

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DA FERTILIZAÇÃO MINERAL E
ORGÂNICA NA CULTURA DA BATATA. EFICIÊNCIA DE
UTILIZAÇÃO DO AZOTO**

Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Dissertação apresentada para efeito de obtenção do grau de Mestre

**CURSO DE MESTRADO EM NUTRIÇÃO VEGETAL,
FERTILIDADE DOS SOLOS E FERTILIZAÇÃO**

Lisboa, 1995

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram neste trabalho desejamos expressar os mais sinceros agradecimentos.

Ao Sr. Prof. João Coutinho, a quem agradecemos ter aceite a orientação da dissertação da Tese de Mestrado, os conhecimentos transmitidos, as sugestões, a disponibilidade de tempo e material para a realização de análises laboratoriais, a revisão de todo o trabalho apresentado e a permanente disponibilidade para nos atender.

Ao Sr. Prof. Quelhas dos Santos, agradecemos a disponibilidade sempre demonstrada ao longo de todo o Curso de Mestrado e a revisão final do trabalho.

Ao Sr. Presidente da Comissão Instaladora do Instituto Politécnico de Bragança, Prof. Dionísio Gonçalves, e ao Sr. Presidente da Comissão Instaladora da Escola Superior Agrária, Prof. Francisco Cepeda, agradecemos a autorização concedida para frequentar o Curso de Mestrado.

À Sr^a Eng^a Margarida Arrobas, pela pronta disponibilidade e facilidades concedidas na realização de análises laboratoriais. Agradecemos também ter-nos cedido importantes elementos bibliográficos.

Ao Sr. Prof. Fernando Martins, pelas sugestões e importante apoio logístico que nos prestou quando da instalação do ensaio e dos numerosos elementos bibliográficos que nos facultou.

Ao Sr. Eng^o José Luis Baltasar, pelas facilidades concedidas na reorganização dos sistemas de cultura da Quinta de Santa Apolónia, de forma a facilitar a instalação e condução do ensaio.

Aos Srs. Eng^o Carlos Aguiar, Jaime Pires, Luis Santos, Tomás de Figueiredo e Albino Bento, a ajuda e esclarecimentos em diversas fases da realização do presente trabalho.

Aos Srs. Mário Graça e Rita Diz, do Laboratório de Solos da ESAB, e à Sr^a Ana Veiga Pinto, do Laboratório de Nutrição Animal, pelo auxílio e esmero manifestado em diversas determinações laboratoriais.

Ao Sr. Normando Miranda, responsável pelos trabalhos de campo da Quinta de Santa Apolónia, pelo auxílio prestado durante a realização do ensaio de campo.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a elaboração deste trabalho e que, por esquecimento, não foram mencionados.

Obrigado a todos, uma vez mais.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | vii |
| ABSTRACT | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE QUADROS | xi |
| | |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| 1 - O AZOTO COMO NUTRIENTE VEGETAL | 4 |
| 1.1 - ABSORÇÃO E ASSIMILAÇÃO DO AZOTO | 4 |
| 1.1.1 - Absorção do azoto..... | 4 |
| 1.1.2 - Assimilação do azoto..... | 7 |
| 1.2 - INFLUÊNCIA DO AZOTO NO CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DAS PLANTAS | 8 |
| 1.2.1 - Taxa de crescimento e absorção de nutrientes..... | 9 |
| 1.2.2 - Efeito do azoto na taxa de assimilação líquida e área foliar..... | 11 |
| 1.2.3 - Efeito do azoto na tuberização e crescimento dos tubérculos em batateira..... | 12 |
| 1.2.4 - Efeito do azoto na composição das plantas..... | 14 |
| | |
| 2 - DINÂMICA DO AZOTO NO SOLO..... | 17 |
| 2.1 - FORMAS DE AZOTO NO SOLO..... | 17 |
| 2.2 - DEGRADAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS | 18 |
| 2.2.1 - Mineralização do azoto orgânico..... | 19 |
| 2.2.2 - Razão carbono/azoto dos materiais adicionados e mineralização-imobilização do azoto | 21 |
| 2.2.3 - Efeito da adição de materiais orgânicos na mineralização da matéria orgânica estável ou húmus do solo | 23 |
| 2.3 - AZOTO AMONÍACAL FIXADO EM FORMAS ORGÂNICAS E MINERAIS..... | 24 |
| 2.3.1 - Imobilização biológica do azoto..... | 24 |
| 2.3.2 - Retenção do ião amónio pelos minerais de argila | 24 |
| 2.3.3 - Reacção do NH ₃ com a matéria orgânica..... | 25 |
| 2.4 - PERDAS DE AZOTO A PARTIR DO SISTEMA SOLO-PLANTA | 26 |
| 2.4.1 - Desnitificação | 27 |
| 2.4.2 - Volatilização do NH ₃ | 29 |
| 2.4.3 - Quimiodesnitificação..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.4 - Lixiviação | 32 |
| 2.4.5 - Erosão | 34 |
| 3 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO | 35 |
| 3.1 - INTRODUÇÃO..... | 35 |
| 3.2 - MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA EUN..... | 35 |
| 3.3 - INTERACÇÃO DO AZOTO ADICIONADO NAS ESTIMATIVAS DA EUN | 37 |
| 3.4 - INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE CULTIVADA NA EUN | 39 |
| 3.5 - INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE AZOTO APLICADO NA EUN | 40 |
| 3.6 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS | 41 |
| 3.7 - INFLUÊNCIA DOS ADUBOS DE LIBERTAÇÃO GRADUAL DE AZOTO NA EUN | 42 |
| 3.8 - INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE APLICAÇÃO NA EUN | 43 |
| 3.8.1 - Fraccionamento da aplicação de fertilizantes | 44 |
| 3.8.2 - Localização dos fertilizantes..... | 45 |
| 3.8.3 - Incorporação dos fertilizantes..... | 45 |
| 4 - MATERIAL E MÉTODOS..... | 47 |
| 4.1 - LOCALIZAÇÃO DO ENSAIO | 47 |
| 4.2 - CARACTERIZAÇÃO EDAFO-CLIMÁTICA | 47 |
| 4.2.1 - Clima..... | 47 |
| 4.2.2 - Solos | 49 |
| 4.3 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 49 |
| 4.4 - PRECEDENTE CULTURAL..... | 50 |
| 4.5 - PREPARAÇÃO DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DOS FERTILIZANTES | 50 |
| 4.6 - MATERIAL VEGETAL..... | 52 |
| 4.7 - PLANTAÇÃO | 52 |
| 4.8 - TRATAMENTOS FITOSSANITÁRIOS | 52 |
| 4.9 - REGA | 53 |
| 4.9.1 - Cálculo da dotação de rega | 53 |
| 4.9.2 - Cálculo do intervalo de tempo entre regas | 54 |
| 4.9.3 - Azoto introduzido no ensaio através da água de rega e precipitação..... | 55 |
| 4.10 - OBSERVAÇÕES GERAIS À FORMA COMO DECORREU O ENSAIO | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 4.11 - DETERMINAÇÕES E TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM | 56 |
| 4.11.1 - Determinações preliminares..... | 56 |
| 4.11.2 - Determinação ao azoto mineral no solo durante a estação de crescimento..... | 58 |
| 4.11.3 - Determinações nas plantas | 58 |
| 4.11.4 - Análise estatística dos resultados..... | 59 |
| 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 60 |
| 5.1 - EVOLUÇÃO DAS DISPONIBILIDADES DE AZOTO MINERAL NO SOLO..... | 60 |
| 5.1.1 - Azoto amoniacal | 60 |
| 5.1.2 - Azoto nítrico..... | 63 |
| 5.1.2.1 - Profundidade 0-20 cm | 63 |
| 5.1.2.2 - Profundidade 20-40 cm..... | 67 |
| 5.1.3 - Azoto mineral (N-NO ₃ ⁻ mais N-NH ₄ ⁺); profundidade 0-40 cm.... | 68 |
| 5.2 - RESPOSTA DA PLANTA AO AZOTO APLICADO COMO FERTILIZANTE..... | 71 |
| 5.2.1 - Evolução da matéria seca na rama | 71 |
| 5.2.2 - Evolução da matéria seca nos tubérculos | 74 |
| 5.2.3 - Início da tuberização e número de tubérculos formados | 76 |
| 5.2.4 - Rendimento em tubérculos | 78 |
| 5.3 - AZOTO NA PLANTA..... | 82 |
| 5.3.1 - Teores em azoto nas folhas..... | 82 |
| 5.3.2 - Teores em azoto nos caules..... | 84 |
| 5.3.3 - Teores em azoto nos tubérculos..... | 85 |
| 5.3.4 - Azoto total na rama (folhas + caules)..... | 88 |
| 5.3.5 - Azoto total nos tubérculos | 91 |
| 5.3.6 - Azoto total na planta (rama + tubérculos)..... | 94 |
| 5.3.7 - Teores em azoto mineral não metabolizado nos tubérculos..... | 95 |
| 5.3.8 - Eficiência de utilização do azoto | 97 |
| 5.3.8.1 - Eficiência de utilização do azoto pelos tubérculos | 98 |
| 5.3.8.2 - Eficiência de utilização do azoto pela totalidade da planta..... | 100 |
| 5.3.8.3 - Outros índices de eficiência de utilização do azoto..... | 103 |
| 5.4 - BALANÇO DO AZOTO..... | 107 |

| | |
|--|----------------|
| 6 - CONCLUSÕES..... | 114 |
| 6.1 - EVOLUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE AZOTO MINERAL NO SOLO | 114 |
| 6.2 - RESPOSTA DA PLANTA AO AZOTO APLICADO COMO FERTILIZANTE..... | 116 |
| 6.3 - AZOTO NA PLANTA | 117 |
| 6.3.1 - Teores em azoto nas diferentes partes da planta..... | 117 |
| 6.3.2 - Azoto total nas diferentes partes da planta | 118 |
| 6.4 - TEORES EM NITRATOS NOS TUBÉRCULOS..... | 119 |
| 6.5 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO..... | 120 |
| 6.6 - BALANÇO DO AZOTO..... | 122 |
| BIBLIOGRAFIA | 124 |
| ANEXOS | 135 |
| ANEXO 1 - Dados climáticos | 136 |
| ANEXO 2 - Dados dos solos onde decorreu o ensaio..... | 137 |
| ANEXO 3 - Registos do número de tubérculos e matéria seca dos diferentes componentes da planta ao longo da estação de crescimento..... | 141 |
| ANEXO 4 - Análise de variância aos teores de MS dos diferentes componentes da planta | 147 |
| ANEXO 5 - Tuberização e desenvolvimento dos tubérculos (análise de variância) | 151 |
| ANEXO 6 - Registos da produção por calibres e produção comerciável..... | 153 |
| ANEXO 7 - Análise de variância aos componentes da produção e produção comerciável | 154 |
| ANEXO 8 - Registos da percentagem de terra fina nas diferentes unidades experimentais..... | 155 |
| ANEXO 9 - Registos do azoto mineral no solo no início da estação de crescimento..... | 155 |
| ANEXO 10 - Registos dos valores de humidade e azoto mineral no solo ao longo da estação de crescimento..... | 156 |
| ANEXO 11 - Análise de variância ao azoto mineral no solo..... | 164 |
| ANEXO 12 - Registos dos teores de azoto na MS dos diferentes componentes da planta | 171 |
| ANEXO 13 - Registos do azoto mineral não metabolizado acumulado nos tubérculos | 174 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO 14 - Análise de variância aos teores de azoto nos componentes da planta | 175 |
| ANEXO 15 - Análise de variância ao azoto total nos componentes da planta | 179 |
| ANEXO 16 - Análise de variância ao azoto mineral não metabolizado acumulado nos tubérculos | 182 |
| ANEXO 17 - Parâmetros de ajustamento dos modelos de correlação estabelecidos | 182 |

INFLUÊNCIA DA FERTILIZAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA NA CULTURA DA BATATA. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO

Trabalho realizado sob a orientação científica do **Prof. João Coutinho**

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo principal avaliar a eficiência de utilização do azoto (N) pela cultura da batata (*Solanum tuberosum* L., cv. Stemster) quando sujeita a várias modalidades de fertilização azotada e orgânica. O ensaio de campo foi instalado na Q. 1ª de S. 1ª Apolónia em Bragança no ano de 1994. Como fertilizante mineral foi utilizada a ureia nas modalidades 0 (N0), 50 (N50), 100 (N100), 150 (N150), 200 (N200) e 250 (N250) kg N/ha. Os fertilizantes orgânicos comerciais utilizados foram: estrume de bovino (BO); beiradubo (BA), agri (AG) e fertor (FE), em quantidades variáveis de forma a serem aplicados 100 kg N/ha.

Quinzenalmente procedeu-se à colheita de amostras de solos e plantas. Foram avaliados os níveis de azoto mineral no solo e a resposta das plantas ao azoto aplicado. Estimaram-se índices de eficiência de utilização do azoto e o balanço do azoto.

A produção comerciável variou entre 22,7 e 32,9 t/ha para a modalidade N0 e N250, respectivamente. O óptimo económico foi encontrado para 100 kg N/ha, na forma de ureia. Os fertilizantes orgânicos originaram retornos económicos muito baixos, não se revelando como uma boa estratégia económica de fertilização. A eficiência de utilização de azoto pelos tubérculos diminuiu com a quantidade de azoto aplicado na forma de ureia. Os fertilizantes orgânicos revelaram eficiências internas de utilização de azoto mais elevadas, tal como as menores doses de azoto na forma de ureia. O balanço do azoto sugere que perdas para fora do sistema solo-planta são de rezear nas modalidades constituídas por doses excessivas de azoto mineral.

Palavras chave: batata; adubação azotada; fertilização orgânica; eficiência de utilização do azoto; balanço do azoto.

ABSTRACT

The main goal of the present work, carried out at Bragança (North-east of Portugal) in 1994, was to evaluate the nitrogen use efficiency (NUE) by the potato crop (*Solanum tuberosum* L., cv. Stemster). The fertilizer and the manures used were: urea, at rates of 0 (N0), 50 (N50), 100 (N100), 150 (N150), 200 (N200), and 250 (N250) kg N/ha and cattle manure (BO), beiradubo (BA), agri (AG), and fertor (FE), applied in variable levels to introduce 100 kg N/ha.

Plant and soil samples were collected fortnightly during the cultural cycle to determine the soil mineral available N and the crop response to the applied N. Several indexes related to the NUE and the N balance were estimated.

The marketable yield oscillated between 22,7 and 32,9 t/ha for N0 and N250, respectively. The most profitable return occurred for 100 kg N/ha (N100). The organic manures originated the lower economic returns, showing this to be a poor economic fertilization strategy. The percentage of N fertilizer recovered by the tubers decreased when the N-urea rate increased. The organic fertilization originated the highest internal NUE, as the lower N-urea rates. The N balance suggested that the N losses outside of the soil-plant system seem to be high only in the treatments consisting of excessive N mineral rates.

