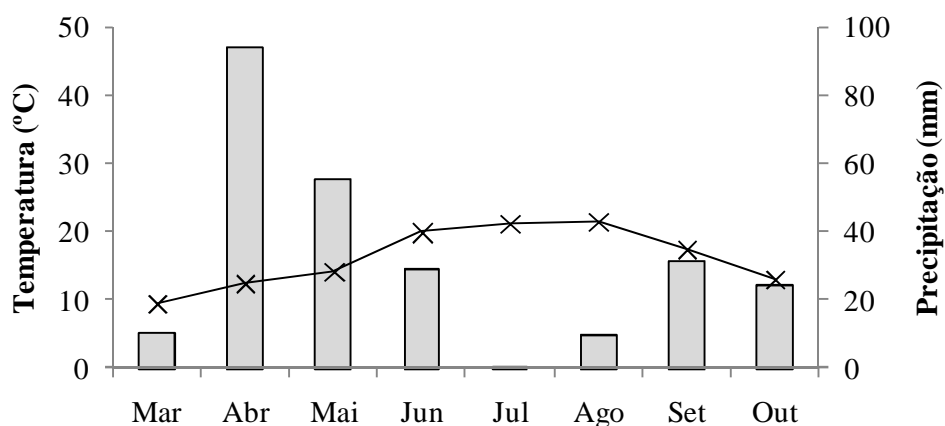


Figura 1. Temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada durante a estação de crescimento (Março-Outubro) registada na Estação Meteorológica de Valverde.

Em termos geo-litológicos a estrutura dos solos da região insere-se na segunda metade da Era Primária, quando tiveram lugar as erupções e o enrugamento da crosta terrestre. Litológicamente o concelho caracteriza-se por possuir solos provenientes de xistos e granito (Martins, 1990).

O solo onde decorreu a experiência apresentou textura franco-arenosa. A análise granulométrica na terra fina revelou 11.6% argila, 12.5% limo, 30.0% areia fina e 45.9% areia grossa. O complexo de troca apresentou 3.86, 0.46, 0.64, 0.60 e 0.01 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente de cálcio, magnésio, potássio, sódio e acidez de troca. O valor de capacidade de troca catiónica do solo apresentou-se baixo com 5.66 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. O solo apresentou valores de pH em água e KCl de 6.68 e 5.64. O teor de matéria orgânica foi de 0.45%. Os valores de fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) determinados pelo método Egner-Rhiem foram 26 e 115 mg kg^{-1} , respectivamente. O conteúdo em azoto (Kjeldahl) e boro (azometina-H) no solo foram 0.62 g kg^{-1} e 0.95 mg kg^{-1} , respectivamente.

2.2. Delineamento experimental e aplicação dos fertilizantes

A área total do jardim foi dividida em cinco parcelas equivalentes. Em cada parcela foi aplicado um tratamento fertilizante. Os fertilizantes utilizados foram:

Nitroteck 20-8-10, fertilizante estabilizado com o inibidor da nitrificação DCD mais um revestimento de politerpeno;

Basacote plus 9M 16-8-12, adubo de libertação controlada, revestido com copolímero etileno acrílico;

Floranid permanent 16-7-15, adubo de libertação lenta (IBDU/Isodur); e

Nitrolusal 20.5% N, adubo convencional (divido em duas doses, metade aplicado em fundo e a outra metade em cobertura).

No delineamento experimental foi também incluída uma modalidade testemunha, sem aplicação de azoto. As repetições nas determinações de campo foram efectuadas dentro de cada macro-talhão.

Os fertilizantes foram aplicados de forma manual a lanço em 11 de Março de 2008. Na modalidade Nitrolusal metade do fertilizante azotado foi aplicado mais tarde, em 10 de Julho de 2008. As doses de fósforo e potássio foram equilibradas entre os diferentes tratamentos, dado os fertilizantes conterem teores diferentes destes

macronutrientes, Foram usados respectivamente os adubos superfosfato 18% e cloreto de potássio. No total foram aplicados em cada tratamento fertilizante 120 kg N ha⁻¹, 35 kg P ha⁻¹ e 62 kg K ha⁻¹.

2.3. Amostragem, determinações laboratoriais e análise dos resultados

A biomassa produzida foi registada a partir de cortes sequenciais ao longo da estação de crescimento. Os cortes iniciaram-se em 15 de Abril e terminaram em 30 de Setembro, num total de 13 cortes. A área de amostragem foi de 1 m². A biomassa foi seca em estufa com ventilação forçada regulada a 65°C. As amostras foram posteriormente moídas num moinho Tecator até um grau de finura que lhe permitia passar num crivo de 1 mm. A partir de tomas de 1.00 g de matéria seca determinou-se a concentração de azoto nas plantas através do método Kjeldahl num analisador Kjeltec Auto 1030. O método consiste na digestão da amostra num bloco de alumínio a 400°C, na presença de ácido sulfúrico e de um catalisador à base de selénio, seguindo-se de destilação da amónia e titulação com ácido clorídrico.

O teor de nitratos no solo foi monitorizado com membranas de troca aniónica enterradas directamente no solo. As membranas são polímeros orgânicos de carga positiva que retêm os aniões nitrato presentes na solução do solo. Em número de seis por talhão e com auxílio de uma lâmina rígida e fina, as membranas foram enterradas no solo a uma profundidade de 15 cm. As membranas possuem uma área de 2 cm² e foram perfuradas por um fio de cor que permitiu a sua localização para o processo de recolha. Após uma semana no solo, foram recuperadas, lavadas abundantemente com água destilada e colocadas em frascos de tampa roscada a eluir na presença de 20 ml de 0,5 M HCl. Para nova utilização, as membranas foram regenerados em NaHCO₃ (Qian e Schoenau, 1995). Os extractos foram congelados até ser possível efectuar a sua análise. O processo de enterramento das tiras foi repetido durante três vezes durante a estação de crescimento, com recuperação das tiras em 28 de Maio, 31 de Julho e 13 de Outubro. A concentração de nitratos em solução foi determinada por espectrofotometria UV/visível.