Key words: potato; nitrogen fertilization; organic manures; N use efficiency; N-balance.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Fig. 1 - Representação esquemática da topografia da parcela..... | 47 |
| Fig. 2 - Valores médios da precipitação acumulada e temperatura do ar registados na estação meteorológica na Q. ta de S. ta Apolónia, no período 1984-1993 e no ano do ensaio (1994) | 48 |
| Fig. 3 - Previsão do intervalo de tempo entre regas a partir da data de instalação da cultura..... | 55 |
| Fig. 4 - Evolução dos níveis de N-NH ₄ ⁺ no solo ao longo da estação de crescimento | 62 |
| Fig. 5 - Evolução dos níveis de N-NO ₃ ⁻ ao longo da estação de crescimento nos 20 cm superiores do solo | 66 |
| Fig. 6 - Evolução dos níveis de N-NO ₃ ⁻ ao longo da estação de crescimento entre 20-40 cm de profundidade | 68 |
| Fig. 7 - Posição relativa dos fertilizantes orgânicos face a doses crescentes de ureia nos níveis de N mineral no solo | 70 |
| Fig. 8 - Evolução do azoto mineral no solo ao longo da estação de crescimento nos 40 cm superiores do solo | 71 |
| Fig. 9 - Evolução da matéria seca da rama ao longo da estação de crescimento..... | 73 |
| Fig. 10 - Evolução da matéria seca nos tubérculos ao longo da estação de crescimento | 76 |
| Fig. 11 - Resposta da planta (produção comerciável) em função do azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos | 81 |
| Fig. 12 - Evolução dos teores em azoto nas folhas | 83 |
| Fig. 13 - Evolução dos teores em azoto nos caules | 85 |
| Fig. 14 - Evolução dos teores em azoto nos tubérculos | 88 |
| Fig. 15 - Relação entre o azoto na rama e a produção comerciável..... | 190 |
| Fig. 16 - Acumulação de azoto nos tubérculos (% sobre o azoto acumulado na totalidade da planta) | 92 |
| Fig. 17 - Relação entre o azoto nos tubérculos e a produção comerciável..... | 94 |
| Fig. 18 - Azoto total na planta em função do azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos | 94 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 19 - Posição relativa dos fertilizantes orgânicos face a aplicações crescentes de ureia nos teores em $N-NO_3^-$ nos tubérculos..... | 97 |
| Fig. 20 - Valores médios da percentagem de azoto recuperado pelos tubérculos com doses crescentes de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos..... | 100 |
| Fig. 21 - Valores médios da percentagem de azoto recuperado pela planta com doses crescentes de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos..... | 102 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Características dos fertilizantes orgânicos utilizados no ensaio | 51 |
| Quadro 2 - Características da batata semente na data de plantação | 52 |
| Quadro 3 - Quantidade de água e azoto mineral introduzidos no ensaio durante a estação de crescimento | 56 |
| Quadro 4 - Registos da análise suméria por bloco e profundidade..... | 57 |
| Quadro 5 - Registos da análise granulométrica por bloco e profundidade | 57 |
| Quadro 6 - Registos da análise ao complexo de troca por bloco e profundidade | 57 |
| Quadro 7 - Datas de colheita de amostras de solos e plantas e correspondência em dias após plantação (DAP)..... | 58 |
| Quadro 8 - Evolução dos níveis de $N-NO_3^-$ ao longo da estação de crescimento nos 20 cm superiores do solo..... | 63 |
| Quadro 9 - Evolução dos níveis de $N-NO_3^-$ ao longo da estação de crescimento entre os 20-40 cm de profundidade | 67 |
| Quadro 10 - Evolução dos níveis de azoto mineral ao longo da estação de crescimento nos 40 cm superiores do solo | 69 |
| Quadro 11 - Evolução da matéria seca na rama ao longo da estação de crescimento | 72 |
| Quadro 12 - Evolução da matéria nos tubérculos ao longo da estação de crescimento | 75 |
| Quadro 13 - Número de tubérculos menores que 10 mm, maiores que 10 mm e número total de tubérculos (NTT) na primeira e segunda amostragens e NTT na colheita | 77 |
| Quadro 14 - Peso fresco nos calibres menor que 30 mm e produção comerciável e valores percentuais da matéria seca nos tubérculos | 79 |
| Quadro 15 - Valores médios dos teores em azoto nas folhas ao longo da estação de crescimento | 82 |
| Quadro 16 - Valores médios dos teores em azoto nos caules ao longo da estação de crescimento | 84 |
| Quadro 17 - Valores médios dos teores em azoto nos tubérculos ao longo da estação de crescimento | 86 |
| Quadro 18 - Valores médios do azoto total na rama ao longo da estação de crescimento | 89 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 19 - Valores médios do azoto total nos tubérculos ao longo da estação de crescimento | 91 |
| Quadro 20 - Teores em azoto mineral não metabolizado nos tubérculos | 96 |
| Quadro 21 - Percentagem de azoto recuperado pelos tubérculos ao longo da estação de crescimento | 98 |
| Quadro 22 - Percentagem de azoto recuperado pela planta ao longo da estação de crescimento | 101 |
| Quadro 23 - Índices de eficiência interna e externa de utilização do azoto e retorno económico do investimento em fertilizantes | 104 |
| Quadro 24 - Balanço do azoto | 109 |

INTRODUÇÃO

O azoto ocupa uma posição de destaque entre os elementos considerados essenciais ao crescimento das plantas. De extrema importância no seu metabolismo, é utilizado na síntese de proteínas, ácidos nucleicos e de muitas outras importantes moléculas como a clorofila, necessária à fotossíntese. As elevadas quantidades de azoto exigidas pela maioria das plantas cultivadas, cujas exportações nalguns casos podem exceder 200 kg N/ha numa única estação de crescimento, levam a que o azoto mineral naturalmente fornecido pelo solo necessite, quase sempre, de ser suplementado com a aplicação de fertilizantes (Agricultural and Food Research Council, 1992).

Fertilizações adequadas originam sistemas radiculares vigorosos, promovem a produtividade das culturas e, conseqüentemente, originam maiores quantidades de resíduos que são de extrema importância na manutenção de níveis adequados da matéria orgânica nos solos, com funções importantes nas suas propriedades físicas, biológicas e químicas (International Fertilizer Industry Association, 1992b).

A resposta espectacular causada pela aplicação dos adubos azotados tem levado a que, por vezes, se exagerem as quantidades aplicadas. A facilidade com que plantas absorvem azoto para além das suas necessidades metabólicas imediatas (consumo de luxo) pode originar desequilíbrios nutritivos, com conseqüências negativas na produção final. A acama fisiológica, nomeadamente em cereais, a maior susceptibilidade das culturas a pragas, doenças e condições ambientais desfavoráveis, atrasos da maturação e diminuição da qualidade dos produtos agrícolas são alguns dos efeitos negativos, no desenvolvimento vegetativo, atribuídos aos excessos de azoto (Boswell *et al.*, 1985; Santos 1991).

Do azoto aplicado como fertilizante nem todo é recuperado pelas culturas. O azoto que não é absorvido pelas plantas durante a estação de crescimento pode permanecer no solo em formas orgânicas ou inorgânicas, mas parte pode ser perdido para fora do sistema solo-planta. Os principais processos através dos quais podem ocorrer perdas, para fora do sistema, incluem lixiviação e desnitrificação de nitratos e volatilização de amoníaco (Follett *et al.*, 1981; Cooke, 1982; Boswell *et al.*, 1985). O conhecimento da eficiência de utilização do azoto pelas culturas, em determinado condicionalismo, é de extrema importância na determinação das quantidades de fertilizante a aplicar (Boswell *et al.*, 1985).

O ideal seria que todo o azoto aplicado como fertilizante fosse recuperado pela cultura ou por uma série de culturas. No entanto, segundo Cooke (1982), em climas temperados, a percentagem de recuperação raramente ultrapassa os 50 % e, mesmo em condições ideais, não mais de dois terços do azoto aplicado como fertilizante é recuperado. Vasconcelos (1992) refere eficiências de utilização da mesma ordem de grandeza e que a compensação das perdas se tem resolvido recorrendo à aplicação de maiores quantidades de adubos. Esta forma de actuar, segundo o mesmo autor, aumenta os custos de produção, polui o meio ambiente e origina um consumo suplementar de energia nos países onde as indústrias de fabrico estão instaladas.

A utilização de quantidades crescentes de azoto, a sua mobilidade natural no sistema solo-planta-atmosfera e o recurso a práticas culturais, por vezes desapropriadas, contribuem para que a eficiência de utilização do azoto seja baixa e as perdas, por seu lado, elevadas, tendo consequências adversas na saúde pública, sanidade animal e meio ambiente. Os excessos de nitratos na água de consumo (e em vegetais) estão associados a uma doença infantil designada metamoglobinémia ou "doença azul" e, de forma mais controversa, ao cancro gástrico. Na sanidade animal, elevados níveis de nitratos em forragens podem constituir toxicidade, sobretudo em ruminantes. Dos principais inconvenientes para o meio ambiente referem-se o contributo dos nitratos na eutrofização de cursos de água e lagoas; a acção do óxido hiponitroso (N_2O) como gás de estufa (cada molécula de N_2O tem um efeito cem vezes superior ao do dióxido de carbono), resultante da desnitrificação dos nitratos; a implicação do N_2O na destruição da camada de ozono da estratosfera; e a acção do amoníaco volatilizado na química da troposfera e a sua implicação na formação de deposições atmosféricas ácidas (Keeney, 1982; International Fertilizer Industry Association, 1992a).

Os problemas ambientais podem acentuar-se quando são aplicados fertilizantes orgânicos. A eficiência de utilização do azoto nalguns destes produtos é ainda inferior aos fertilizantes minerais (Finck, 1982) e acrescem-se os riscos de contaminação dos solos com metais pesados, nomeadamente com cobre e zinco, devido, por exemplo, à sua inclusão nas rações de suínos e de aves e à sua presença em lixos compostados (Santos, 1991). Estes produtos são também, muitas vezes, responsáveis pela libertação de odores incómodos.

Desenvolver as recomendações das fertilizações de forma a manter, sustentavelmente, a produção das culturas sem contaminar o meio ambiente parece ser o maior problema de momento (Vigil *et al.*, 1991). Se tivermos em conta que a

população do globo vai continuar a aumentar e, necessariamente, a área cultivada por pessoa a diminuir, a unidade de solo terá, obviamente, de produzir mais. Conjugado o binómio económico e ambiental, produzir mais sem provocar desequilíbrios ambientais, parece não ser tarefa fácil. Promover a eficiência de utilização de recursos de forma a satisfazer as necessidades de uma população que cresce a um ritmo de 250.000 pessoas/dia (International Fertilizer Industry Association, 1992a) é de grande importância para manter a estabilidade do meio ambiente, não comprometendo a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades.

Conscientes de que a eficiência com que as plantas utilizam o azoto aplicado como fertilizante é a chave para a solução de problemas inerentes à manutenção de elevadas produtividades das culturas, minimização da poluição e conservação da energia, foi definido, como sendo o objectivo central do presente trabalho, avaliar a eficiência de utilização do azoto, concretamente pela cultura da batata.

Nesse sentido, foi instalado um ensaio constituído por dez tratamentos: cinco níveis de adubação (50, 100, 150, 200 e 250 kg N/ha, na forma de ureia); quatro fertilizantes orgânicos com expressão no mercado nacional (estrume de bovino, beiradubo, agri e fertor); e uma modalidade testemunha onde não foi aplicado qualquer fertilizante contendo azoto.

Quizenalmente procedeu-se à recolha de amostras das plantas, por processo destrutivo, e dos solos, a duas profundidades (0-20 e 20-40 cm).

Avaliou-se a disponibilidade de azoto mineral no solo, a resposta da planta à aplicação de azoto, o teor em azoto e o azoto total nas diferentes partes da planta, o teor em nitratos nos tubérculos, a eficiência de utilização do nutriente pela planta (eficiência externa e fisiológica) e apresenta-se, ainda, uma estimativa para o balanço do azoto.

Revisto

1 - O AZOTO COMO NUTRIENTE VEGETAL

1.1 - ABSORÇÃO E ASSIMILAÇÃO DO AZOTO

O azoto é considerado o primeiro de entre os nutrientes vegetais, na medida em que, na grande maioria dos casos, é o principal elemento limitante das produções. É absorvido sobretudo pelas raízes mas pode sê-lo, também, pela parte aérea, nomeadamente através dos estomas e microporos da cutícula exterior da folha. A incorporação do azoto em compostos orgânicos pode ocorrer nas raízes ou na parte aérea, dependendo, entre outros factores, das quantidades e formas de azoto absorvidas.

1.1.1 - Absorção do azoto

As mais importantes formas de azoto que podem ser absorvidas pelas plantas são o amoníaco (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). O nitrito (NO_2^-) e certos compostos orgânicos simples são fontes de menor importância (Campbell, 1978).

O ião amónio e o ião nitrato estão habitualmente presentes na solução do solo e ambos podem ser absorvidos pelas raízes (Foth e Ellis, 1988). A preferência pela forma nítrica ou amoniacal, para além de depender de factores genéticos, depende de factores ambientais, tais como o arejamento, reacção e proporção relativa daquelas formas no solo (Santos, 1991). A rápida nitrificação que ocorre em solos bem arejados e valores de pH próximos da neutralidade levam a que, de uma maneira geral, as plantas absorvam predominantemente a forma nítrica, uma vez que ocorre em concentrações mais elevadas que o amoníaco (Boswell *et al.*, 1985; Tisdale *et al.*, 1985; Foth e Ellis, 1988). Também a facilidade com que se movimenta no solo, inicialmente por fluxo de massa e posteriormente por difusão, quando a sua concentração na rizosfera se reduz, facilita a sua absorção pelas raízes (Olson e Kurtz, 1982; Tisdale *et al.*, 1985).

Algumas plantas parecem ter preferência pelo NH_4^+ , enquanto outras preferem o NO_3^- (Barber, 1984). De uma maneira geral, as espécies calcífugas (plantas adaptadas a solos ácidos) e espécies adaptadas a solos de baixo potencial redox (ex. arroz) têm predilecção pelo amoníaco (Olson e Kurtz, 1982). Pelo contrário, espécies calcícolas (plantas adaptadas a solos de pH elevado) utilizam sobretudo o nitrato (Kirkby, 1967, cit. por Marschner, 1986). Embora absorbam as duas formas de azoto, certas culturas,

como a batateira, parecem ter preferência pelo NH_4^+ (Heller, 1990; Santos, 1991). Outras, como o *Chenopodium album* e certas cultivares de arroz, não toleram o NO_3^- (Tisdale *et al.*, 1985). Contudo, parece não estar de todo esclarecido se as preferências são decorrentes de diferenças genéticas ou se, por exemplo, as plantas adaptadas a solos ácidos ou de baixo potencial redox absorvem o NH_4^+ simplesmente porque o NO_3^- não está disponível.

Em ensaios em vasos, Polizotto *et al.* (1975), cit. por Coelho (1992), verificaram que, quando o NH_4^+ era a única fonte de azoto disponível, este tinha um efeito inibidor no crescimento e desenvolvimento da batateira. Em ensaios de campo, Davies *et al.* (1986), cit. por Coelho (1992), não notaram efeito adverso no crescimento da cultura quando o NH_4^+ era a única fonte de azoto. Na cultura do milho, Schrader *et al.* (1972) verificaram que a combinação de ambas as formas (NH_4^+ e NO_3^-) originou maior absorção de azoto, bem como maiores taxas de crescimento e produção.

A idade da planta parece ter certa influência na forma de azoto absorvida. Segundo Tisdale *et al.* (1985), o NH_4^+ pode ser uma fonte significativa de azoto nas primeiras fases de desenvolvimento de um número importante de culturas. Também Heller (1990) refere que, pelo geral, as plantas jovens preferem o NH_4^+ . Pelo contrário, nas fases finais do ciclo a preferência manifesta-se sobretudo pelo NO_3^- (Olson e Kurtz, 1982). A preferência pela forma de azoto, de acordo com a idade da planta, pode ser também uma questão de oportunidade. No final do ciclo, em solos bem arejados e de pH próximo da neutralidade, a forma NO_3^- predomina nos solos, devido ao processo de nitrificação, e como a grande maioria das plantas absorvem as duas as formas de azoto, será absorvida preferencialmente aquela que está presente em maiores proporções e de maior mobilidade no solo.

A temperatura do solo exerce influência na forma de azoto absorvida. Para uma grande quantidade de espécies, a utilização do NH_4^+ é maior que a utilização do NO_3^- a baixas temperaturas. Clarkson e Warner (1979) verificaram, em azevém italiano (*Lolium multiflorum*) e azevém perene (*Lolium perenne*), que a proporção de NH_4^+ , relativamente ao NO_3^- , aumentava quando a temperatura do solo diminuía. Comparando a absorção de NH_4^+ e NO_3^- pelo azevém perene, a várias temperaturas, Lycklama (1963), cit. por Barber (1984), observou que a absorção de NH_4^+ foi maior a 8 °C. Para temperaturas acima de 23 °C, a absorção de NO_3^- foi superior e aumentou até aos 35 °C. Como as baixas temperatura do solo reduzem a taxa de nitrificação, os níveis de NO_3^- terão tendência para ser mais baixos nestas condições e,

consequentemente, pode ser também por uma questão de oportunidade o facto das quantidades relativas de NH_4^+ absorvidas aumentarem.

A forma em que o azoto é absorvido tem influência na rizosfera e no metabolismo da planta. A absorção de NH_4^+ origina a libertação de protões (H_3O^+) para a rizosfera, com conseqüente diminuição do pH nas proximidades das raízes (Barber, 1984; Tisdale *et al.*, 1985; Santos, 1991). O NH_4^+ geralmente inibe a absorção de catiões podendo induzir deficiências de magnésio ou cálcio (Marschner, 1986) e parece estimular a absorção de fósforo (Olson e Kurtz, 1982; Barber, 1984; Tisdale *et al.*, 1985). A absorção de NO_3^- origina a libertação, a partir das raízes, de bicarbonatos (HCO_3^-) por troca com o excesso de aniões orgânicos formados na planta, com conseqüente aumento do pH da rizosfera (Barber, 1984; Tisdale *et al.*, 1985; Santos, 1991).

Do ponto de vista energético, o NH_4^+ parece ser a fonte preferível de azoto. O ião NO_3^- tem de ser reduzido antes de ser incorporado e o processo consome duas moléculas de NADH por molécula de NO_3^- reduzida (Tisdale *et al.*, 1985). No entanto, os limites de tolerância para o NH_4^+ são muito baixos. Com níveis elevados produzem-se reacções tóxicas que podem retardar o crescimento e restringir o fornecimento de potássio, produzindo sintomas de deficiência deste nutriente. Pelo contrário, as plantas toleram quantidades elevadas de NO_3^- e acumulam elevados níveis nos seus tecidos (Tisdale *et al.*, 1985).

As plantas podem absorver nutrientes através da superfície das folhas ou outros órgãos aéreos (Kenney, 1982; Marschner, 1986; Santos, 1991). Determinados produtos são, por vezes, utilizados como adubos foliares para fornecerem pequenas quantidades de nutrientes. Este método permite fornecer nutrientes às plantas de forma mais rápida que os métodos de aplicação de nutrientes ao solo. Segundo Santos (1991), a ureia é dos produtos mais utilizados em adubação foliar, como fonte de azoto, uma vez que reúne um conjunto de características exigidas por esta técnica de aplicação. Assim, é muito solúvel em água, não é corrosivo para os materiais de aplicação, é compatível com grande parte dos fitofármacos e aumenta a permeabilidade da epiderme das folhas.

Esta prática não tem sido adoptada em larga escala porque: (i) produtos com baixos teores de biureto (composto fitotóxico que resulta da condensação da ureia) são difíceis de obter (Keeney, 1982); e (ii) esta técnica de aplicação origina uma série de problemas, entre os quais se destacam a lavagem da superfície hidrofóbica das folhas,

arrastamento do produto aplicado pela água das chuvas, secagem rápida das soluções aplicadas e queimaduras em folhas devido a concentração salina (Marschner, 1986).

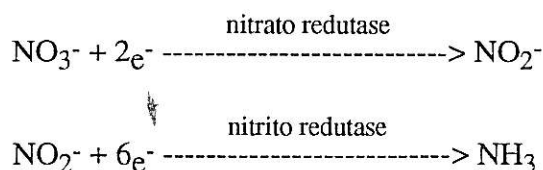
Os estomas são locais de trocas gasosas com a atmosfera. Nutrientes minerais na forma gasosa como o anidrido sulfuroso (SO₂), amoníaco (NH₃) e óxidos de azoto (NO_x) podem entrar na folha através dos estomas (Legg e Meisinger, 1982; Marschner, 1986). Faller (1972), cit. por Legg e Meisinger (1982), em estudos com azoto marcado, demonstrou que, fornecendo gases azotados às folhas, o azoto era incorporado e promovia o crescimento das plantas. Lemon e Houtte (1980) mostraram que, durante o dia, a concentração de NH₃, ao nível da canópia de uma pastagem, atinge níveis bastante baixos, o que pode significar a absorção de quantidades substanciais de azoto pelos estomas. Tisdale *et al.* (1985) referem que as culturas em campo, em condições atmosféricas com concentrações em NH₃ normais, podem absorver 10 % das suas necessidades totais em azoto, directamente a partir do ar, na forma de NH₃.

Os vegetais também podem absorver azoto em formas orgânicas, desde que em pequenas moléculas, como aminoácidos, ureia, ácido úrico, etc., se bem que, em quantidades reduzidas (Campbell, 1978; Heller, 1990).

1.1.2 - Assimilação do azoto

Os iões nitrato e amoníaco são, sem dúvida, as maiores fontes de azoto inorgânico absorvido pelas raízes das plantas superiores. A maior parte do NH₄⁺ absorvido é incorporado em compostos orgânicos nas raízes, enquanto o NO₃⁻, móvel no xilema, pode ser armazenado nos vacúolos das raízes, parte aérea e órgãos de reserva. A acumulação de nitratos nos vacúolos é importante no balanço catiões/aniões e na osmorregulação, particularmente em espécies nitrófilas (Smirnoff e Stewart, 1985, cit. por Marschner, 1986).

Para ser incorporado em compostos orgânicos e desempenhar as suas funções de nutriente vegetal, o NO₃⁻ é reduzido a NH₄⁺. A redução é mediada por duas enzimas: a nitrato redutase, que reduz os nitratos a nitritos; e a nitrito redutase, que reduz os nitritos a amoníaco. O mecanismo aceite é o seguinte (Stevenson, 1986):



Na maioria das espécies, a redução do NO_3^- pode ocorrer tanto na raiz como na parte aérea. A sua localização na planta depende, entre outros factores, do nível de NO_3^- absorvido. Quando a absorção de azoto é baixa, uma percentagem elevada de nitrato é reduzida na raiz. Quando aumenta a absorção de azoto, a capacidade das raízes para reduzir o nitrato é limitada e aumenta a proporção translocada para a parte aérea na forma nítrica. A redução nas raízes exige um grande consumo de glúcidos e é, certamente, um dos factores que mais limitam a capacidade das raízes para reduzir os nitratos (Marschner, 1986).

Durante o crescimento de uma folha individual, a actividade da nitrato redutase é máxima quando a taxa de expansão da folha é também máxima. A partir daí, a sua actividade decresce rapidamente. Em folhas completamente expandidas, a actividade da nitrato redutase é normalmente muito baixa sendo os níveis de nitrato altos (Marschner, 1986). Nas raízes, a sua actividade é elevada nas células em expansão da zona apical mas reduz-se, rapidamente, para a zona basal (Marschner, 1986).

Devido a ser imóvel no floema, altos níveis de nitrato em folhas completamente expandidas limitam a utilização do azoto no metabolismo da planta (Marschner, 1986). Além disso, nas células individuais, o nitrato é armazenado nos vacúolos (Martinoia *et al.*, 1981). A libertação deste nitrato para o citoplasma pode dificultar a sua redução e, conseqüentemente, a utilização do azoto armazenado no processo de crescimento da planta (Rufy *et al.*, 1982). Segundo Marschner (1986), estes resultados são importantes na determinação da época em que deverão ser fornecidos os fertilizantes azotados à planta.

Enquanto o NO_3^- pode ser acumulado nos vacúolos sem efeitos adversos à planta, o amoníaco e, em particular, o amoníaco em equilíbrio [$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$] é tóxico mesmo em baixas concentrações. A formação de aminoácidos e amidas nas células da raiz é a via principal de desintoxicação do amoníaco resultante do NH_4^+ absorvido ou da redução do NO_3^- . A assimilação do NH_3 nas raízes requiere grandes consumos de glúcidos para a formação dos esqueletos carbonados dos aminoácidos e amidas. O transporte destes compostos para a parte aérea é feita, predominante, ou exclusivamente, via xilema (Marschner, 1986).

1.2 - INLUÊNCIA DO AZOTO NO CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DAS PLANTAS

O azoto é o nutriente mais limitante na grande maioria dos solos cultivados com culturas não leguminosas (Olson e Kurtz, 1982). Campbell (1978) considera que

todos os nutrientes vegetais são importantes, mas o azoto é necessário em grandes quantidades e é aquele que mais frequentemente aparece em deficiência. As razões prendem-se com a elevada mobilidade do nutriente, não sendo possível constituir reservatórios de azoto inorgânico no solo pela aplicação de fertilizantes, obrigando, normalmente, a aplicações cultura a cultura. Segundo Burton (1966), dos três macronutrientes principais (azoto, potássio e fósforo), o azoto dá a resposta mais espectacular, medido na produção, quando aplicado como fertilizante. A sua concentração nas plantas é da ordem de 1 a 5 % quando referida à matéria seca (Santos, 1991).

Olson e Kurtz (1982), nas principais funções do azoto nas plantas incluem: (i) componente da clorofila; (ii) componente de aminoácidos necessários à síntese de proteínas; (iii) essenciais na utilização dos hidratos de carbono; (iv) componente de enzimas, vitaminas e hormonas; (v) estimulante do desenvolvimento e actividade das raízes; e (vi) suporte de absorção de outros nutrientes.

A acção do azoto manifesta-se por um desenvolvimento vegetativo luxuriante e uma tonalidade verde-escuro das folhas. Os sintomas de deficiência traduzem-se, em primeiro lugar, por um amarelecimento das folhas, a começar pelas mais velhas, a que se segue a senescência precoce das mesmas e uma redução ou paragem de crescimento (Boswell *et al.*, 1985; Stevenson, 1986). Na batateira, em particular, os sintomas de deficiência manifestam-se por um crescimento vegetativo deficiente, folhas de pequenas dimensões, erectas e pálidas, que senescem mais cedo. Nos componentes da produção, verifica-se a redução do número e tamanho dos tubérculos (Wallace, 1943, cit. por Burton, 1966).

1.2.1 - Taxa de crescimento e absorção de nutrientes

A mudança fundamental induzida pelo aumento dos nutrientes disponíveis para a planta é o aumento de nutrientes acumulados na mesma. Inicialmente, resulta de uma rápida taxa de absorção de nutrientes por unidade de superfície de raiz, devido à sua elevada concentração na solução do solo. Para manter uma taxa de absorção elevada é necessário haver um aumento na translocação de nutrientes a partir das raízes e de glúcidos para as raízes uma vez que, segundo Humphries (1951), cit. por Watson (1963), a taxa de absorção de nutrientes está correlacionada negativamente com a sua concentração na raiz e positivamente com a concentração em glúcidos.

A expansão do sistema radicular é, sem dúvida, mais importante na absorção de elementos menos móveis no solo, como o fósforo (P) e o potássio (K), que propriamente para o azoto, por se tratar de um elemento de maior mobilidade, embora, à medida que o solo vai perdendo humidade, a mobilidade do azoto também fique restringida (Watson, 1963).

A interação existente entre o sistema radicular e a parte aérea faz com que uma maior absorção de nutrientes origine um aumento no crescimento das folhas e da fotossíntese que, por sua vez, promove o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a taxa de absorção de nutrientes (Watson, 1963).

Quando as disponibilidades de azoto são adequadas, o desenvolvimento do sistema radicular é estimulado. A extensão das raízes facilita a absorção de nutrientes e água necessários ao crescimento (Olson e Kurtz, 1982). Quando as disponibilidades de azoto são excessivas, no início da estação de crescimento, o desenvolvimento vegetativo é estimulado e o crescimento das raízes inibido. Este facto pode limitar a absorção de nutrientes e água em estados posteriores (Marschner, 1986). Assim, o azoto controla largamente a taxa de crescimento da planta. Altas taxas de crescimento ocorrem, apenas, quando quantidades adequadas de azoto estão disponíveis (Mengel e Kirkby, 1987).

O crescimento vegetativo consiste na expansão e formação de novas folhas, caules e raízes. O óptimo de crescimento vegetativo das plantas está balanceado entre o nível de produção de fotoassimilados e o nível de assimilação de azoto. Assim, em condições que favorecem a formação de fotoassimilados (alta intensidade luminosa, temperatura adequada e ausência de stress hídrico), a nutrição azotada deve ser elevada e vice-versa (Mengel e Kirkby, 1987).

Os tecidos meristemáticos têm um metabolismo proteico muito activo. Os fotoassimilados transportados para esses locais são usados, predominantemente, na síntese de ácidos nucleicos e proteínas (Mengel e Kirkby, 1987). A senescência precoce, em condições de deficiência de azoto, não resulta, contudo, da falta de síntese de proteínas, sendo induzida pela depressão na síntese de citocininas. Como são necessários aminoácidos para a síntese de citocininas, o seu metabolismo está muito dependente da nutrição azotada (Michael e Beringer, 1980, cit. por Marschner, 1986).

As quantidades de azoto para um crescimento adequado devem, também, estar equilibradas com a presença de outros nutrientes. A síntese de compostos orgânicos depende, por exemplo, de iões inorgânicos, como o magnésio, para a formação da clorofila e de fósforo, para a síntese de ácidos nucleicos (Mengel e Kirkby, 1987).

1.2.2 - Efeito do azoto na taxa de assimilação líquida e área foliar

Os estudos de análise de crescimento têm mostrado que variações na quantidade de nutrientes fornecidos às plantas afectam a dimensão do aparelho fotossintético, mas afectam pouco ou nada a sua eficiência (*Net Assimilation Rate*, NAR) (Watson, 1963).

Em numerosos ensaios de campo com cevada, Watson *et al.* (1958), cit. por Watson (1963), verificaram que o valor de NAR diminuía quando se aumentava o fornecimento de azoto. No entanto, em vasos, onde as plantas provocavam menor ensombramento umas sobre as outras, o valor de NAR aumentava com as doses crescentes de azoto.

Na batateira, em ensaios em vasos, Watson e Wilson (1956), cit. por Watson (1963), não verificaram qualquer efeito do azoto no valor de NAR. Allen e Scott (1980) referem que, quando a cultura foi bem regada e mantida isenta de doenças, a variação de rendimento se deveu, principalmente, à variação na quantidade de radiação interceptada e não à eficiência da sua utilização, que foi quase constante. Em ensaios de campo, Coelho (1992) verificou um decréscimo no valor de NAR com a adubação azotada, explicando os resultados pelo maior sombreamento das folhas, devido ao aumento da área foliar.

A área foliar das plantas depende, primeiramente, do desenvolvimento das fases vegetativas. Crescimentos vigorosos são obtidos em condições climáticas favoráveis fornecendo quantidades adequadas de nutrientes, especialmente azoto, sendo o índice de área foliar (*Leaf Area Index*, LAI) máximo quando o azoto excede largamente o recomendado (Allen e Scott, 1980), enquanto a eficiência da transformação da energia solar em assimilados depende mais dos níveis de fósforo e potássio (Watanabe e Yoshida, 1970, cit. por Mengel e Kirkby, 1987).

O total da área foliar de uma planta depende do número de folhas e das suas dimensões. O aumento de absorção de azoto e fósforo pela batateira aumenta consideravelmente a sua área foliar, enquanto o potássio tem um efeito muito mais modesto. Embora o fornecimento de azoto possa afectar a eficiência fotossintética, tem um efeito mais marcante sobre a fotossíntese total, devido ao aumento que provoca na área foliar (Watson, 1963).

Na batateira, o azoto aumenta a produção de folhas durante toda a vida da planta, estimulando o desenvolvimento dos meristemas apicais e laterais. Quantidades elevadas de azoto podem originar o lançamento de ramificações laterais (Moorby e Milthorpe 1978; Watson 1963; Allen e Scott 1980; Coelho 1992) às quais pode

corresponder metade da sua área foliar (Watson, 1963). Humphries e French (1963), cit. por Moorby e Milthorpe (1978), mostraram que o azoto aumentava a área das folhas pelo aumento do número de células, mas não tinha efeito no tamanho das mesmas.

A duração da área foliar (*Leaf Area Duration*, LAD) é o integral do valor de LAI no tempo e dá a indicação da duração da estação efectiva de crescimento (Radley, 1963; Hunt, 1978). Gunasena e Harris (1968; 1969; 1971), cit. por Martins (1990), observaram uma boa relação entre o teor máximo de azoto nas folhas e o valor de LAD. Segundo Martins (1990), vários autores têm conseguido explicar parte da variação encontrada, relacionando o rendimento com a duração da área foliar.

1.2.3 - Efeito do azoto na tuberização e crescimento dos tubérculos em batateiras

As batateiras diferem, em vários aspectos, de outras culturas como, por exemplo, os cereais. A principal diferença reside no facto de haver uma competição marcada pelos fotoassimilados entre o crescimento vegetativo e os órgãos de reserva (Mengel e Kirkby, 1987).

Os factores ambientais que, como é o caso do azoto, favorecem o desenvolvimento vegetativo da parte aérea, podem retardar o início da tuberização e diminuir a taxa de acumulação de fotoassimilados nos órgãos de reserva. Sattlemacher e Marschner (1979), cit. por Harris (1992), mostraram que em soluções nutritivas o azoto atrasa o início da tuberização, podendo inibir completamente a formação de tubérculos. Segundo Harris (1992), em ensaios de campo, tem sido extremamente difícil detectar atrasos no início da tuberização, embora a taxa de crescimento inicial dos tubérculos seja drasticamente reduzida pelo aumento dos níveis de azoto.

O início da tuberização é modulado pelas hormonas vegetais. O ácido abscísico (ABA) promove a iniciação enquanto o ácido giberélico (GA) têm efeito inverso (Krauss, 1980). A razão ABA/GA controla o início da tuberização. Uma razão alta favorece o seu início, enquanto uma baixa relação o restringe (Mengel e Kirkby, 1987).

A razão ABA/GA é bastante sensível ao fornecimento de azoto. Um fornecimento continuado e abundante resulta numa baixa razão ABA/GA, podendo originar a paragem do crescimento dos tubérculos e um ou mais rizomas podem ser formados em gomos, a partir do ápice do tubérculo. Interrompendo o fornecimento de azoto, o ABA aumenta dramaticamente e inicia-se uma segunda fase do processo de

tuberização com a formação de tubérculos em cadeia (Mengel e Kirkby, 1987). Na prática, esta paragem reversível no crescimento ocorre em fases avançadas do desenvolvimento dos tubérculos, originando protuberâncias e malformações típicas, uma vez que a retoma do crescimento se restringe às zonas meristematicamente mais activas (Mengel e Kirkby, 1987).