Em Outubro de 2008, no final da estação de crescimento, foi efectuado um corte de biomassa para avaliar a proporção de leguminosas no relvado. Nas considerações estéticas destes relvados a presença de trifoliadas e outras espécies não gramíneas são consideradas infestantes. Assim, na data referida efectuou-se um corte de biomassa

tendo sido separadas as componentes gramíneas e leguminosas (trifoliadas) e registado a matéria seca de cada componente.

A manutenção do relvado incluiu ainda a rega. Esta foi efectuada por aspersão, com dotações empíricas mas tentado satisfazer as necessidades das plantas durante toda a estação de crescimento.

Na análise estatística dos resultados procedeu-se à determinação do intervalo de confiança das médias como forma de identificar diferenças estatísticas entre tratamentos. Foi usado um nível de significância de 5%.

Para auxílio na interpretação dos resultados foram calculados três índices de eficiência de uso do azoto e um índice de eficiência económica, de acordo com as expressões:

- Azoto aparentemente recuperado (AAR, %) = (Azoto recuperado nas modalidades fertilizadas – Azoto recuperado na modalidade testemunha) / Azoto aplicado como fertilizante.
- Eficiência agronómica (EA, kg kg⁻¹) = (Produção de matéria seca nas modalidades fertilizadas – Produção de matéria seca na testemunha) / Azoto aplicado como fertilizante.
- Eficiência fisiológica (EF, kg kg⁻¹) = (Produção de matéria seca nas modalidades fertilizadas – Produção de matéria seca na testemunha) / (Azoto exportado nas modalidades fertilizadas – Azoto exportado na testemunha)
- Eficiência económica da adubação (EEA, kg €¹) = (Produção de matéria seca nas modalidades fertilizadas – Produção de matéria seca na testemunha) / Custo dos fertilizantes.

3. Resultados

3.1. Produção de biomassa e azoto exportado

Na figura 2 é apresentada a evolução diária de produção de matéria seca ao longo da estação de crescimento em função dos tratamentos fertilizantes. A modalidade testemunha registou taxas diárias de produção de matéria seca frequentemente inferiores às modalidades fertilizadas, tendo-se acentuado as diferenças nas médias nas fases mais avançadas do ciclo. Nas fases iniciais Nitrolusal, Floranid e Nitroteck mostraram tendência para apresentarem valores médios de produção de matéria seca superiores a Basacote, enquanto este fertilizante parece ter estimulado a taxa de crescimento da biomassa em fases mais avançadas do ciclo. Aos 110 dias após a aplicação dos fertilizantes ocorreu um pico na taxa de produção de matéria que terá sido devido a ajustamentos na dotação de rega ocorridos nesta altura (foi aumentada a dotação de rega) e a uma semana em que a temperatura foi bastante elevada, condições que terão estimulado a taxa de produção de biomassa em todos os tratamentos.

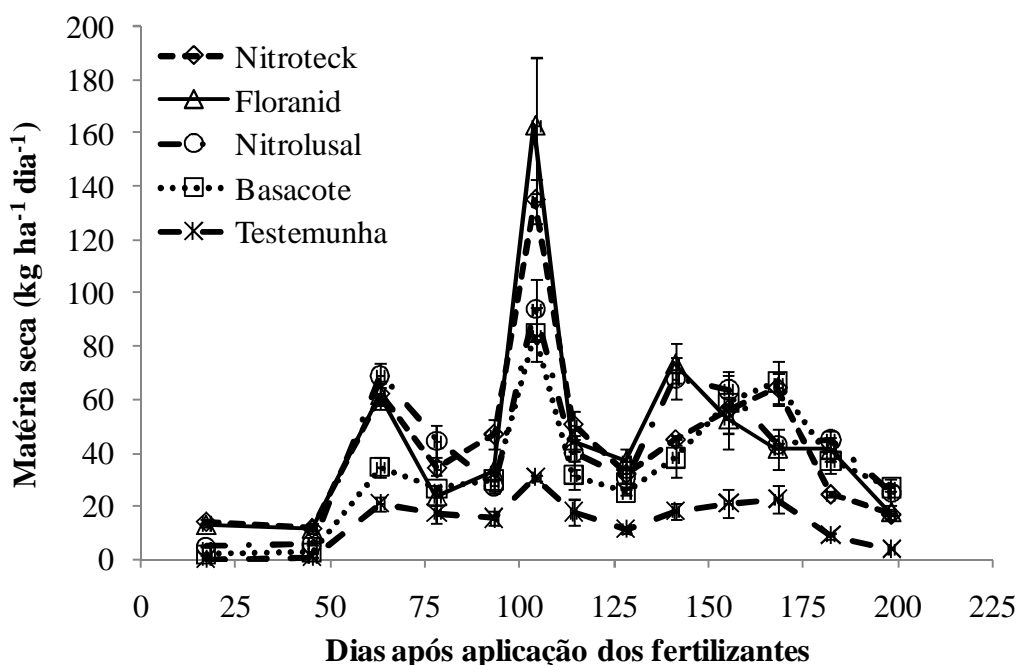


Figura 2. Evolução da produção média diária de matéria seca em função dos fertilizantes utilizados. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A

aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

Na figura 3 pode observar-se a evolução da matéria seca acumulada ao longo da estação de crescimento nos diferentes tratamentos fertilizantes. Na figura 3 torna-se mais evidente o atraso progressivo na acumulação de matéria na modalidade testemunha relativamente às modalidades fertilizadas. Os valores oscilaram entre 2.4 Mg ha⁻¹ na modalidade testemunha e 7.9 Mg ha⁻¹ no talhão fertilizado com Floranid. No talhão Basacote a produção acumulada de matéria seca foi de 5.9 Mg ha⁻¹. O talhão correspondente ao adubo nitrolusal mostrou um atraso significativo na acumulação de matéria seca na primeira metade da estação de crescimento, tendo recuperado na fase final, devido com certeza à aplicação da segunda metade da dose de azoto. No fim da estação de crescimento Floranid, Nitroteck e Nitrolusal não apresentaram diferenças significativas na matéria seca acumulada.