O reinício do crescimento dos tubérculos, para níveis normais, após a interrupção do fornecimento de azoto, indica que a competição entre a parte aérea e órgãos de reserva pode ser realmente manipulada pelo fornecimento de azoto (Marschner, 1986). A gestão do azoto, ao longo do ciclo da planta, revela-se de primordial importância na formação da produção comerciável.

Durante as primeiras fases, as plantas devem dispor de quantidades elevadas de azoto para o desenvolvimento dos órgãos vegetativos necessários à fotossíntese. Após a floração, o fornecimento de azoto deve diminuir. Nesta fase, um rápido declínio na produção de folhas aumenta a translocação de fotoassimilados para os órgãos de reserva. Aumentando a nutrição azotada, após a floração, estimula-se o desenvolvimento vegetativo e a iniciação de novas folhas, enquanto a taxa de crescimento dos tubérculos é drasticamente reduzida (Marschner, 1986). Segundo Martins (1990), os elevados níveis de azoto só exercem o seu efeito positivo no rendimento em tubérculos no final do ciclo, pois podem atrasar a tuberização e/ou a taxa de crescimento inicial dos tubérculos.

Os atrasos no início do armazenamento das reservas, provocados por aplicações excessivas de azoto, podem ser de 7 a 10 dias, segundo Ifenkwe (1975), cit. por Allen e Scott (1980). Este facto tem consequências importantes quando se trata de batata primor, cujo objectivo do agricultor é obter o mais cedo possível o produto comercial, quando os preços são mais estimulantes. Dyson e Watson (1971), cit. por Coelho (1990), verificaram, no entanto, que a fertilização azotada (0 - 251 kg N/ha) não atrasou o início da tuberização, na cv. King Edward em campo, mas diminuiu o crescimento inicial dos tubérculos. Este facto não teve consequências negativas na produção, uma vez que o azoto prolongou por mais tempo o crescimento dos tubérculos.

O calibre é, igualmente, um factor chave na determinação da parte comerciável da cultura da batata. Ivany *et al.* (1986), cit. por Martins (1990), referem que altas doses de azoto aumentam o número de tubérculos de calibre maior que 60 mm, mas reduzem o número de tubérculos de calibre "semente" (30 a 60 mm). Castro (1988) obteve um aumento de produção com a adubação azotada apenas no calibre maior que 60 mm.

A maior parte dos tubérculos que atingem calibres comerciáveis são formados num curto espaço de duas semanas. A partir daí, os rizomas continuam a desenvolver-se e pequenos tubérculos são continuamente formados e reabsorvidos (Moorby e Milthorpe, 1978).

1.2.4 - Efeito do azoto na composição das plantas

O azoto altera a composição das plantas muito mais que qualquer outro nutriente vegetal (Marschner, 1986).

Se os níveis de azoto são elevados, aumenta a proporção de protoplasma relativamente à parede celular que é formada. Como o protoplasma é muito hidratado, origina folhas mais suculentas, com maior teor em água. Se as quantidades de azoto são excessivas, as folhas são de grandes dimensões e de paredes mais finas, ficando mais susceptíveis a condições ambientais desfavoráveis e à acção de pragas e doenças (Simpson, 1986). Um excesso de azoto relativamente a outros nutrientes, nomeadamente fósforo, potássio e enxofre, prolonga o desenvolvimento vegetativo e retarda a maturação (Tisdale *et al.*, 1985). Se o azoto está em quantidades insuficientes, as plantas apresentam um amarelecimento (redução da clorofila) que se inicia pelas folhas mais velhas, em virtude da hidrólise dos compostos azotados que, em combinações químicas mais simples e solúveis, podem migrar para zonas meristemáticas, onde são utilizadas na formação de novo protoplasma (Santos, 1991).

Dependendo do tipo de planta, estado fenológico e órgão, o azoto necessário a um óptimo desenvolvimento varia entre 1 e 5 % do peso seco da planta. Em azevém, o aumento da disponibilidade de azoto aumenta a quantidade de matéria seca produzida de acordo com uma curva típica de crescimento, mas os seus dois principais hidratos de carbono (amido e polifrutosanas) decrescem drasticamente (Marschner, 1986).

Em geral, a proporção de compostos azotados solúveis aumentam com níveis crescentes de azoto e tendem a ser elevados nas folhas e órgãos de reserva (Marschner, 1986).

Poucos dados existem sobre as quantidades de azoto nas raízes, devido a dificuldades em obter amostras significativas deste componente. Aceita-se, correntemente, que as quantidades de azoto nas raízes serão, aproximadamente, metade do azoto na parte aérea. Nas leguminosas, os valores tendem a ser superiores, o que pode, segundo Olson e Kurtz (1982), constituir uma forma de poupar azoto com a cultura seguinte.

A variação na composição da planta com os níveis de azoto reflete a competição pelos fotoassimilados que existe entre as várias vias metabólicas. Esta competição é modulada por factores internos e externos. Quando o fornecimento de azoto é insuficiente, o NH_3 assimilado provoca um aumento no conteúdo protéico e no crescimento das folhas e, conseqüentemente, no índice de área foliar. O incremento no valor de LAI está correlacionado com o aumento na fotossíntese líquida [1.2.2]. Quando o azoto é insuficiente, a necessidade de esqueletos carbonados para a assimilação do NH_3 não origina depressões substanciais nas outras vias biossintéticas relacionadas com os hidratos de carbono, armazenamento de lípidos, etc.. Se o azoto for elevado, uma quantidade elevada de NH_3 assimilado é sequestrado, como reserva, na forma de amidas e, devido ao sombreamento mútuo das plantas, o aumento do valor de LAI não tem efeito na fotossíntese líquida. Nestas condições, o NH_3 assimilado em excesso apenas aumenta o conteúdo em azoto e não origina a formação suplementar de outros constituintes importantes da planta (Marschner, 1986).

Na batateira, Oparka *et al.* (1987), cit. por Coelho (1992), verificaram que altos níveis de azoto reduziram a repartição de matéria seca para os tubérculos durante todo o crescimento da planta, enquanto no mais baixo nível de azoto a repartição de matéria seca para os tubérculos aumentava antes da senescência das folhas. Aos 80 dias após plantação, as plantas deficientes em azoto tinham translocado para os tubérculos cerca do dobro das plantas bem providas de azoto. No entanto, estas últimas continuavam a translocar assimilados durante mais tempo, anulando a diferença entre tratamentos.

Segundo Harris (1992), a maior concentração de azoto ocorre nas folhas e corresponde a 6% na matéria seca no início da estação de crescimento. A quantidade total de azoto na rama atinge o máximo no início da tuberização e depois decresce.

Coelho (1992), em ensaios de campo, utilizando aplicações de 0, 200 e 400 kg N/ha, verificou que o teor em azoto na matéria seca das folhas (limbos mais pecíolos) decresceu ao longo do ciclo cultural, variando entre 6 e 2%, e o seu teor nas folhas, na modalidade N0 (0 kg N/ha), foi significativamente inferior aos restantes tratamentos. Saffigna e Keeney (1977) referem que o conteúdo máximo em azoto, na totalidade da planta (rama mais tubérculos), ocorreu a 90 dias após emergência, na cultivar Russet Burbank.

A concentração de azoto nos tubérculos decresce no período inicial, fase em que os tubérculos têm um crescimento exponencial, e depois permanece praticamente constante (Moorby, 1968, cit. por Martins, 1990). Segundo Coelho (1992), o teor em azoto nos tubérculos registou menores variações que nas folhas e oscilou entre 1 e

2 %. O teor em azoto nos tubérculos foi significativamente inferior na modalidade testemunha (N0) em relação a N2 (400 kg N/ha). Em ensaios conduzidos por Liegel e Walsh (1976), refere-se que a concentração de azoto nos tubérculos variou entre 1,2 e 1,5 % para aplicações de 198 e 264 kg N/ha. Saffigna e Keeney (1977) não encontraram diferenças significativas na concentração em azoto dos tubérculos, nas várias modalidades de fertilização azotada ensaiadas, sendo o valor médio de 1,4 %.

O'Beirne e Cassidy (1990) observaram uma diminuição significativa na percentagem de matéria seca nos tubérculos com adubações superiores a 150 kg N/ha.

Segundo Millard e Marshall (1988), cit. por Coelho (1992), nas fases iniciais, o azoto em excesso acumula-se preferencialmente nas folhas sob a forma de nitrato e proteína solúvel, nos caules sob a forma de nitrato e nos tubérculos em formas reduzidas, sendo estas um importante componente durante todo o crescimento.

A concentração em nitratos nos tubérculos está positivamente correlacionada com a fertilização azotada, especialmente com as doses elevadas que causam um incremento drástico no conteúdo em NO_3^- (Millard e Marshall, 1988, cit. por Coelho, 1992). Saffigna e Kenney (1977) obtiveram concentrações em nitratos menores que 100 mg/kg, em todas as colheitas, e maiores que 2000 mg/kg na rama, na primeira metade do ciclo da cultura. Em ensaios em vasos, Mühling *et al.* (1994) mostraram que nas fertilizações mais generosas, 31 % do N-NO_3^- nos tubérculos entrou através da superfície dos próprios tubérculos uma vez que é imóvel no floema.

2 - DINÂMICA DO AZOTO NOS SOLOS

A aplicação correcta de fertilizantes azotados, desde as quantidades, tipo, técnicas e épocas de aplicação, exige um conhecimento prévio das transformações do azoto que ocorrem no solo. A compreensão dos factores que afectam os ganhos e as perdas de azoto são de extrema importância no desenvolvimento de práticas que aumentem a eficiência da sua utilização pelas plantas e minimizem o impacto na saúde pública e meio ambiente.

Como se sabe, as plantas absorvem a maior parte do azoto nas formas NH_4^+ e/ou NO_3^- . Sendo assim, estas formas deverão estar disponíveis em quantidades adequadas durante a estação de crescimento. Em condições naturais, os ganhos de azoto ocorrem por fixação biológica do azoto elementar e pelo retorno do NH_3 e NO_3^- na água da chuva. As perdas devem-se às exportações pelas plantas, lixiviação e desnitrificação de nitratos e volatilização de amoníaco (Stevenson, 1986).

Segundo Wild (1988), as quantidades de azoto postas à disposição de uma cultura dependem do azoto mineral presente no solo (NH_4^+ e NO_3^-), no início da estação de crescimento, mais as quantidades aplicadas como fertilizante e mineralizado, a partir das formas orgânicas, menos o azoto que é perdido, a partir do solo, por lixiviação ou em formas gasosas.

2.1 - FORMAS DE AZOTO NO SOLO

Dos 1972×10^{20} g de azoto presente no globo terrestre, 97,82 % encontra-se na litosfera, 1,96 % na atmosfera e apenas 0,02 % na biosfera (Porter, 1975, cit. por Campbell, 1978). O azoto da litosfera encontra-se em concentrações muito baixas, sendo o seu contributo para a nutrição das plantas praticamente nulo. A fracção presente na atmosfera, na forma N_2 , não pode ser utilizado directamente pelas plantas superiores sem antes sofrer um processo de fixação biológico ou industrial. Do azoto da biosfera, 86,7 % é relativamente inerte e só muito lentamente, por degradação microbiana, se torna disponível para as plantas (Campbell, 1978).

O azoto presente nos solos pode ser classificado em orgânico e inorgânico. Entre 93 a 97 % do azoto nas camadas superficiais dos solos ocorre em formas orgânicas.

Das formas inorgânicas fazem parte o amoníaco, o nitrato, o nitrito, o óxido hiponitroso, o óxido nítrico (NO_2), o óxido nitroso (NO) e o azoto elementar (N_2). A última forma é inerte, excepto para o rizóbio e outros organismos fixadores. A maior

parte do azoto inorgânico está fixado nos minerais de argila e só quantidades muito pequenas estão disponíveis para as plantas na forma de NO_3^- , na solução do solo, e na forma de NH_4^+ , no complexo de troca (Stevenson, 1986). Do ponto de vista da fertilidade dos solos, o NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- são as formas de maior importância. Aparecem no solo, sobretudo, por decomposição aeróbica da matéria orgânica ou como resultado de aplicações de vários fertilizantes comerciais, e representam 2 a 5 % do azoto total no solo. O óxido hiponitroso e o óxido nitroso representam formas sob as quais o azoto pode ser perdido por desnitrificação (Tisdale *et al.*, 1985).

As formas orgânicas de azoto ocorrem na forma de aminoácidos e proteínas consolidados, aminoácidos livres, açúcares aminados e outros compostos complexos e de difícil identificação. Os teores em azoto na matéria orgânica são da ordem dos 5 a 6 % (Tisdale *et al.*, 1985). As formas orgânicas são convertidas em NH_4^+ e NO_3^- pelo processo denominado mineralização (Stevenson, 1986). Barber (1984) distingue, no azoto orgânico, uma fracção mineralizável e uma fracção estável. A fracção mineralizável corresponde, frequentemente, a menos de um terço do azoto orgânico total do solo.

2.2 - DEGRADAÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Matéria orgânica de um solo é um conceito que se usa englobando materiais de origem animal e vegetal em várias fases de decomposição (Tisdale *et al.*, 1985).

Por decomposição entende-se a desintegração da matéria orgânica em compostos orgânicos mais simples. A decomposição da matéria orgânica é um processo biológico que depende da actividade de diferentes populações de organismos residentes no solo, onde a meso- e micro-fauna e micro-flora têm um papel preponderante. Os factores que a afectam são os mesmos que influenciam a actividade microbiana (Campbell, 1978).

Existe ainda alguma controvérsia sobre os diversos componentes que constituem a matéria orgânica. Do ponto de vista da sua estabilidade biológica, Jenkinson (1971), cit. por Campbell (1978), organiza os materiais orgânicos em cinco fracções diferentes: (i) resíduos frescos; (ii) lenhinas de anteriores adições; (iii) biomassa; (iv) metabolitos da actividade microbiana e constituintes da parede celular adsorvidos aos colóides; e (v) húmus estável.

Segundo Campbell (1978), os resíduos frescos e a biomassa são os responsáveis pela libertação da maior parte do azoto para as plantas.

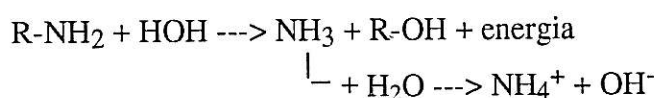
2.2.1 - Mineralização do azoto orgânico

Jansson e Persson (1982) definem mineralização do azoto orgânico como a transformação de substratos orgânicos azotados em formas inorgânicas. O processo deve-se à acção de microrganismos heterotróficos do solo que utilizam as substâncias orgânicas azotadas como fonte de energia. No decurso do processo de mineralização, alguns autores (Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986; Mengel e Kirkby, 1987; Santos, 1991) distinguem três grupos de reacções principais: aminização; amonificação; e nitrificação. As duas primeiras envolvem microrganismos heterotróficos e a terceira envolve, sobretudo, bactérias autotróficas do solo (Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986).

A população de microrganismos responsáveis pela aminização é composta de vários grupos de bactérias e fungos. Em solos de reacção neutra a alcalina crê-se serem as bactérias a dominar o processo de aminização, enquanto em solos de reacção ácida prevalecerá a acção dos fungos. A acção de cada grupo de microrganismos vai fornecendo o substrato a grupos seguintes e os produtos finais da decomposição dos materiais orgânicos azotados são aminas, aminoácidos, açúcares aaminados, etc., resultantes da hidrólise das proteínas. O processo pode ser esquematizado da seguinte forma (Tisdale *et al.*, 1985; Santos, 1991):

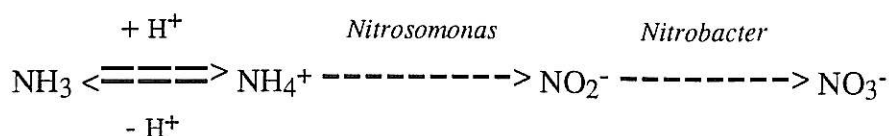


As aminas e aminoácidos, sob a acção de outros grupos de microrganismos heterotróficos (bactérias, fungos e actinomicetas), originam compostos amoniacaais pelo processo denominado amonificação, e pode ser representado da seguinte forma (Tisdale *et al.*, 1985):



Parte do NH_4^+ libertado pelo processo de amonificação e com origem noutras fontes, como os fertilizantes, pode ser convertido em nitratos. A oxidação biológica do NH_4^+ a NO_3^- é designada por nitrificação. O processo de nitrificação envolve duas fases. Na primeira, o NH_4^+ é reduzido a NO_2^- e, na segunda, o NO_2^- é convertido em NO_3^- . Inicialmente, o grupo de microrganismos responsáveis por este processo são bactérias autotróficas aeróbicas, dos géneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*,

respectivamente (Boswell, 1985). A oxidação biológica do NH_4^+ a NO_3^- pode ser assim representada (Finck, 1982; Stevenson, 1986):



As *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* são, em conjunto, designadas nitrobactérias. Diversos factores, como a presença de NH_4^+ , a população de nitrobactérias, reacção, arejamento, teor de humidade e temperatura do solo, influenciam a actividade das nitrobactérias, condicionando as disponibilidades de azoto nítrico e a sua utilização pelas plantas (Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986).

Para além das bactérias autotróficas, diversos microrganismos heterotróficos, incluindo bactérias, actinomicetas e fungos, podem, quando em cultura pura, produzir NO_2^- ou NO_3^- a partir do NH_4^+ . A importância ecológica da nitrificação pelos heterotróficos não está ainda convenientemente esclarecida (Stevenson, 1986).

A disponibilidade de azoto mineral no solo, para o crescimento das plantas, depende consideravelmente da mineralização de azoto a partir da matéria orgânica (Ruiter *et al.*, 1993). A sua descrição em termos quantitativos requiere equações com muitas variáveis, algumas das quais não podem ser medidas ou variam de forma imprevisível (Broadbent, 1986). Estimativas adequadas do azoto mineralizado, a partir da matéria orgânica, durante a estação de crescimento são, no entanto, necessárias para estabelecer correctamente as recomendações de fertilização (Gharrous *et al.*, 1990).

Com base em trabalhos de diversos autores, Barber (1984) apresenta estimativas da mineralização do azoto baseadas na decomposição da matéria orgânica, pressupondo que a mineralização é homogénea, e conclui que as disponibilidades de azoto, a partir da mineralização da matéria orgânica, podem variar de 10 a 200 kg/ha/ano, considerando uma profundidade de 20 cm e uma densidade aparente de 1,3, uma vez que o azoto total dos solos se situa entre os 0,02 e 0,4 % (m/m). No entanto, para a grande maioria dos solos agrícolas, em que o azoto total do solo varia entre 0,05 e 0,1% (m/m), as disponibilidades de azoto, a partir da mineralização da matéria orgânica, serão da ordem dos 25 a 50 kg/ha/ano.

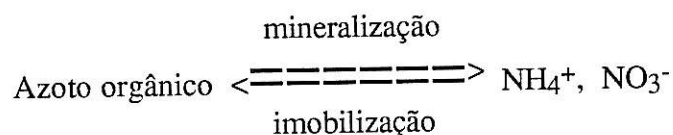
Saffigna *et al.* (1977) referem que a mineralização do azoto orgânico nos 25 cm superficiais de um solo argilo-arenoso, com 510 mg/kg de azoto total, forneceu cerca

de 25 kg N/ha/ano, o que correspondeu a uma taxa de mineralização de 1,5 % ao ano.

Quando as condições ambientais e as práticas culturais permanecem mais ou menos constantes ao longo dos anos, o teor de matéria orgânica tende a estabilizar e a não sofrer grandes oscilações. Em condicionalismos onde o nível de matéria orgânica do solo permaneça mais ou menos constante ao longo dos anos, a transformação dos resíduos das culturas deverá originar quantidades equivalentes de matéria orgânica e azoto orgânico às que são mineralizadas (Barber, 1984). Nestas condições, os ganhos e as perdas de carbono e azoto tendem a ser iguais. Se as condições são alteradas, então o balanço é perturbado e as perdas podem exceder os ganhos ou vice-versa (Campbell, 1978).

2.2.2 - Razão carbono/azoto dos materiais adicionados e mineralização-imobilização do azoto

A percentagem de carbono relativamente à percentagem de azoto nos materiais orgânicos denomina-se razão carbono/azoto (C/N). A razão C/N dos materiais orgânicos adicionados ao solo é o parâmetro mais utilizado para prever a mineralização líquida ou imobilização biológica de azoto, durante a sua decomposição (Vigil *et al.*, 1991). Por imobilização biológica entende-se a conversão do NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- e NO_2^- em tecido microbiano, a biomassa do solo (Jansson e Persson, 1982). As vias bioquímicas são o inverso da mineralização da matéria orgânica (Stevenson, 1986).



A magnitude e direcção do processo mineralização-imobilização determina a quantidade de azoto inorgânico disponível para as plantas e susceptível de ser perdido por lixiviação e desnitrificação (Zaccheo *et al.*, 1993). Como mineralização e imobilização podem ocorrer em simultâneo, mas de forma antagónica, uma diminuição ao longo do tempo nos níveis de azoto mineral no solo indicam imobilização líquida, enquanto um aumento sugere mineralização líquida (Stevenson, 1986).

O azoto, juntamente com outros nutrientes, é necessário aos microrganismos que decompõem a matéria orgânica. Se os teores de azoto nos materiais a decompor são baixos, relativamente ao carbono presente, os microrganismos utilizam azoto mineral do solo. Se o material adicionado contém muito azoto, relativamente ao carbono

presente, os níveis de azoto mineral do solo não diminuem e rapidamente começa a aparecer azoto libertado a partir da mineralização do material orgânico (Tisdale *et al.*, 1985).

A imobilização biológica de azoto é importante quando são incorporados restos de culturas, ou matéria orgânica fresca, cuja razão C/N é muito elevada. Nestas condições, os microrganismos, dispondo de grandes quantidades de energia, utilizam o azoto e outros elementos essenciais ao seu rápido crescimento, competindo com as plantas para o azoto mineral do solo. A razão C/N dos materiais aplicados ao solo tem, assim, um pronunciado efeito na mineralização e imobilização de azoto (Tisdale *et al.*, 1985).

Estudos com resíduos de várias culturas (Irritani e Arnold, 1960, cit. por Tisdale *et al.*, 1985) indicam que, para valores da razão C/N entre 20:1 e 30:1, a mineralização e imobilização de azoto equilibram-se. Se a razão C/N dos materiais adicionados ao solo é superior a 30:1, verifica-se imobilização do azoto mineral durante as fases iniciais do processo de decomposição. Se o material orgânico tem razão C/N inferior a 20:1, é de esperar libertação de azoto mineral nas primeiras fases do processo. Valores idênticos para o balanço mineralização-imobilização são apresentados por outros autores (Jansson e Persson, 1982; Barber, 1984; Stevenson, 1986; Campbell, 1978). Estes resultados fornecem uma boa indicação da magnitude e direcção do processo mineralização-imobilização, mas não são, obviamente, constantes. Eles dependem, entre outros factores, da temperatura, das quantidades e forma de azoto mineral no solo e das quantidades e composição dos substratos orgânicos presentes (Campbell, 1978).

A concentração em azoto nos materiais orgânicos adicionados afecta a quantidade de azoto mineral libertado. Concentrações entre 1,5 e 1,7 % são, de uma maneira geral, suficientes para minimizar os efeitos de imobilização do azoto (Campbell, 1978; Smith e Peterson, 1982; Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986).

A adição de materiais orgânicos ao solo pode originar um incremento na matéria orgânica estável ou húmus do solo. O processo denomina-se humificação (Costa, 1973; Campbell, 1978; Stevenson, 1986) e a velocidade com que ocorre depende da quantidade de material adicionado, do azoto disponível, da resistência do material, da temperatura, do teor de humidade e da actividade das numerosas populações de microrganismos existentes no solo (Campbell, 1978). É um processo conservador, em resultado do qual se originam complexos coloidais relativamente estáveis e resistentes

à decomposição. As fases iniciais de alteração dos resíduos são comuns aos processos de mineralização e humificação (Costa, 1973).

A aplicação de resíduos orgânicos com elevados valores de razão C/N devem ser acompanhados de um reforço da adubação azotada sempre que se pretenda, de seguida, instalar uma cultura. O processo de decomposição é rápido e os microrganismos são competidores mais eficientes que as plantas para o azoto disponível no solo. Se a seguir à incorporação de resíduos não for instalada nenhuma cultura, a imobilização biológica pode ser um bom meio de poupar azoto potencialmente lixiviável (Campbell, 1978).

2.2.3 - Efeito da adição de materiais orgânicos na mineralização da matéria orgânica estável ou húmus do solo

A aplicação de materiais orgânicos ao solo pode estimular (efeito positivo) ou proteger (efeito negativo) a decomposição de húmus nativo do solo. Este efeito é correntemente designado de Acção Primária ou Efeito Primário (EP). A sua descoberta só foi possível com a utilização de isótopos radioactivos em estudos de mineralização (Campbell, 1978)

Um dos primeiros investigadores a sugerir o EP, devido à aplicação de material orgânico ao solo, foi Löhnis (1926), cit. por Jansson e Persson (1982), baseado em resultados de siderações em estufas e condições de campo. Este autor sugeriu que a intensificação da actividade microbiana, que acompanhava a incorporação da sideração no solo, estimulava a mineralização do azoto do húmus nativo.

Diversos autores têm encontrado efeitos positivos, negativos e ambos os efeitos, trabalhando em condições variadas. No entanto, os resultados têm sido muito contestados e muitas dúvidas subsistem sobre este assunto. Stevenson (1986), nos erros provavelmente cometidos, inclui: (i) parte do CO₂ marcado poder trocar com o carbono dos carbonatos do solo; (ii) o carbono do material vegetal a incorporar poder não ficar uniformemente marcado com o isótopo; (iii) diferenças no ambiente onde se desenvolvem os microrganismos, como o pH, oxigénio, humidade, etc., poderem resultar de adições dos materiais orgânicos; (iv) técnicas estatísticas deficientes na utilização do isótopo e erros na interpretação e análise dos dados; e (v) a aceleração da decomposição da matéria orgânica dever-se, por exemplo, a processos de humedecimento e secagem.

Os efeitos encontrados são frequentemente positivos. Assumindo que o carbono extra que se perde é causado pelo EP, a explicação mais provável, segundo Stevenson (1986), baseia-se na formação de populações numerosas e vigorosas de microrganismos que, subsequentemente, produzem enzimas que atacam a matéria orgânica nativa do solo. Os resíduos mais facilmente decomponíveis podem ter, assim, um efeito particularmente acelerador nas perdas de carbono (Stevenson, 1986). De acordo com Campbell (1978), os resultados observados não têm sido, contudo, significativos quando comparados com a quantidades de matéria orgânica do solo e a sua importância prática parece ser mínima. As perdas anuais, devidas a este efeito, podem nem ser superiores às quantidades deixadas no solo pelos materiais orgânicos adicionados, após o processo de humificação

2.3 - AZOTO AMONIAL FIXADO EM FORMAS ORGÂNICAS E MINERAIS

2.3.1 - Imobilização biológica do azoto

A utilização do NH_4^+ pelos microrganismos heterotróficos origina uma fase orgânica activa que consiste na biomassa microbiana viva e nos produtos da sua decomposição. Esta fase representa 5 a 15 % do azoto total do solo, e é a principal fonte de azoto durante a estação de crescimento das plantas (Tisdale *et al.* 1985). Uma pequena fracção desta fase orgânica pode estabilizar e passa a fazer parte da matéria orgânica estável ou húmus do solo (Tisdale *et al.* 1985). A imobilização biológica de azoto é importante quando são incorporados restos de culturas ou matéria orgânica fresca cuja razão C/N seja muito elevada, como foi referido em 2.2.2.

2.3.2 - Retenção do ião amónio pelos minerais de argila

Certos minerais de argila expansíveis, designadamente vermiculites, ilites e, em menor extensão, montmorilonites, podem fixar NH_4^+ entre as suas unidades estruturais. O mecanismo é análogo à fixação do potássio, uma vez que estes catiões têm dimensões muito idênticas na sua forma desidratada (Nommik e Vahtras, 1982; Barber, 1984; Boswell *et al.*, 1985; Tisdale *et al.*, 1985). O colapso da malha ocorre uma vez que a energia de hidratação do K^+ e NH_4^+ (e também do Rb^+ e Cs^+) é muito

baixa, originando a desidratação interlamelar, com conseqüente aprisionamento destes catiões.

A capacidade de um solo para fixar NH_4^+ é muito variável e depende da presença dos minerais referidos, da concentração de NH_4^+ na solução do solo, da alternância nos processos de humedecimento/secagem e congelamento/descongelamento, da presença de outros catiões (particularmente do K^+), do pH e do teor de matéria orgânica (Nommik e Vahtras, 1982). Carranca (1986) cita valores de NH_4^+ fixado entre 6,5 a 20,4 % do azoto total do solo, em vários solos de Portugal em que os teores de argila eram compreendidos entre 13,3 e 24,2 %. Mengel e Kirkby (1987) referem valores entre 5 a 6 % do azoto total fixado nos horizontes superficiais e 20% nos horizontes subsuperficiais onde o teor de argila era mais elevado. Stevenson e Dhariwal (1959), cit. por Martins (1994), referem que, em muitos solos, o NH_4^+ fixado pode corresponder a 5% do azoto total nas camadas superficiais e representar 60 % do azoto total no subsolo. Stevenson (1986) considera que na camada arável de solos minerais o azoto fixado raramente ultrapassa 10 % do azoto total do solo.

O NH_4^+ assim fixado está, de uma maneira geral, pouco disponível para as plantas e bactérias nitrificantes (Boswell *et al.* 1985). Allison *et al.* (1953), cit. por Legg e Meisinger (1982), mostraram que, do NH_4^+ fixado, apenas 7 % foi utilizado pelo sorgo. Valores muito diferentes são, contudo, apresentados por outros autores. Se bem que em ensaios em vasos, onde a densidade radical é mais elevada, Black e Waring (1972), cit. por Nommik e Vahtras (1982), referem recuperações pela cultura do trigo de 50 % do NH_4^+ recentemente fixado, durante apenas um ciclo vegetativo. Em solos com elevada capacidade de fixação, fertilizar prévia- e abundantemente com potássio pode ser uma forma de reduzir a fixação de NH_4^+ , tornando-o mais disponível para as plantas ao longo da estação de crescimento (Boswell *et al.*, 1985).

Do ponto de vista agronómico, a reduzida disponibilidade do NH_4^+ pode não ser desfavorável. A fixação nos minerais de argila confere-lhe uma certa protecção contra a lixiviação e permite que, de forma gradual, vá sendo fornecido às plantas ao longo do ciclo vegetativo, à medida que for sendo substituído pelos catiões que expandem a malha, nomeadamente pelo Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ e H_3O^+ (Nommik e Vahtras, 1982).

2.3.3 - Reacção do NH_3 com a matéria orgânica

As transformações do NH_3 originam NH_4^+ que pode ficar química e fisicamente acessível para as plantas. Também, parte do NH_3 pode ser quimicamente fixado por

reações com a matéria orgânica (Barber, 1984; Boswell *et al.*, 1985; Stevenson, 1986). A natureza das reações e a extensão do fenómeno são mal conhecidas, mas sabe-se que envolvem reações com lenhinas oxidadas e vários grupos quinonas, acompanhadas de polimerizações, das quais resultam moléculas resistentes à dissolução e acção de enzimas (Boswell *et al.* 1985). A quantidade de azoto que fica indisponível para as plantas é particularmente importante quando são aplicados fertilizantes na forma de ureia, NH_3 ou NH_4^+ , em solos com elevados níveis de matéria orgânica e de reacção alcalina (Stevenson, 1986). Estudos conduzidos por Burge e Broadbent (1961), cit. por Nommik e Vahtras (1982), com ^{15}N , mostraram que 95 % do NH_3 retido por este processo não está mais disponível para as plantas que o azoto da matéria orgânica estável do solo.

Em solos minerais e com aplicações moderadas de fertilizantes, apenas uma pequena parte do azoto aplicado pode ficar inactivo por reações com a matéria orgânica. Estimativas apresentadas por Nommik e Vahtras (1982), para um solo mineral com 2% de carbono orgânico e aplicações de NH_3 de 100 kg N/ha, a extensão da imobilização não excede 5 % do azoto adicionado. De acordo com os mesmos autores, a extensão do fenómeno aumenta com a quantidade de fertilizante adicionado e a percentagem de azoto fixado, obviamente, diminui com o aumento das quantidades aplicadas.

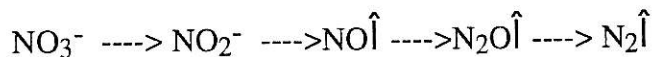
2.4 - PERDAS DE AZOTO A PARTIR DO SISTEMA SOLO-PLANTA

De entre todos os nutrientes necessários ao crescimento das plantas, o azoto é o mais móvel e, por isso, o mais sujeito a perdas a partir do sistema solo-planta. Mesmo em condições ideais, não mais de dois terços do azoto aplicado como fertilizante pode ser recuperado por uma cultura ou permanecer no solo durante a estação de crescimento. Segundo Stevenson (1986), os principais processos através dos quais podem ocorrer perdas de azoto para fora do sistema incluem fenómenos de desnitrificação de nitratos, volatilização de amoníaco, reações químicas não enzimáticas envolvendo nitritos, lixiviação e erosão.