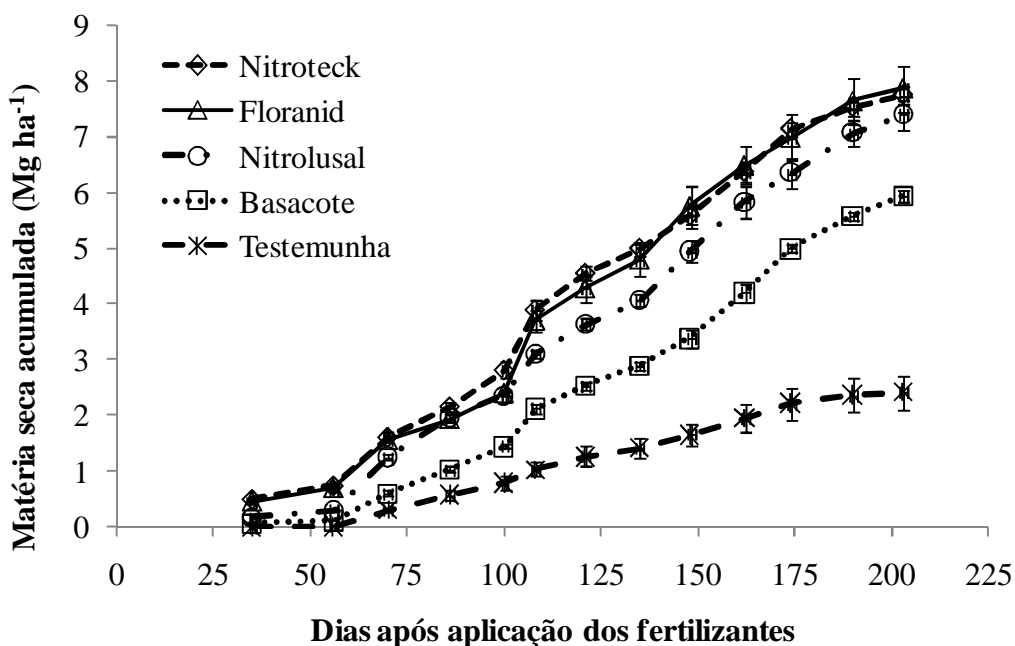


Figura 3. Produção média acumulada de matéria seca ao longo da estação de crescimento. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

A concentração de azoto na matéria seca decresceu de uma maneira geral ao longo da estação de crescimento (figura 4). As modalidades Nitroteck e Floranid apresentaram valores significativamente superiores aos restantes tratamentos, revelando maior disponibilidade de azoto no solo nas fases iniciais. Na modalidade testemunha e em Basacote o teor de azoto nas plantas era mais baixo evidenciando pior estado nutritivo azotado. No talhão fertilizado com Nitrolusal a concentração de azoto nas plantas também foi baixa nas fases iniciais, em resultado de se ter aplicado apenas metade da dose de azoto. A partir de 80 dias após a aplicação dos fertilizantes as plantas no talhão Basacote começaram a evidenciar maiores teores de azoto nos tecidos, em resultado da libertação de azoto mais tardia neste fertilizante. Também as plantas do talhão Nitrolusal revelaram teores mais elevados de azoto nos tecidos após aplicação da segunda metade da dose de azoto.

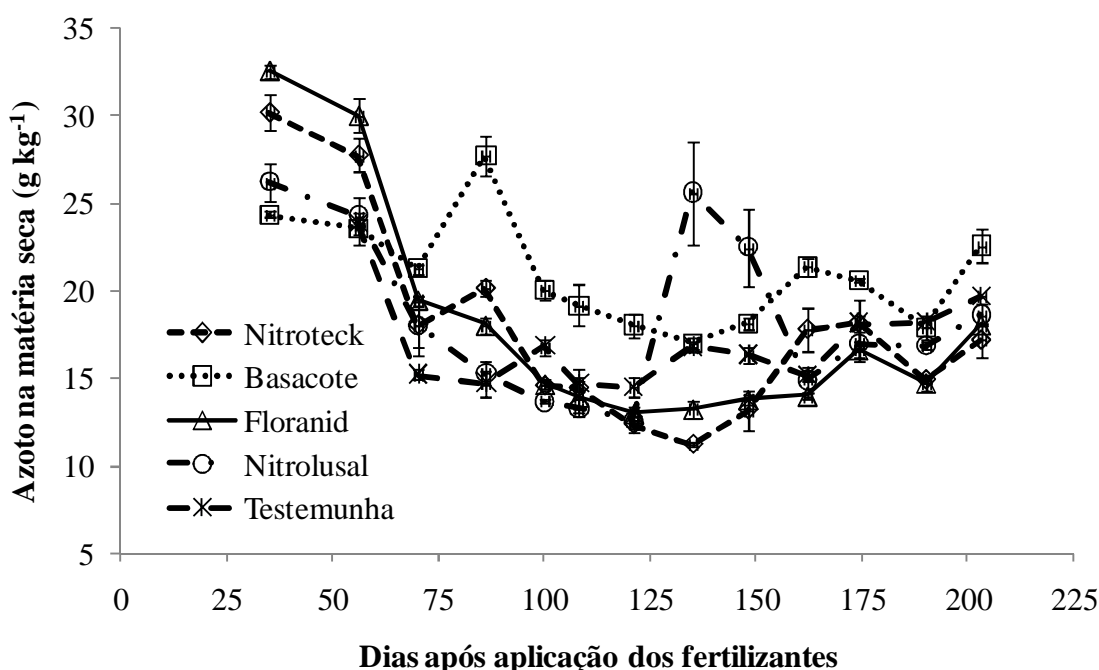


Figura 4. Variação da concentração de azoto na matéria ao longo da estação de crescimento. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

O azoto exportado diariamente pelas plantas variou de forma por vezes significativa em função do tratamento fertilizante (figura 5). Nos tratamentos Floranid e

Nitroteck a exportação diária foi maior nas fases iniciais da estação de crescimento. Nas fases finais a exportação aumentou de forma significativa nos tratamentos Basacote, devido à libertação mais lenta dos nutrientes, e Nitrolusal, devido à aplicação de metade da dose do azoto em fase mais avançada do ciclo. Na modalidade testemunha o azoto exportado diariamente manteve-se baixo durante toda a estação de crescimento, como reflexo da reduzida disponibilidade natural de azoto no solo.

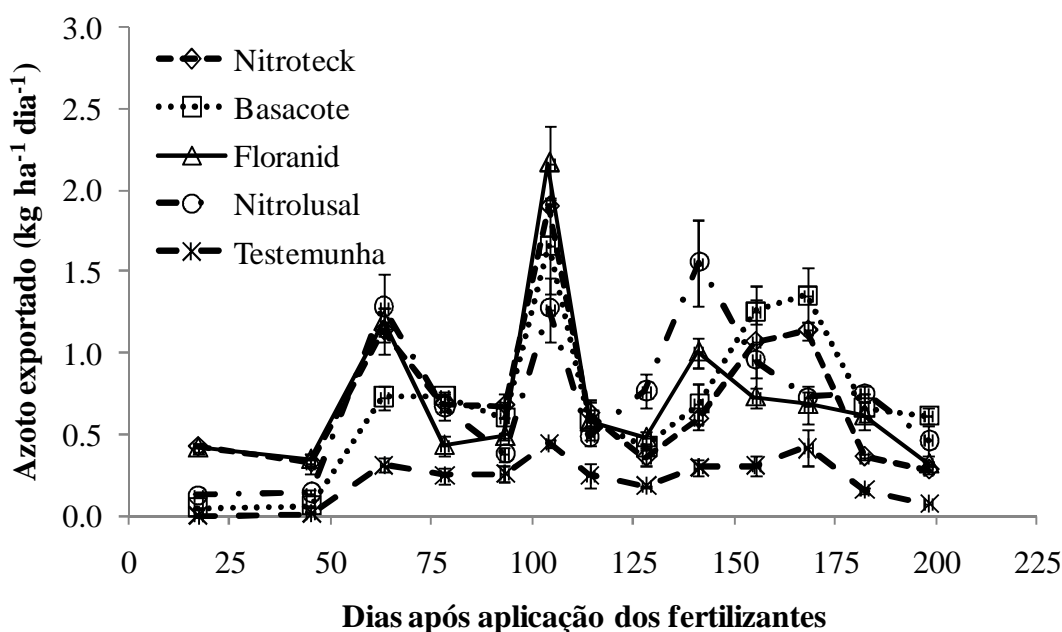


Figura 5. Exportação média diária de azoto ao longo da estação de crescimento. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

A evolução do azoto exportado ao longo da estação de crescimento é apresentada na forma de azoto exportado acumulado na figura 6. Na modalidade testemunha as plantas exportaram significativamente menos azoto que nas modalidades fertilizadas. Durante a estação de crescimento foram exportados na biomassa apenas 38.2 kg N ha⁻¹. O azoto exportado na modalidade Basacote sofreu um grande atraso na fase inicial, tendo recuperado na fase final do ciclo, a pontos de o azoto total exportado não ser estatisticamente diferente do das outras modalidades fertilizadas. Na modalidade Nitrolusal, o azoto exportado foi sendo inicialmente inferior relativamente a Nitroteck e

Floranid, mas tendo ocorrido uma recuperação evidente do azoto recuperado nas fases mais avançadas da estação de crescimento após a aplicação da segunda metade da dose de azoto. Floranid e Nitroteck mantiveram sempre valores de azoto exportado elevados ao longo da estação de crescimento. No fim da estação de crescimento foram recuperados na biomassa 132.3, 129.0, 129.0 e 121.4 kg N ha⁻¹, respectivamente nos tratamentos Nitroteck, Nitrolusal, Floranid e Basacote.

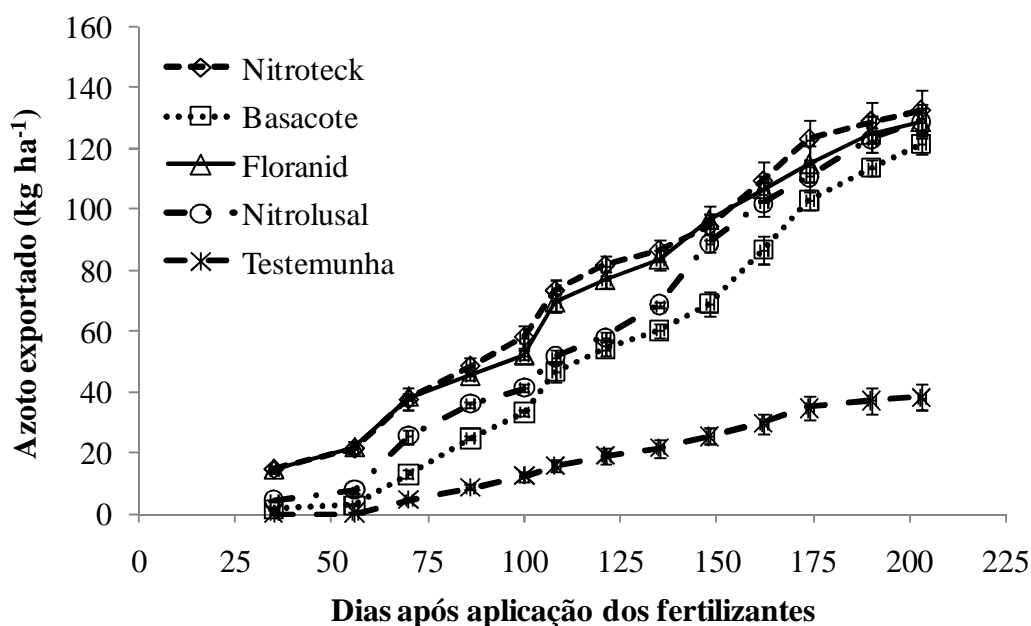


Figura 6. Acumulação do azoto exportado na matéria seca ao longo da estação de crescimento. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

3.2. Monitorização do teor de nitratos no solo

Os resultados do teor de nitratos no solo monitorizado com as membranas de troca aniónica revelaram grande variabilidade experimental (figura 7). Por outro lado, a metodologia foi iniciada numa fase avançada da estação de crescimento, dois meses e meio após o início da experiência. Contudo, os resultados parecem suportar que ocorreu um acréscimo de disponibilidade de azoto no talhão Basacote, já evidenciado pelos resultados da biomassa produzida e do azoto exportado. Pelo contrário, a elevada performance do fertilizante Nitrolusal na fase avançada do ciclo devido à aplicação da

segunda metade da adubação em 121 após o início da experiência, não apareceu reflectida nos resultados nas membranas.