As transformações que ocorrem envolvem factores biológicos, químicos e físicos, por vezes difíceis de descrever e controlar, nomeadamente em condições de campo. Estudos com lisímetros e laboratoriais de balanços de azoto têm dado indicação da magnitude das perdas e das condições que as promovem (Boswell *et al.*, 1985).

2.4.1 - Desnitrificação

Desnitrificação é um processo redutivo pelo qual os nitratos, nitritos e óxido hiponitroso servem de aceitador de electrões a bactérias anaeróbias facultativas (Boswell *et al.*, 1985). Em condições aeróbicas, estas bactérias utilizam o oxigénio (O₂) como aceitador terminal de electrões. Em condições de anoxia, usam os nitratos e nitritos donde resulta a formação de N₂ e/ou N₂O (Firestone, 1982; Stevenson, 1986; Leffelaar e Wessel, 1988). A sequência bioquímica mais provável para o processo é a seguinte (Stevenson, 1986):



Para que a desnitrificação ocorra, quatro factores devem estar presentes simultaneamente. São eles: (i) condições de anoxia; (ii) dadores de electrões (carbono orgânico, enxofre, hidrogénio); (iii) presença de microrganismos com capacidade de desnitrificação; e (iv) presença de NO₃⁻, NO₂⁻, NO ou N₂O como aceitadores terminais de electrões (Firestone, 1982).

A capacidade de desnitrificação é atribuída a 33 géneros de bactérias. Os organismos inicialmente envolvidos no processo são heterotróficos. Os mais comuns pertencem aos géneros *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, e *Pseudomonas*. Alguns quimioautotróficos (espécies do género *Thiobacillus*) são também capazes de utilizar o NO₃⁻ produzindo óxidos de azoto (Stevenson, 1986).

Nos solos agrícolas ocorrem populações numerosas destes microrganismos, nomeadamente na vizinhança das raízes, sendo o seu desenvolvimento suportado pelos exsudados radiculares, e o potencial para a desnitrificação é enorme. No entanto, a magnitude do processo é muito condicionada por vários factores ambientais, como o teor e tipo de matéria orgânica presente, humidade do solo, arejamento, reacção, temperatura e quantidade e forma de azoto mineral presente (Tisdale *et al.*, 1985).

Vários investigadores têm observado que a desnitrificação geralmente aumenta com o teor do carbono orgânico do solo, sendo praticamente negligível quando o solo contém menos de 1% de carbono orgânico. O factor mais importante não é necessariamente o carbono orgânico total mas, talvez mais, o carbono orgânico biologicamente activo. Stanford *et al.* (1975) verificaram a existência de correlações altamente significativas entre a capacidade de desnitrificação com o carbono solúvel na água e com o carbono mineralizável.

O arejamento do solo é o factor que mais controla a desnitrificação. Baixos níveis de oxigénio no solo resultam no incremento da síntese e actividade de enzimas desnitrificantes e, por outro lado, restringem o fornecimento de NO_3^- , uma vez que limitam a nitrificação. A redução da pressão de oxigénio aumenta as perdas por desnitrificação. No entanto, as perdas não são apreciáveis enquanto o oxigénio não for drasticamente reduzido (Boswell *et al.*, 1985). O arejamento afecta igualmente a proporção de perdas na forma de N_2O ou N_2 . Em condições de anoxia intensa, o produto dominante é o N_2 , enquanto a quantidade de perdas na forma de N_2O aumenta quando se reduz o stress de oxigénio (Boswell *et al.*, 1985).

A humidade do solo é sobretudo importante do ponto de vista do arejamento, uma vez que condiciona a difusão do oxigénio. A desnitrificação é negligível para teores de humidade inferiores a 80% da capacidade de campo, mas é apreciável em solos encharcados. As formas nítricas introduzidas pela água, aplicadas como fertilizante ou oxidadas à superfície, estão particularmente sujeitas a perderem-se por desnitrificação naquelas condições (Boswell *et al.*, 1985).

A reacção do solo exerce uma marcada influência no processo de desnitrificação, uma vez que os principais organismos desnitrificantes são muito sensíveis a valores de pH baixos. Para valores de pH entre 6 e 8, a reacção do solo tem pouca influência na desnitrificação. Se o pH é menor que 5, a desnitrificação decresce marcadamente (Firestone, 1982). A acidez do solo afecta igualmente a forma gasosa das perdas. A pH maior que 6 predominam as perdas na forma N_2 . Abaixo deste valor, as perdas na forma N_2O aumentam e tornam-se a forma dominante para valores de pH menores que 5 (Firestone, 1982).

O processo de desnitrificação é muito sensível à temperatura do solo e aumenta rapidamente para valores compreendidos entre 2 a 25 °C. Entre 25 e 60 °C, a desnitrificação continua a aumentar de forma muito suave. O aumento da desnitrificação com o aumento da temperatura do solo sugere que os organismos termófilos têm o papel mais importante na desnitrificação (Tisdale *et al.*, 1985).

A presença de NO_3^- e/ou NO_2^- é um requisito necessário para que a desnitrificação ocorra. Valores elevados de nitratos favorecem a desnitrificação e exercem influência no tipo de gás produzido. Altos valores de NO_3^- favorecem a produção de N_2O (Tisdale *et al.*, 1985).

As perdas de azoto por desnitrificação são afectadas por aplicações de materiais orgânicos. Quando são aplicados materiais de razão C/N baixa, ocorre mineralização líquida e os níveis de NO_3^- no solo aumentam. Quando os materiais têm razão C/N

alta, o azoto é conservado por imobilização biológica e as perdas por desnitrificação (e lixiviação) são reduzidas (Stevenson, 1986).

As perdas por desnitrificação, em condições de campo, podem variar de 0 a 70% do azoto aplicado como fertilizante. No entanto, em solos bem drenados e para fertilizações médias, os valores mais comuns situam-se entre 10 a 30 % (Legg e Meisinger, 1982). As estimativas, em condições de campo, são muito incertas, porque as quantidades de azoto aplicadas como fertilizante são muito reduzidas quando comparadas com a quantidade total de azoto presente nos solos. Rolston e Broadbent (1977), cit. por Legg e Meisinger (1982), estimaram perdas durante uma estação de crescimento em regadio de 13 kg N/ha/ano, o que correspondeu a 9% do azoto aplicado como fertilizante. Hauck (1971), cit. por Boswell *et al.* (1985), refere valores ligeiramente superiores (15% relativamente ao azoto aplicado) estimados pelo método das diferenças [3.2; p.35]. Estudos com ^{15}N têm vindo a ser conduzidos para estudar a desnitrificação e outras transformações do azoto no solo. No entanto, Tisdale *et al.* (1985) consideram que a discriminação pelos microrganismos entre o ^{14}N e o ^{15}N , durante a desnitrificação, pode comprometer a validade dos resultados obtidos sobre a contribuição do azoto do solo e fertilizantes para os níveis de N_2O na atmosfera.

2.4.2 - Volatilização do NH_3

Azoto na forma de NH_3 pode ser perdido durante a estação de crescimento, a partir do solo para a atmosfera, por volatilização (Nelson, 1982; Barber, 1984; Boswell *et al.*, 1985; Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986). É um processo complexo que envolve reacções químicas e biológicas no solo e processos físicos de transporte para fora do solo (Boswell *et al.*, 1985).

Resultados obtidos em condições de campo, indicam que as perdas, por volatilização, podem variar de 3 a mais de 50 % (Stevenson, 1986). Os factores que influenciam a extensão das perdas são a reacção do solo, teores em carbonato de cálcio, capacidade de troca catiónica, textura, temperatura, teor de humidade, quantidade e tipo de fertilizante aplicado, e profundidade de aplicação.

De uma maneira geral, as perdas são reduzidas quando: (i) os fertilizantes são bem incorporados no solo, especialmente se este é de reacção ácida a neutra (Nelson, 1982; Stevenson, 1986); (ii) os solos têm elevada capacidade de troca catiónica, devido ao facto de o NH_4^+ , resultante da protonização do NH_3 , poder ser adsorvido nos minerais de argila e colóides orgânicos (Nelson, 1982; Stevenson, 1986); e (iii) se

uma cultura está instalada, não apenas devido à absorção radicular, mas também porque o NH_3 libertado pode ser reabsorvido pela canópia (Denmead *et al.*, 1976, cit. por Legg e Meisinger, 1982).

De acordo com Nelson (1982) e Stevenson (1986) perdas consideráveis são de rezear se: (i) os fertilizantes, nomeadamente ureia e formas amoniacais, são aplicados à superfície, especialmente em solos alcalinos; (ii) quando resíduos orgânicos são decompostos à superfície; (iii) em solos demasiado secos ou excessivamente húmidos, sobretudo, no segundo caso, se a temperatura é elevada, uma vez que a taxa de difusão aumenta; e (iv) em solos de capacidade de troca catiónica demasiado baixa.

2.4.3 - Quimiodesnitrificação

Parece haver evidências que o azoto também pode ser perdido para a atmosfera por processos químicos não enzimáticos (Nelson, 1982; Tisdale *et al.* 1985; Boswell *et al.* 1985). As perdas parecem estar associadas com a acumulação de NO_2^- , formado durante a nitrificação do NH_4^+ e durante a desnitrificação biológica do NO_3^- . Para definir este conceito, Clark (1962), cit. por Nelson (1982), usou o termo quimiodesnitrificação, que tem ganho considerável aceitação. A presença de NO_2^- providencia mecanismos para poderem ocorrer perdas gasosas devido à sua tendência em reagir com os componentes do solo com formação de gases azotados (N_2 , N_2O , NO , NO_2) (Nelson, 1982).

Na maioria dos solos, a oxidação do NO_2^- a NO_3^- pelas *Nitrobacter* processa-se a maior ritmo que a conversão do NH_4^+ a NO_3^- pelas *Nitrosomonas*. Consequentemente, o NO_2^- aparece nos solos em quantidades muito restritas (Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986; Santos, 1991). Assim, os nitritos não têm tendência a acumular-se no solo, mas quando ocorrem em quantidades apreciáveis podem ter efeitos nefastos nas plantas e microrganismos (Tisdale *et al.*, 1985). A acumulação de nitritos a níveis tóxicos é de rezear em solos de reacção alcalina, quando quantidades elevadas de azoto amoniacal são aplicadas (Tisdale *et al.*, 1985). A acumulação de nitritos é atribuída ao efeito depressivo dos sais amoniacais na *Nitrobacter*, em solos alcalinos. A valores de pH 7,5 a 8, a taxa de produção de nitritos excede a taxa de conversão de nitritos a nitratos, enquanto a pH próximo da neutralidade o potencial de conversão de nitritos a nitratos é superior à conversão de amoníaco a nitritos (Tisdale *et al.*, 1985).

Apesar da acumulação de NO_2^- ser favorecida por valores de pH elevados, a transformação do NO_2^- em formas gasosas diminui com o aumento do pH (Nelson, 1982; Tisdale *et al.*, 1985). Em solos alcalinos, o NO_2^- não se decompõe ou ocorre muito lentamente (Nelson, 1982). A sua decomposição também diminui quando é adicionado carbonato de cálcio mas, por outro lado, aumenta com os níveis de matéria orgânica (Nelson, 1982).

Para além de possíveis efeitos fitotóxicos resultantes da acumulação de NO_2^- , a sua relativa instabilidade pode dar origem a uma série de reacções com a formação de gases azotados. Segundo Nelson (1982), os principais mecanismos envolvidos são: (i) a auto-decomposição do ácido nítrico (HNO_2); (ii) a reacção do HNO_2 com vários constituintes do solo, sobretudo com a matéria orgânica; e (iii) a evolução do óxido hiponitroso durante a nitrificação.

A auto-decomposição do HNO_2 produz óxido nítrico e óxido nitroso que podem ser volatilizados ou transformados no solo em NO_3^- . Broadbent e Clark (1965), cit. por Boswell *et al.* (1985), consideram que as perdas de azoto por auto-decomposição do HNO_2 são pouco significativas, uma vez que pode ser retido no solo na forma de NO_3^- por oxidação. Nelson (1982) é menos optimista e considera que as perdas podem ser significativas, uma vez que a decomposição do HNO_2 , embora exija um ambiente muito ácido na superfície dos minerais de argila, o valor do pH nesta pode ser duas unidades mais baixo que o da solução do solo.

A reacção do HNO_2 com a matéria orgânica pode originar a formação de gases azotados ou ser incorporado em compostos orgânicos resistentes. Bremner e Nelson (1968), cit. por Boswell *et al.* (1985), referem a formação de gases azotados. Noutro trabalho, Nelson e Bremner (1969), cit. por Boswell *et al.* (1985), referem a formação de compostos orgânicos estáveis. Em condições de campo, a extensão destas reacções permanece, no entanto, muita incerta (Boswell *et al.*, 1985)

Pequenas quantidades de N_2O podem ser formadas durante a oxidação biológica do NH_4^+ a NO_2^- pelas nitrosomonas, em condições aeróbicas. Na prática, a quantificação destas perdas é ainda, segundo Boswell *et al.* (1985), uma questão em aberto. Como o NO_2^- tem tendência a acumular-se em ambientes alcalinos, as perdas serão de considerar nestes ambientes e quando da aplicação de fertilizantes com o azoto em formas amoniacais.

Segundo Tisdale *et al.* (1985) há, do ponto de vista prático, ainda muitas dúvidas quanto à importância das perdas de NO_2^- em condições de campo. Se são de facto significativas, é possível que haja conveniência em rever os esquemas de

fertilização de forma a que elevados teores de NH_4^+ não persistam, em solos alcalinos, por períodos de tempo demasiado longos. Boswell *et al.* (1985), referem que os principais problemas podem surgir com a acumulação de NO_2^- junto a grânulos de ureia e próximo dos canais de injeção de amoníaco anidro. Este NO_2^- , ao afastar-se dos locais onde se forma, encontra solo bastante mais ácido, devido à nitrificação, podendo originar-se perdas de azoto. São, no entanto, segundo o mesmo autor, necessários muito mais estudos para compreender a magnitude destas perdas em condições de campo.

2.4.4 - Lixiviação

Todos os fertilizantes azotados são convertíveis em nitratos e estes, sendo muito solúveis e não possuindo qualquer mecanismo químico relevante que os retenha no solo, podem ser arrastados pelas águas de escoamento superficial e percolação, em condições de excessiva precipitação ou regas abundantes (Cooke, 1982).

Segundo Legg e Meisinger (1982), as perdas por escoamento são reduzidas, a menos que se tenham aplicado grandes quantidades superficiais de fertilizantes imediatamente antes da ocorrência de precipitações elevadas. A incorporação dos fertilizantes minimiza a importância das perdas por este processo. Na maioria dos casos, as quantidades de azoto introduzidas pela água da chuva são superiores às perdas de azoto nas águas de escoamento.

Azoto na forma amoniacal pode também ser perdido por lixiviação. As perdas de azoto nesta forma são, sobretudo, de reear em solos arenosos, com baixa capacidade de troca catiónica (Barber, 1984; Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986).

Particularmente, quando se aplica ureia como fonte de azoto existe a possibilidade de ocorrerem perdas importantes deste composto por lixiviação antes da amonificação (conversão da ureia em $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) ocorrer. A molécula de ureia é muito solúvel em água e demora 3 a 4 dias para que ocorra amonificação em extensão apreciável. Se ocorrerem precipitações elevadas neste curto espaço de tempo, a ureia ficará muito sujeita ao arrastamento, sobretudo quando se trata de solos arenosos.

Segundo Legg e Meisinger (1982), para que ocorram perdas substanciais por lixiviação, dois requisitos fundamentais são necessários: (1) os níveis de NO_3^- no solo serem elevados; e (2) a água que entra no solo ser em quantidades suficientes para arrastar o NO_3^- para fora do alcance das raízes. Um número considerável de factores influencia estes dois pré-requisitos, tais como: (i) quantidade, tipo e época de

aplicação dos fertilizantes azotados; (ii) características do solo que afectam a quantidade e tipo de percolação; (iii) desenvolvimento de plantas e absorção de azoto; e (iv) entrada de água, sobretudo a quantidade, a origem e o período em que ocorre.

Durante a estação de crescimento, as perdas são de recesso se a água que entra excede a evapotranspiração. Se a evapotranspiração excede a água que entra, as perdas por lixiviação são negligíveis (Cooke, 1982).

Segundo Allison (1973), cit. por Legg e Meisinger (1982), a lixiviação é um fenómeno sazonal. Os riscos são elevados quando a precipitação é elevada e a evaporação e a absorção radicular são baixas. Em regiões temperadas, a taxa de mineralização no inverno é baixa, mas a lixiviação do azoto residual da cultura antecedente pode ocorrer. Na Primavera, o NO_3^- tende a acumular-se devido ao aumento das taxas nitrificação e à aplicação de fertilizantes. Se ocorrem precipitações elevadas antes das plantas atingirem um desenvolvimento suficiente que lhe permita absorver esse nitrato, quantidades significativas podem sair para fora do alcance das raízes. A lixiviação é reduzida durante o Verão quando a evapotranspiração excede a precipitação e as taxas de absorção da cultura são elevadas.