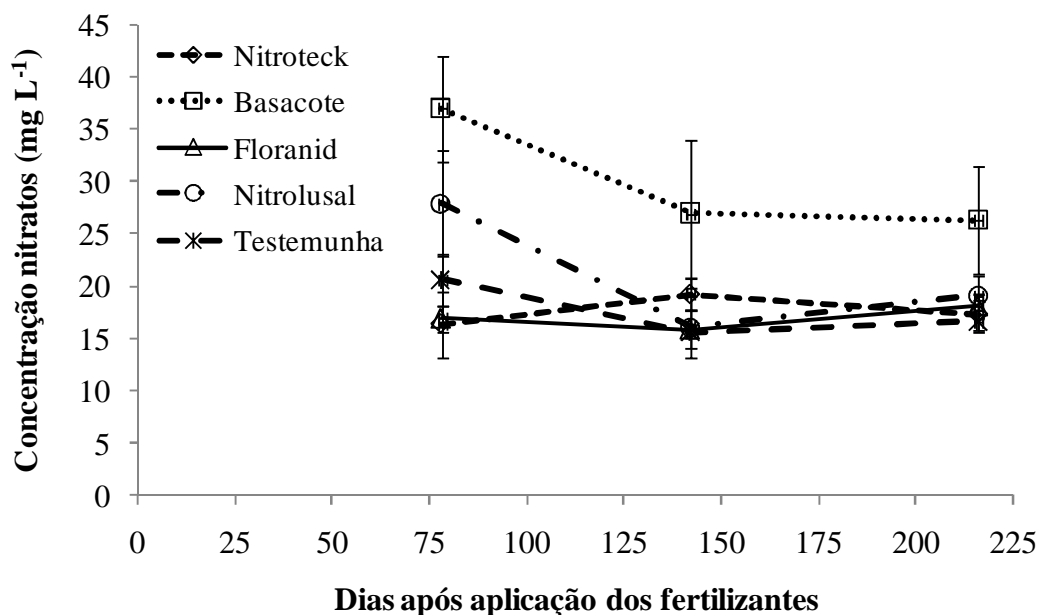


Figura 7. Concentração de nitratos nos extractos preparados a partir da eluição das membranas de troca aniónica. Os segmentos de recta verticais representam o intervalo de confiança para a média. A aplicação da cobertura com Nitrolusal foi efectuada em 121 dias após a aplicação dos fertilizantes.

3.3. Avaliação da composição florística do relvado

A determinação da proporção de trifoliadas em comparação com a totalidade da matéria seca encontra-se apresentada na figura 8. Foi visível um decréscimo consistente na proporção de leguminosas no tratamento Basacote e Nitrolusal, por oposição aos tratamentos Nitroteck, Floranid e Testemunha. Em Floranid o coberto apresentou no final da estação de crescimento 36.0% de trifoliadas, quando expressas em matéria seca, enquanto no talhão Basacote a proporção de trifoliadas foi de apenas 22.4%. O facto dos tratamentos Basacote e Nitrolusal manterem teores de azoto no solo mais elevados na fase final do ciclo, o que favorece as gramíneas, pode justificar a redução da componente leguminosa nestes talhões.

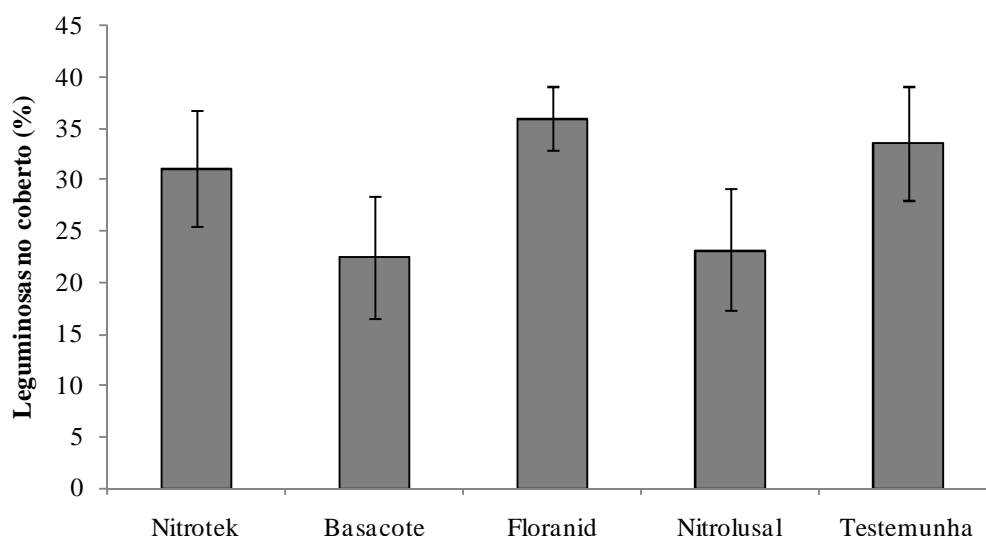


Figura 8. Abundância relativa de leguminosas no relvado em Outubro de 2008, expressa em percentagem na totalidade da matéria seca, em função do tratamento fertilizante. As linhas verticais representam o intervalo de confiança para a média ($\alpha < 0.05$).

3.4. Índices de eficiência de uso do azoto

No quadro 1 é apresentada a produção média de matéria seca e de azoto exportado nos diferentes tratamentos. São também incluídos no quadro vários índices de eficiência agronómica, fisiológica e económica tal como descritos anteriormente.

Quadro 1. Produção de matéria seca do relvado, azoto exportado, indicadores de eficiência de uso de azoto e indicador de eficiência económica dos fertilizantes.