Stevenson (1986) refere também que, geralmente, a lixiviação é grande em meses frios e húmidos, quando a precipitação excede a evapotranspiração, enquanto que em meses quentes e secos as perdas poderão ocorrer, apenas, em momentos de precipitações elevadas.

Em regiões áridas e semi-áridas, o NO_3^- residual pode permanecer no solo e contribuir, de forma importante, para as disponibilidades em azoto da cultura seguinte (Stanford, 1982).

A lixiviação é um fenómeno que tem recebido grande atenção nos últimos anos em sistemas de agricultura intensiva, devido à poluição de cursos de água e racionalização da energia. McNeal e Pratt (1978), cit. por Legg e Meisinger (1982), referem perdas desde 13 a 102 %, nos regadios da Califórnia, do azoto aplicado como fertilizante, e valores entre 25 a 50 %, como muito comuns, nas mais variadas situações de cultura.

A quantidade de azoto aplicado é, juntamente com a época de aplicação, um dos principais factores mais intimamente relacionada com a extensão das perdas que podem ocorrer por lixiviação (Boswell *et al.*, 1985). Estudos em lisímetros, aplicando 90 e 180 kg N/ha/ano, durante três anos na cultura do milho, Walters e Malzer (1990b) concluíram que, aplicando o dobro de fertilizante (ureia), as perdas de azoto

por lixiviação durante o ensaio foram 3 a 4 vezes superiores, perdendo-se 18 e 30 % do azoto aplicado nas doses 90 e 180 kg N/ha/ano, respectivamente.

2.4.5 - Erosão

Dependendo de factores como a topografia, práticas culturais, taxas de infiltração, etc., quantidades apreciáveis de azoto podem ser perdidas a partir do solo por erosão (Legg e Meisinger, 1982). São perdas que ocorrem sobretudo na forma de azoto orgânico, uma vez que correspondem a perdas das camadas superficiais do solo e nestas dominam as formas orgânicas. Não representam formas de azoto imediatamente absorvíveis, mas sim azoto potencialmente disponível a prazo, após mineralização.

O solo é perdido sobretudo devido à acção do vento (erosão eólica) e da chuva (erosão hídrica). Quer a erosão eólica, quer a erosão hídrica, arrastam material mais fino e mais rico em nutrientes que o material que fica. As perdas por erosão hídrica originam depósitos do material erosionado em cursos de água, lagoas e oceanos com reduzida possibilidade de serem de novo reciclados para os sistemas agrícolas (Legg e Meisinger, 1982).

3 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO

3.1 - INTRODUÇÃO

Do azoto aplicado ao solo como fertilizante, a percentagem que é recuperada por uma dada cultura é definida como Eficiência de Utilização de Azoto (EUN). Hauck (1985) refere que a EUN pode ser apresentada não só em função da percentagem de azoto recuperado pela cultura, mas também em função de aspectos do metabolismo das plantas, da qualidade dos produtos agrícolas e do retorno económico do investimento em fertilizantes.

Meisinger (1984), cit. por Boswell (1985), considera que a EUN deve ser cuidadosamente definida e chama a atenção para dois conceitos diferentes que por vezes se utilizam: (i) um refere-se à eficiência de utilização do nutriente pela parte aérea; e (ii) o outro a todo o sistema solo-planta-raíz. No primeiro caso, o valor da EUN varia, frequentemente, entre 40 a 60 % e no segundo entre 65 e 85 %.

A eficiência de utilização do azoto é, normalmente, baixa devido a transformações que ocorrem no solo e originam perdas de azoto, por volatilização de amoníaco, lixiviação e desnitrificação de nitratos, que não é absorvido pelas plantas (Follett *et al.*, 1981; Cooke, 1982; Boswell *et al.*, 1985). Os processos de aumentar a EUN são minimizar as perdas a partir do sistema solo-planta e promover a oportunidade de absorção radicular. A espécie cultivada, a fonte de azoto, as quantidades aplicadas, as épocas e técnicas de aplicação são alguns dos factores de marcada influência na EUN (Boswell *et al.*, 1985).

3.2 - MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA EUN

Basicamente, a EUN é determinada por dois métodos diferentes. Um dos métodos utiliza o isótopo ^{15}N nos fertilizantes aplicados e o outro, o método convencional ou das diferenças, baseia-se na diferença entre o azoto absorvido pelas plantas fertilizadas e não fertilizadas com azoto (Tyler *et al.*, 1983; Boswell *et al.*, 1985; Stevenson, 1986; Westermann *et al.*, 1988; Wild, 1988; Walters e Malzer, 1990a; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.*, 1994).

O método do isótopo baseia-se no uso de fertilizantes previamente enriquecidos e, menos vezes, empobrecidos em ^{15}N . A percentagem de azoto recuperado, nos tratamentos com fertilizantes enriquecidos, é dada da seguinte forma (Wild, 1988):

$$\frac{(\text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_1 - \text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_0) \cdot N_t}{(\text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_f - \text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_0) \cdot F} \times 100$$

as determinações requeridas são a percentagem de átomos ^{15}N nas plantas fertilizadas ($\text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_1$) e não fertilizadas ($\text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_0$), o azoto total nas plantas (N_t) que receberam uma quantidade F de fertilizante e a percentagem de átomos ^{15}N no fertilizante ($\text{At.}\% \text{ }^{15}\text{N}_f$). Quando se trata de fertilizantes empobrecidos em ^{15}N , a percentagem de azoto recuperado pode ser calculado pela equação (Westermann *et al.*, 1988):

$$\frac{N_t (a-b)}{N_f (a-c)} \times 100$$

onde N_t representa o azoto total das plantas fertilizadas, N_f a quantidade de fertilizante empobrecido em ^{15}N aplicado, a e b são a percentagem de átomos ^{15}N nas plantas não fertilizadas e fertilizadas e c é a percentagem de átomos ^{15}N no fertilizante aplicado.

Pelo método convencional ou das diferenças determina-se, segundo Wild (1988), a fracção de azoto *aparentemente recuperado* da seguinte forma:

$$\frac{N_x - N_0}{F_x} \times 100$$

em que, N_x e N_0 representam o azoto total nas plantas que, respectivamente, receberam e não receberam fertilizante, e F_x a quantidade de fertilizante aplicado. O conceito *aparentemente recuperado* é utilizado uma vez que, nos cálculos, se assume que as transformações do azoto que ocorrem no solo durante os ensaios são as mesmas nas modalidades fertilizadas e não fertilizadas, sendo idêntica a contribuição do azoto do solo para o crescimento da cultura (Wild, 1988).

Tyler *et al.* (1983) determinaram, na cultura da batata, a EUN pelos métodos referidos e ainda com base na matéria seca produzida por unidade de fertilizante aplicado. Na mesma cultura, Borin e Magrini (1989) estudam a EUN com base em dois índices. Um deles é análogo ao método das diferenças (Efc) e o outro é a

eficiência da dose técnica óptima (Ef1) com base apenas no azoto exportado pela cultura em função do azoto aplicado como fertilizante,

$$Efc = \frac{Dc - Dct}{Dn}; \quad Ef1 = \frac{Dc}{Dn}$$

onde: Dc = N absorvido pelas modalidades fertilizadas; Dct = N absorvido pela testemunha (não fertilizada); e, Dn = N distribuído como fertilizante.

Cassman *et al.* (1993) determinaram, na cultura do arroz, outros parâmetros a que chamaram EUN agronómico (aumento da produção de grão por unidade de azoto aplicado) e EUN fisiológico (aumento da produção de grão por unidade de azoto absorvido pela planta). Dalla Costa e Giovanardi (1994), em ensaios com girassol e milho, e Mambelli e Grandi (1994), com beterraba sacarina, seguem a mesma metodologia na apresentação dos resultados obtidos. Fotyma *et al.* (1994), trabalhando pelo método das diferenças, em cereais primavera-verão, designam por eficiência externa o incremento na produção de grão por quilograma de azoto aplicado como fertilizante, e por eficiência interna o aumento da produção de grão por quilograma de azoto absorvido pela cultura. Em cereais de inverno, Aufhammer e Ehmele (1994) calcularam, como índice de eficiência, a fracção de azoto absorvido que é translocado para o grão.

3.3 - INTERACÇÃO DO AZOTO ADICIONADO COMO FERTILIZANTE NAS ESTIMATIVAS DA EUN

À medida que se aumenta a aplicação de azoto como fertilizante, parece aumentar, também, o contributo do solo para a nutrição azotada da planta. A descoberta deste fenómeno só foi possível pela introdução do isótopo ^{15}N em estudos de mineralização e de eficiências de utilização de azoto e tem vindo a ser designado de *Interacção do N adicionado* (INA) (Jenkinson *et al.*, 1985; Rao *et al.*, 1991). Jenkinson *et al.* (1985) definem INA como as interacções que ocorrem quando são adicionados fertilizantes azotados ao solo e as modificações no conteúdo das diferentes formas de azoto do solo.

O aumento da absorção de azoto que, normalmente, se verifica nas modalidades fertilizadas deve-se sobretudo: (i) ao estímulo da actividade microbiana com aumento da mineralização do azoto do solo e utilização pelas plantas (Westerman e Kurtz, 1973;

Jenkinson *et al.*, 1985; Wild, 1988; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.* 1994); (ii) à nitrificação do NH_4^+ e fertilizantes amídicos, que origina hidrólises ácidas das substâncias húmicas (Rao *et al.*, 1991); (iii) ao incremento do crescimento das raízes nas modalidades fertilizadas (Olson e Swallow, 1984; Jenkinson *et al.*, 1985; Wild, 1988; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.*, 1994).

O valor de INA calcula-se subtraindo ao azoto proveniente do solo, nas modalidades fertilizadas, o azoto, com a mesma origem, nas modalidades testemunha, que é recuperado pela cultura (Rao *et al.*, 1991). Embora pouco frequente, o valor de INA pode ser negativo se as modalidades fertilizadas absorvem menos azoto nativo do solo que a testemunha (Westerman e Kurtz, 1973; Jenkinson *et al.*, 1985; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.*, 1994).

O efeito INA é considerado aparente quando se verifica apenas troca de azoto entre as suas diversas formas no solo. Considera-se real se, de facto, a disponibilidade de azoto para a planta aumenta devido ao aumento do sistema radicular ou da mineralização líquida (Jenkinson *et al.*, 1985; Schnier *et al.*, 1994).

Segundo diversos autores (Jansson e Persson, 1982; Jenkinson *et al.*, 1985; Stevenson, 1986; Wild, 1988; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.*, 1994), o método das diferenças sobrestima o valor de EUN, uma vez que a INA pode originar um incremento na disponibilidade de azoto a partir da matéria orgânica do solo nas modalidades fertilizadas. Pelo método do isótopo, a interpretação dos resultados obtidos torna-se mais ambígua, uma vez que o azoto pode seguir várias vias no solo como a nitrificação, imobilização biológica, fixação pelos minerais de argila, volatilização, desnitrificação e lixiviação (Trehan e Wild, 1993). A substituição do ^{15}N pelo ^{14}N que pode ocorrer nos solos deixa menos ^{15}N disponível para as plantas e, assim, as determinações por este método podem subestimar o valor de EUN, sendo a principal limitação do método dar estimativas baixas do contributo do azoto para a poluição do meio ambiente, quando utilizado em estudos de lixiviação e desnitrificação (Stevenson, 1986).

O efeito INA é responsável pelas discrepâncias nos resultados da EUN estimados pelos dois métodos referidos. Dos factores que contribuem para o efeito INA, os mais importantes, segundo Rao *et al.* (1991), são, provavelmente, o carbono orgânico, a razão C/N e a biomassa microbiana. Estudos conduzidos por Rao *et al.* (1991), na cultura do trigo em solos com diferentes teores de carbono orgânico e aplicações de azoto, originaram estimativas de EUN pelo método do isótopo, em média, 20% mais baixas que pelo método convencional. O efeito INA não se mostrou

correlacionado, isoladamente, com os níveis de carbono orgânico, mas sim com os níveis de azoto, carbono orgânico, razão C/N do solo e azoto perdido que, em conjunto, explicaram 73 % da variação encontrada. Os autores referem, apesar das diferenças, a existência de fortes correlações entre os valores obtidos pelos dois métodos. Schnier *et al.* (1994), ao comparar diferentes tipos de sementeira e técnicas de aplicação de fertilizantes na cultura do arroz, obteve, igualmente, EUN superiores quando determinadas pelo método das diferenças relativamente ao método do isótopo, mas os valores obtidos pelos dois métodos estavam, também, fortemente correlacionados ($r^2 = 0,93$). Estudos de lixiviação em lisímetros, com a cultura do milho, conduzidos por Walters e Malzer (1990b), utilizando inibidores da nitrificação, originaram perdas três vezes superiores quando determinadas pelo método das diferenças relativamente ao método do isótopo. Estes resultados foram atribuídos à diluição do isótopo com o azoto nativo do solo, devido à actividade microbiana, via mineralização/imobilização.

3.4 - INFLUÊNCIA DA ESPÉCIE CULTIVADA NA EUN

Culturas diferentes respondem de forma diferente à fertilização azotada. Certas culturas, como as gramíneas forrageiras, são referidas como tendo eficiências de utilização elevadas, enquanto outras, como a batateira e a beterraba sacarina, têm, normalmente, baixas eficiências de utilização (Boswell *et al.*, 1985).

De acordo com Boswell *et al.* (1985), as maiores dificuldades em comparar EUN entre espécies reside na fracção da biomassa que constitui a parte economicamente útil, o que define o índice de colheita, e no azoto do sistema radicular que, por dificuldades práticas, raramente é quantificado. Em plantas com índice de colheita mais elevado é de esperar maiores valores de EUN, e o contributo do sistema radicular na EUN é tanto mais importante quanto mais azoto seja necessário para obter a produção desejada.

Grignani e Acutis (1994), em ensaios conduzidos em Itália no Vale do Pó, com várias doses de fertilizantes orgânicos (chorume e estrume), verificaram que os valores de EUN aumentam pela seguinte ordem: milho silagem < milho grão < panasco < azevém italiano X milho, mas os valores máximos obtidos foram muito modestos, nunca ultrapassando os 40%. No Sul da Alemanha, Aufhammer e Ehmele (1994), trabalhando com cereais de inverno (trigo, centeio e triticale) e diferentes cultivares, concluíram que as variedades mais produtivas tiveram EUN superiores e verificaram

haver interação entre o ano de ensaio, localidade e variedades ensaiadas. Em ensaios conduzidos na Polónia, em cereais de inverno e primavera, Fotyma *et al.* (1994) encontraram valores de EUN de 66% com a dose técnica óptima, para ambos os cereais. Verificaram, também, que o factor mais estável, em todas as modalidades ensaiadas, foi a eficiência interna, e que os cereais de inverno utilizaram de forma mais eficiente as doses elevadas de azoto, quando comparados com os de primavera.

Quando se trata de culturas em solos alagados (ex. arroz), a percentagem de perdas tende a ser maior (Hauck, 1985). Cassman *et al.* (1993), referem que, em ensaios de campo, as culturas normalmente recuperam 40 a 60 % do azoto aplicado enquanto o arroz, por alagamento, não recupera mais de 20 a 40 % e que este é dos principais obstáculos a que se obtenham boas produções.

3.5 - INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE AZOTO APLICADO NA EUN

A eficiência com que as plantas utilizam os fertilizantes que são aplicados, geralmente diminui à medida que as quantidades utilizadas aumentam (Olson e Kurtz, 1982). Também Boswell *et al.* (1985) referem que, quando se aplicam quantidades excessivas de azoto, são originados impactes ambientais negativos resultantes de uma ineficiente utilização do azoto.

Tyler *et al.* (1983) verificaram que aplicações azotadas de 67, 134, 202 e 270 kg N/ha na cultura da batata (cv. White Rose) aumentaram a produção relativamente à testemunha, embora as três modalidades de maiores aplicações azotadas não originassem resultados estatisticamente diferentes. A EUN determinada pelo método do isótopo ^{15}N e das diferenças originou resultados similares na maioria das épocas de amostragem. Para aplicações superiores à dose técnica óptima (134 kg N/ha), a EUN foi de 57% e 39% para aplicações de 202 e 270 kg/ha, respectivamente. Quando a EUN foi determinada a partir da matéria seca produzida em relação à quantidade de azoto aplicado, a modalidade 67 kg/ha teve a eficiência mais elevada. Em estudos durante três anos na cultura do milho, Walters e Malzer (1990a) registaram EUN significativamente diferentes nos dois primeiros anos de ensaio quando aplicaram 90 e 180 kg N/ha na forma de ureia. A EUN foi de 90 e 55 % no primeiro ano e 67 e 48 % no segundo, respectivamente. No mesmo estudo, verificaram que doses duplas de fertilizante azotado resultaram em perdas de azoto por lixiviação 3,4 vezes mais elevadas. O total das perdas durante os três anos representou 18 e 30 % do azoto aplicado como fertilizante para 90 e 180 kg N/ha/ano de azoto, respectivamente.