Fertilizante	Matéria seca (kg ha ⁻¹)	N exportado (kg ha ⁻¹)	AAR (%)	EA (kg kg ⁻¹)	EF (kg kg ⁻¹)	EEA (kg € ¹)
Nitroteck	7732.5 a	132.4 a	78.5	44.4	56.54	9.30
Floranid	7854.8 a	129.0 a	75.7	45.1	60.01	4.40
Basacote	5929.0 b	121.4 a	69.4	29.4	42.34	1.24
Nitrolusal	7376.8 a	129.0 a	76.7	41.4	54.74	6.07
Testemunha	2406.2 c	38.2 b	---	---	---	---

Na coluna, médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes ($\alpha < 0.05$).

AAR - Azoto aparentemente recuperado; EA - Eficiência agronómica; EF - Eficiência fisiológica; EEA – Eficiência económica da adubação.

O Basacote apresentou produção de matéria seca significativamente inferior às restantes modalidades fertilizadas. Contudo, o azoto exportado na biomassa não foi significativamente inferior aos restantes tratamentos. Parece que o Basacote disponibilizou azoto em fases mais avançadas do ciclo, tendo esse azoto sido ainda absorvido pelas plantas mas dando um menor contributo para a produção de matéria seca. Este aspecto é também reflectido nos índices de eficiência de uso do azoto. O azoto aparentemente recuperado não foi muito inferior em Basacote, já que para o cálculo do índice conta o azoto exportado. Nos índices de eficiência agronómica e fisiológica em que nos cálculos se tem em conta a matéria seca produzida, Basacote apresentou índices de eficiência bastante mais baixos que os dos restantes tratamentos fertilizantes. O índice de eficiência económica penalizou o Basacote pelo facto de ter produzido menos biomassa e pelo facto de ser o fertilizante mais caro. No talhão Basacote só foram produzidos 1.24 kg de matéria por euro gasto em fertilizantes. No talhão Nitroteck foram produzidos 9.30 kg matéria seca por cada euro gasto em fertilizantes. Note-se que no cálculo foi incluído o custo do Super 18% e do cloreto de potássio, usados para equilibrar as doses de macronutrientes. Este aspecto penalizou sobremaneira o Nitrolusal que, tratando-se de um adubo elementar, implicou maiores gastos com fósforo e potássio que os restantes tratamentos fertilizantes.

4. Discussão dos resultados

No talhão Floranid a produção de matéria seca e o azoto exportado foram de uma maneira geral elevados, mostrando boa disponibilidade de azoto para as plantas desde a fase inicial. Os índices de eficiência de uso do azoto foram igualmente elevados reflectindo a produção de matéria seca e o azoto exportado. O índice de eficiência económica foi baixo devido ao preço relativamente alto do fertilizante. No fim do ciclo a redução do azoto disponível no solo terá favorecido o aparecimento de espécies leguminosas. O azoto no Floranid encontra-se na forma $\text{NO}_3\text{-N}$ (2.1%), $\text{NH}_4\text{-N}$ (7.9%) e IBDU-N (6%). Esta combinação ao fornecer azoto desde a fase inicial (NO_3^- e NH_4^+) e conter uma fracção de menor solubilidade (IBDU) poderá ser adequada para a fertilização dos relvados, sobretudo em regiões com estações de crescimento mais curtas. Neste estudo, se houve efeito de libertação lenta não terá sido suficiente para manter níveis de azoto no solo elevados na fase final da estação de crescimento. A hidrólise de IBDU é influenciada pela temperatura e humidade do solo (Trenkel, 2007). A estação de crescimento em Valpaços foi quente e o solo permanentemente humedecido pela rega terá acelerado a hidrólise de IBDU, comportando-se o Floranid como um adubo convencional.

Em estudos de campo com trigo e milho usando um fertilizante contendo IBDU (Floranid 32) não foram registados aumentos de produção comparativamente com o uso de fertilizantes convencionais (Cartagena *et al.*, 1995), nem tão pouco com tratamentos testemunha sem aplicação de N (Diez *et al.*, 1997). Guertal (2000) também apresentou resultados em que um adubo de libertação lenta não apresentou vantagens na produção do pimenteiro relativamente a um fertilizante convencional.

Nitroteck, tal como Floranid, originou valores elevados de matéria seca e azoto exportado em comparação com os outros tratamentos. Os índices de eficiência fisiológica foram também altos, bem como o índice de eficiência económica, reflectindo o preço mais acessível comparativamente com Basacote e Floranid. Nitroteck contém 20.5 % de N na forma nítrica e amoniacal, DCD como inibidor da nitrificação e um revestimento de politerpeno. Como NO_3^- e NH_4^+ são ambos iões absorvíveis pelas plantas, estes terão ficado disponíveis desde as primeiras fases do ciclo. Contudo, o revestimento de politerpeno talvez tenha conferido alguma protecção aos iões nas fases iniciais do ciclo, quando o risco de precipitação é mais elevado. Nas duas primeiras

datas de amostragem a concentração de azoto na biomassa foi inferior no talhão Nitroteck em comparação com o talhão Floranid. Apesar de Nitroteck não apresentar resultados globalmente superiores ao Floranid, excepto no índice de eficiência económica, a confirmar-se alguma protecção inicial aos iões será obviamente benéfica. Tal como Floranid, Nitroteck não terá restringido a disponibilidade dos elementos por períodos tão longos como a estação de crescimento dos relvados estudados nesta experiência.

Basacote produziu significativamente menos matéria seca que os restantes fertilizantes. Contudo, o azoto exportado foi ligeiramente inferior mas não foi estatisticamente diferente. Em concordância, o azoto aparentemente recuperado foi apenas ligeiramente menor que nos restantes tratamentos, enquanto os indicadores de eficiência agrónómica e fisiológica foram substancialmente mais baixos. O índice de eficiência económica foi muito baixo reflectindo o elevado preço do fertilizante. A disponibilidade de azoto no talhão Basacote terá sido bastante diferente do que ocorreu nos restantes talhões fertilizados. Na fase inicial terá havido reduzida disponibilidade de azoto, o que atrasou a acumulação de biomassa. Mais tarde, a disponibilidade de azoto aumentou. O azoto libertado mais tarde foi ainda absorvido pelas plantas mas com menor contributo para a produção de biomassa, reflectindo-se num valor de eficiência fisiológica bastante baixo. Estes resultados mostraram que este fertilizante apresentou uma longevidade muito superior a Nitroteck e Floranid. Como consequência positiva refira-se a menor proliferação das espécies leguminosas.

Num estudo com 30 adubos de libertação controlada Du *et al.* (2008) observaram que a espessura da membrana foi o parâmetro mais importante no controlo da libertação de azoto, seguido da temperatura. Dai *et al.* (2008) verificaram também que a temperatura aumentou o ritmo de libertação de nutrientes dos adubos de libertação controlada. Huett e Gogel (2000) observaram que a longevidade dos adubos de libertação controlada foi consideravelmente menor que o especificado comercialmente em testes laboratoriais de lixiviação com 17 fertilizantes revestidos com polímeros sujeitos a 30 e 40 °C. Por seu lado, Haase *et al.* (2007) verificaram que temperaturas baixas prolongam a libertação dos nutrientes para além das especificações comerciais dos fertilizantes. De acordo com Trenkel (2007) os testes laboratoriais aos adubos de libertação controlada são feitos a temperaturas da ordem dos 25 °C.

A experiência descrita neste trabalho decorreu no período primavera/verão, com temperaturas inferiores a 25 °C em certos períodos e superiores noutros. Atendendo às especificações comerciais, Basacote é um fertilizante para nove meses, ou seja, para um período ligeiramente superior à duração do ensaio. O azoto aparentemente recuperado foi de 69.4%, o que levanta a suspeita de que parte do nutriente terá sido disponibilizada só após o fim da experiência. Contudo, o risco de contaminação ambiental será baixo pois continuamos a ter plantas no Outono, ainda que com menores taxas de crescimento, e o ritmo de libertação dos nutrientes pelo Basacote parece ser reduzido, em particular quando as temperaturas baixam. Noutros estudos os adubos revestidos por polímeros mostraram resultados positivos, por exemplo na redução das emissões de N₂O (Delgado e Mosier, 1996) e na lixiviação de nutrientes (Emilsson *et al.*, 2007) a partir do solo. Os adubos de libertação controlada foram também usados com sucesso para melhorar as condições de crescimento em viveiros de plantas envasadas (Walker and Hunt, 1999; Fernández-Escobar, 2004; Oliet *et al.*, 2004; Girardi *et al.*, 2005).

5. Conclusões

A produção de biomassa aumentou nos fertilizantes que disponibilizaram azoto na fase inicial do ciclo, como Nitroteck e Floranid. Basacote, tendo disponibilizado azoto mais tarde registou menor produção de biomassa, apesar desse azoto ter sido recuperado na vegetação nos últimos cortes. Parece que o azoto foi muito importante no fluxo de produção inicial de biomassa. O azoto absorvido mais tarde não teve semelhante efeito no crescimento de vegetação.

Foi pouco detectável o efeito de libertação lenta de Floranid e Nitroteck. Já para Basacote foi evidente o atraso com que o azoto ficou disponível. Azoto disponível na fase final do ciclo reduziu a infestação com leguminosas, aspecto considerado benéfico para a estética do relvado, e que foi conseguido com Basacote e com Nitrolusal devido ao fraccionamento. Os índices de eficiência agrónómica e fisiológica foram baixos em Basacote devido a ter recuperado quantidade de azoto semelhante com muito menor produção de biomassa. O indicador de eficiência económica foi muito desfavorável a Basacote, pela reduzida produção de biomassa e pelo elevado preço do fertilizante. Nitroteck apresentou um bom índice de eficiência económica, por ter produzido elevada quantidade de biomassa e ser um fertilizante relativamente económico.

Referências bibliográficas

- Barber, S.A. 1995. Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, New York.
- Boswell, F.C., Meisinger, J.J., Case, N.L. 1985. Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers. pp. 229-292. In Engelstad, O.P. (ed.). Fertilizer Technology and Use. SSSA. Madison, Wisconsin,
- Calouro, F. 2005. Actividades Agrícolas e Ambiente. Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação. 1ª Edição. Porto.
- Campbell, C.A. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. pp. 173-271. In Schnitzer, M., Khan, S.V. (eds). Soil Organic Matter. Developments in soil science, No 9, Elsevier, Amsterdam.
- Carreres, R., Sendra, J., Ballesteros, R., Valiente, E.F., Quesada, A., Carrasco, D., Leganés, F., Cuadra, J.G. 2003. Assessment of slow release fertilizers and nitrification inhibitors in flooded rice. Biol. Fertil. Soils 39, 80–87.
- Cartagena, M.C., Vallejo, A., Diez, J.A., Bustos, A., Caballero, R., Roman, R. 1995. Effect of the type of fertilizer and source of irrigation water on N use in a maize crop. Field Crop Res. 44, 33-39.
- Dai, J.-J., Fan, X.-L., Yu, J.-G., Liu, F., Zhang, Q. 2008. Study on the rapid method to predict longevity of controlled release fertilizer coated by water soluble resin. Agr. Sci. China 7(9), 1127-1132.
- Delgado, J.A., Mosier A.R. 1996. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. J. Environ. Qual. 25, 1105-1111.
- Di, H.J., Cameron, K.C. 2005. Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures. Agric. Ecosys. Environ. 109, 202–212
- Diez, J.A., Roman, R., Caballero, R., Caballero, A. 1997. Nitrate leaching from soils under a maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilizers. Agric. Ecosys. Environ. 65, 189-199.
- Dores, J., Patanita, M., Pereira, A. 2008. Fertilização azotada em cevada dística para malte-formas de azoto x fraccionamento. Instituto Politécnico de Beja – Centro de Experimentação Agrícola da Escola Superior Agrária
- Du, C., Tang, D., Zhou, J., Wang, H., Shaviv, A. 2008. Prediction of nitrate release from polymer-coated fertilizers using an artificial neural network model. Biosystems Eng. 99, 478-486.
- Emilsson, T., Berndtsson, J.C., Mattsson, J.E., Rolf, K. 2007. Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. Ecol. Eng. 29, 260-271.

- Fernández-Escobar, R. Benlloch, M. Herrera, E., García-Novelo J.M. 2004. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Sci. Hort.* 101, 39-49.
- Firestone, M.K. 1982. Biological denitrification. pp. 289-318. In Stevenson, F.J. (ed.). *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy 22. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Girardi, E.A., Mourão Filho, F.A.A., Graf, C.C.D., Olic, F.B. 2005. Influence of Soluble and Slow-Release Fertilizers on Vegetative Growth of Containerized Citrus Nursery Trees. *J. Plant Nutr.* 28, 1465-1480.
- Guertal, E.A. 2000. Preplant slow-release nitrogen fertilizers produce similar bell pepper yields as split applications of soluble fertilizer. *Agron. J.* 92, 388-393.
- Haase, D.L., Alzugaray, P., Rose, R., Jacobs, D.F. 2007. Nutrient-release rates of controlled-release fertilizers in forest soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38, 739-750.
- Huett, D.O., Gogel, B.J. 2000. Longevities and nitrogen, phosphorus, and potassium release patterns of polymer-coated controlled-release fertilizers at 30°C and 40°C. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 959-973.
- Jansson, S.L., Persson, J. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. pp. 229-252. In Stevenson, F.J. (ed.). *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy 22. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Legg, J.O., Meisinger, J.J. 1982. Soil nitrogen budgets. pp. 503-566. In Stevenson, F.J. (ed.). *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy 22. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Linzmeier, W., Gutser, R., Schmidhalter, U. 2001. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol. Fertil. Soils* 34, 103-108.
- Macadam, X.M.B., Prado, A., Merino, P., Estavillo, J.M., Pinto, M., González-Murua1, C. 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N₂O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *J. Plant Physiol.* 160, 1517-1523.
- Magalhães, P.C. 1993. Estudo comparativo da casta tinta amarela em três locais distintos da zona vitivinícola de Valpaços. Trabalho final de curso. IPB, Bragança.
- Majumdar, D., Kumar, S., Pathak, H., Jain, M.C., Kumar, U. 2000. Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. *Agric. Ecosys. Environ.* 81, 163-169.
- Majumdar, D., Pathak, H., Kumar, S., Jain, M.C. 2002. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. *Agric., Ecosys. Environ.* 91, 283-293.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
- Martins, A.V. 1990. *Monografia de Valpaços*. Lello & Irmão. 2ª Edição, Porto.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Bern, Switzerland.

- Nommik, H., Vahtras, K. 1982. pp. 123-171. In Stevenson, F.J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy 22. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Oliet, J., Planelles, R., Segura, M.L., Artero, F., Jacobs, D.F. 2004. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Sci. Hort.* 103, 113-129.
- Pasda, G., Hähdnel, R., Zerulla, W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fertil. Soils* 34, 85-97.
- PMDF, 2006. Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Câmara Municipal. Valpaços.
- Pathak, H., Prasad, S., Bhatia, A., Singh, S., Kumar, S., Singh, J., Jain, M.C. 2003. Methane emission from rice-wheat cropping system in the Indo-Gangetic plain in relation to irrigation, farmyard manure and dicyandiamide application. *Agric. Ecosys. Environ.* 97, 309-316.
- Qian, P., Schoenau, J.J. 1995. Assessing nitrogen mineralization from soil organic matter using anion exchange membranes. *Fert. Res.* 40, 143-148.
- Rodrigues, M.A. 2000. Gestão do azoto na cultura da batata. Tese de doutoramento. UTAD, Vila Real.
- Rodrigues, M.A. 2004. An in situ incubation technique to measure the contribution of organic nitrogen to potatoes. *Agronomie* 24, 249-256.
- Rodrigues, M.A., Coutinho, J., Martins, F., Arrobas, M. 2005. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. *European Journal of Agronomy* 23/1:79 – 88.
- Rodrigues, M.A., Pereira, A., Cabanas, J.E., Dias, L., Pires, J., Arrobas, M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *Europ. J. Agron.* 25, 328-335.
- Santos, J.Q. 1996. Fertilização – Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos. Publ. Europa-América, Mem Martins.
- Schmidt, E.L. 1982. Nitrification in soil. pp. 229-252. In Stevenson, F.J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy 22. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Serna, M.D., Bañuls, J., Quiñones, A., Primo-Millo, E., Legaz, F. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus-cultivated soil. *Biol. Fertil. Soils* 32, 41-46.
- Serrano, M.L. s/d. Manual Prático de Jardinagem. Floraprint Espanha S.A., Valencia.
- Shaviv, A. 1993. Controlled supply of fertilisers for increasing use efficiency and reducing environmental damage. pp. 651-656. In Fragoso, M.A.C., van Beusichem, M.L. (eds.). Optimization of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Shoji, S., Delgado, J., Mosier, A., Miura, Y. 2001. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 1051-1070.

- Smoleń S., Sady, W. 2009. The effect of various nitrogen fertilization and foliar nutrition regimes on the concentrations of nitrates, ammonium ions, dry matter and N-total in carrot (*Daucus carota* L.) roots. *Sci. Hort.* 119, 219-231.
- Stevenson, F.J. 1986. *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* John Wiley & Sons, New York.
- Tang, S.-H., Yang, S.-H., Chen, J.-S., Xu, P.-Z., Zhang F.-B., Ai, S.-Y., Huang, X. 2007. Studies on the mechanism of single basal application of controlled-release fertilizers for increasing yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Agr. Sci. China* 6(5), 586-596.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers.* Macmillan Publishing Company, New York.
- Trenkel, M.E. 2007. Ullmann's Agrochemicals. Fertilizers, 3 (Chap. 4.4 and 4.5). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Veloso, S., Garrido, J., Bettencourt, J.. *Horticultura e Floricultura. Editorial Notícias.* 2^a Edição, Lisboa.
- Walker, R.F., Hunt, C.D. 1999. Growth and nutrition of containerized singleleaf pinyon seedlings in response to controlled release fertilization. *Arid Soil Res. Rehabil.* 13, 123-132.
- Westermann, D.T., Davis, J.R. 1992. Potato nutrition management changes and challenges into the next century. *Am. Potato J.* 69, 753-767.
- Zaman, M., Sagar, S., Blennerhassett, J.D., Singh, J. 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biol. Biochem.* 41(6), 1270-1280.