Reddy e Reddy (1993), em ensaios de fertilização azotada na cultura do milho, obtiveram EUN de 43 e 57 % para 200 e 100 kg N/ha, respectivamente. Mambelli e Grandi (1994) concluíram, após estudos em beterraba, que disponibilidades limitadas de azoto resultam em altas eficiências de utilização. Reluy *et al* (1994), em ensaios de campo com cevada no Norte de Espanha, encontraram as eficiências mais elevadas para valores inferiores a 60 kg N/ha e concluíram que, nas condições locais, a cultura nada beneficiou com doses superiores a 50 a 60 kg/ha. Dalla Costa e Giovanardi (1994), comparando a EUN pelo milho e girassol concluem que: (i) o milho recupera mais azoto que o girassol; (ii) a recuperação aparente feita pelo milho não decresce tão bruscamente como a recuperação feita pelo girassol à medida que as doses de aplicação aumentam; (iii) o girassol tem EUN razoáveis até aplicações de 120 kg N/ha, em condições de boa irrigação, mas os seus valores diminuem bruscamente se ocorre stress hídrico, sobretudo nas partes finais do ciclo.

3.6 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS

A principal dificuldade em estimar as quantidades de azoto a aplicar a uma cultura é a determinação do azoto mineral fornecido a partir da matéria orgânica do solo (MacKerron *et al.*, 1993). Segundo McTaggart e Smith (1993) e Smith e Li (1993), a previsão do azoto mineral posto à disposição das plantas a partir da mineralização da matéria orgânica revela-se de grande importância em agricultura, resultando daí benefícios em termos económicos, ambientais e na qualidade dos produtos agrícolas.

Segundo MacKerron *et al.* (1993), pelo facto da produção comercial de batata não ser negativamente afectada a partir de um determinado nível óptimo de aplicação de azoto, os agricultores têm tendência a exagerar as quantidades aplicadas e a ignorar o contributo dos estrumes, quando são usados, na nutrição azotada da planta. Por outro lado, como os nutrientes contidos em formas orgânicas não são libertados de forma controlada pelo homem, o resultado é uma ineficiente utilização pela planta em crescimento e poderem ocorrer, potencialmente, perdas para o meio ambiente, especialmente na forma de nitratos para os cursos de água por lixiviação. Estudos de longa duração na estação experimental de *Rothamsted*, em Inglaterra, mostraram que a fonte da maior parte do azoto lixiviado provinha da matéria orgânica do solo e dos

resíduos das culturas e não tanto dos fertilizantes minerais (International Fertilizer Industry Association, 1992a).

De uma maneira geral, a aplicação de adubos minerais origina eficiências de utilização de azoto superiores aos fertilizantes orgânicos (International Fertilizer Industry Association, 1992a). Finck (1982) refere eficiências de utilização para estrumes de curral, no ano de aplicação, da ordem dos 20 a 30 %. Grignani e Acutis (1994), em ensaios de campo com várias culturas conduzidos em Itália no Vale do Pó, com aplicações orgânicas (chorume e estrume) escalonadas até 366 kg N/ha, encontraram eficiências muito baixas variando entre 6 e 40 %. Borin e Magrini (1989), trabalhando com batata de indústria, obtiveram a máxima expressão produtiva com 202 kg N/ha, provenientes de uma fertilização mista (mineral e orgânica). As fertilizações mistas, para as mesmas doses de azoto, originaram, igualmente, maior EUN.

Os resíduos da cultura anterior são cada vez mais encarados e geridos como fertilizante. Larson *et al.* (1978) referem que o azoto contido nos resíduos das culturas nos Estados Unidos é equivalente a 40 % do azoto aplicado como fertilizante. Estes resíduos ficam geralmente bem distribuídos e constituem uma fonte de azoto que se torna gradualmente disponível ao longo do ciclo das culturas seguintes (Legg e Meisinger, 1982). Ladd *et al.* (1981, 1983 e 1985), cit. por Vigil *et al.* (1991), em estudos com *Medicago littoralis*, referem que 17 % do azoto contido no resíduo aplicado foi recuperado pelo trigo cultivado subsequentemente. Norman *et al.* (1990), trabalhando com a cultura do arroz, referem que, quando foram incorporados resíduos de arroz, soja e trigo, a mineralização dos resíduos, até à colheita, foi de 9, 52 e 38 %, e o azoto recuperado pela cultura de 3, 11 e 37 %, respectivamente. Vigil *et al.* (1991), em estudos com resíduos de sorgo, concluem que a percentagem de azoto mineralizado que é recuperado pela cultura subsequente diminui à medida que a razão C/N dos resíduos aumenta.

3.7 - INFLUÊNCIA DOS ADUBOS DE LIBERTAÇÃO GRADUAL DE AZOTO NA EUN

Uma das formas de aumentar a eficiência de utilização do azoto é controlar a dissolução dos fertilizantes azotados, desenvolvendo produtos de baixa solubilidade ou que se decomponham de forma gradual. Outra forma de actuar é combinar os

fertilizantes com produtos químicos inibidores da nitrificação ou da hidrólise da ureia (Hauck 1985). Estes produtos tem sido recentemente objecto de intensos estudos e são recomendados por promoverem a EUN e reduzirem as perdas por lixiviação, diminuindo a contaminação das águas quer superficiais quer subterrâneas.

Aos fertilizantes que cedem os nutrientes de forma gradual, ao longo do ciclo da cultura procurando aproximar-se da *solução ideal*, foi dado a designação genérica de adubos de libertação lenta, de acção controlada ou de libertação gradual de nutrientes. De acordo com as principais directrizes de investigação, Vasconcelos (1992) classifica estes adubos em: (i) produtos de baixa solubilidade; (ii) produtos solúveis ou relativamente solúveis em água que se decompõem gradualmente; (iii) produtos revestidos; e (iv) produtos que apresentam controlo sobre a população microbiana.

Pavlíková *et al.* (1994), utilizando ureia (46% N) e ureia-aldeído (26,3% N) em ensaios de fertilização na papoila do ópio (*Papaver somniferum* L.), verificaram que a ureia-aldeído originou maior absorção de azoto e produção. Os valores máximos de azoto mineral nas camadas superficiais do solo nos tratamentos com ureia-aldeído coincidiu com as fases de maior desenvolvimento da cultura, enquanto que nos tratamentos com ureia ocorreu nos primeiros estágios, quando a taxa de absorção era ainda reduzida.

Walters e Malzer (1990a), em ensaios na cultura do milho no *Minnesota*, utilizando a nitropiridina como inibidor da nitrificação em estudos de EUN, verificaram haver interacção entre o clima, quantidade de azoto aplicado (90 e 180 kg/ha, na forma de ureia), localização (à superfície ou incorporado) do fertilizante e inibidor da nitrificação. Concluem ainda que, numa estação de crescimento favorável e elevado potencial para lixiviação, os aumentos de produção pela aplicação do inibidor da nitrificação verificam-se, sobretudo, na dose mais baixa de azoto e que a utilização do inibidor resulta em ganhos de produção e EUN, apenas, se a quantidade de azoto aplicado for inferior às quantidades normalmente recomendadas para a região (200 kg/ha).

3.8 - INFLUÊNCIA DAS TÉCNICAS DE APLICAÇÃO NA EUN

Segundo Amberger (1993), o objetivo das técnicas de aplicação de fertilizantes não pode ser apenas alimentar convenientemente as plantas para a obtenção de retornos económicos favoráveis, mas também evitar a poluição ambiental.

3.8.1 - Fraccionamento da aplicação de fertilizantes

Em recomendações de fertilização para a cultura da batata de consumo temporã na região de Lisboa, Santos (1991) destina apenas um quinto das necessidades em azoto para cobertura justificando esta prática, apenas, por se tratar de uma época do ano em que ainda são frequentes precipitações. No entanto, em certos sistemas de cultura é prática comum aplicar parte do azoto durante a estação de crescimento. Westermann *et al.* (1988) referem que baixas aplicações anteriores à plantação, suplementadas com aplicações durante o crescimento dos tubérculos aumentam a EUN e promovem o crescimento inicial dos tubérculos. Na cultivar Russet Burbank, em estudos conduzidos por Westermann *et al.* (1988), aplicações de azoto em fundo originaram EUN de 60% e com aplicações durante o crescimento dos tubérculos a EUN aumentou, em média, para 70%. Saffigna e Keeney (1969), cit. por Westermann *et al.* (1988), referem aumentos de 35% na EUN em solos argilo-arenosos com aplicações frequentes de azoto quando comparado com fertilizações convencionais. Lauer (1985), num solo arenoso, conseguiu EUN de 90 e 78 % com aplicações diárias de azoto adequadas e insuficientes, respectivamente.

Thomas (1980), cit. por Boswell *et al.* (1985), em estudos de mais de 10 anos com a cultura do milho, refere que, aplicando metade do azoto quatro a seis semanas após plantação se promove a eficiência de utilização, sobretudo em solos mal drenados e em sistemas de não mobilização. Na mesma cultura, Jung *et al.* (1972) referem que as aplicações mais eficientes foram efectuadas entre a quinta e oitava semana. Em aplicações após a oitava semana verificaram uma redução nítida na produção e absorção de azoto.

Embora em sistemas de regadio o potencial para lixiviação de nitratos possa ser elevado, nomeadamente em solos ligeiros, certos tipos de rega, permitindo aplicações fraccionadas, promovem a eficiência de utilização de azoto (Boswell *et al.*, 1985)

Quando se aplica azoto em fertirrigação, a sua eficiência de utilização pode aumentar e, conseqüentemente, menores quantidades serão necessárias para obter a mesma produção. Girardin *et al.* (1993), comparando a aplicação de duas doses de azoto (170 e 220 kg/ha) distribuídas pelo processo convencional (0 a 60 kg/ha em fundo e o restante na fase 6 a 8 folhas) e em fertirrigação (5 aplicações de 20 a 50 kg/ha), obtiveram maiores valores de azoto residual no final do ciclo em fertirrigação, justificando que o azoto das últimas aplicações não terá sido imobilizado. Por outro lado, atribuem grandes riscos ao processo convencional, uma vez que grande parte do

azoto é aplicado na fase 6 a 8 folhas, e as perdas por lixiviação podem ser consideráveis, se nesse período ocorrerem precipitações elevadas. Como não aplicaram doses de azoto abaixo de 170 kg/ha, nada puderam concluir sobre as vantagens das baixas aplicações azotadas em fertirrigação.

Os agricultores que disponham de sistemas de rega que lhe permitam fazer fertirrigação são confrontados com duas opções: aplicar o azoto pelo processo convencional e os riscos de lixiviação aumentarem; ou fazer fertirrigação e o azoto residual no final do ciclo poder ser elevado, sobretudo se sobrestimarem as quantidades a aplicar nas fases finais dos ciclos culturais.

3.8.2 - Localização de fertilizantes

As aplicações de fertilizantes azotados na linha podem aumentar a EUN quando comparadas com aplicações a lanço (Boswell *et al.*, 1985; Hofman *et al.*, 1993; Manbelli e Grandi, 1994). Segundo Boswell *et al.* (1985), a aplicação do azoto em linhas poderá justificar-se quando o solo, por si, fornece baixas quantidades, está sujeito a perdas por lixiviação ou desnitrificação, e o seu preço é elevado relativamente aos encargos da exploração. Não tem justificação quando se pretendem aplicar quantidades elevadas de azoto, devido ao aumento problemático da concentração de sais ou dos níveis de NH_3 com consequências adversas ao desenvolvimento das plantas e germinação de sementes.

Em batateira, estudos conduzidos por Hofman *et al.* (1993), com aplicações a lanço e em linhas, originaram resultados semelhantes. No entanto, os mesmos autores acrescentam que, em condicionalismos nos quais se apliquem quantidades de azoto reduzidas e em condições de stress hídrico, onde os movimentos por fluxo de massa sejam limitados, a aplicação dos fertilizantes azotados na linha pode aumentar a EUN. Mambelli e Grandi (1994), comparando aplicações em linha e a lanço em beterraba sacarina, obtiveram valores de EUN superiores nas aplicações em linhas, mas não encontraram boas correlações entre este índice e a eficiência fisiológica (biomassa de sacarose por unidade de azoto absorvido).

3.8.3 - Incorporação de fertilizantes

Em determinadas condições, nomeadamente com aplicações superficiais de ureia e de amoníaco anidro, as perdas de azoto por volatilização podem atingir os 50 %.

Perdas compreendidas entre os 5 e 20 %, dependendo de vários factores, são, no entanto, muito comuns (Boswell *et al.*, 1985).

A incorporação dos fertilizantes amoniacais permite poupar azoto que, de outra forma, será perdido por volatilização, nomeadamente em condições de alcalinidade (Kissel *et al.*, 1985). Overrein e Moe (1967) verificaram uma diminuição considerável na volatilização de NH_3 quando a ureia era incorporada a 2,5 cm no solo. As perdas nesta forma eram rapidamente reduzidas quando os fertilizantes foram incorporados em profundidade e aumentava a humidade do solo. Amberger (1993) refere que as perdas por volatilização podem ser minimizadas recorrendo à incorporação imediata, após aplicação ao solo, dos fertilizantes na forma mineral ou orgânica. No caso da ureia, perdas superiores a 20 a 30 % resultantes de aplicações localizadas podem ser minimizadas recorrendo à incorporação logo a seguir à aplicação (Amberger, 1993). Devido à elevada solubilidade em água da ureia, a incorporação deste fertilizante pode consistir na sua aplicação através da fertirrigação ou, simplesmente, numa rega com dotação controlada após a sua distribuição.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - LOCALIZAÇÃO DO ENSAIO

O ensaio de campo foi instalado na folha número três da rotação designada *quadriannual de sequeiro*, na Quinta de Santa Apolónia, em Bragança (Alt. 670 m; Lat. 41° 49' N; Log. 6° 46' W). É uma folha de forma rectangular, abrangendo uma área de cerca de 2500 m² (80 x 32 m). A topografia da parcela apresenta um relevo em forma de pequeno vale com um ligeiro declive no sentido Sul-Norte, segundo o menor comprimento da parcela (fig.1).

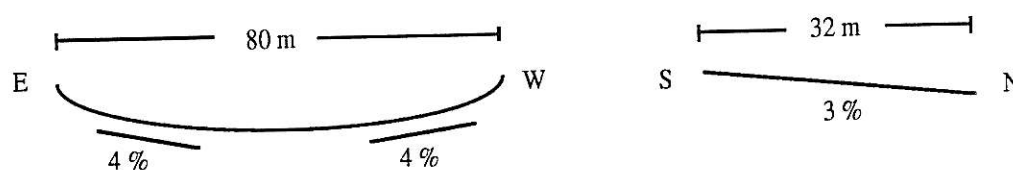


Fig. 1 - Representação esquemática da topografia da parcela

Toda a área foi plantada com a cultura da batata, embora os talhões, resultantes do delineamento experimental, ocupassem apenas 1200 m² (40 m² por talhão). Nos restantes 1300 m² da folha, o batatal recebeu tratamento análogo à parte em ensaio, com excepção da fertilização azotada, que foi o factor em estudo. A quantidade de azoto aplicado foi de 150 kg/ha, enquanto no ensaio variou em função do delineamento experimental, como será referido em 4.3.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO EDAFO-CLIMÁTICA

4.2.1 - Clima

Segundo a classificação de Thornthwaite, em que a evapotranspiração potencial foi avaliada pelo método de Penman, Mendes e Bettencourt (1980), com base na normal climatológica para o período 1931-1960, classificam o clima da região como sendo do tipo C₂B'2 S₂B'3: sub-húmido chuvoso, mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão e concentração da eficiência térmica na estação quente moderada.

Os valores médios mensais da precipitação acumulada e temperatura do ar, referentes aos últimos dez anos, e os valores registados no ano em que decorreu o ensaio foram obtidos na estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia, a 300 m do local do ensaio, e são apresentados na figura 2. Não foram utilizados, como comparação, os dados da normal climatológica para o período 1931-1960, uma vez que a estação meteorológica onde estes elementos são registados se encontra a altitude e exposição bastante diferente do local do ensaio. Embora a estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia só registe valores desde 1984, preferimos, pelas razões apresentadas, utilizar estes registos como valores médios do local, em desfavor da normal climatológica 1931-1960.

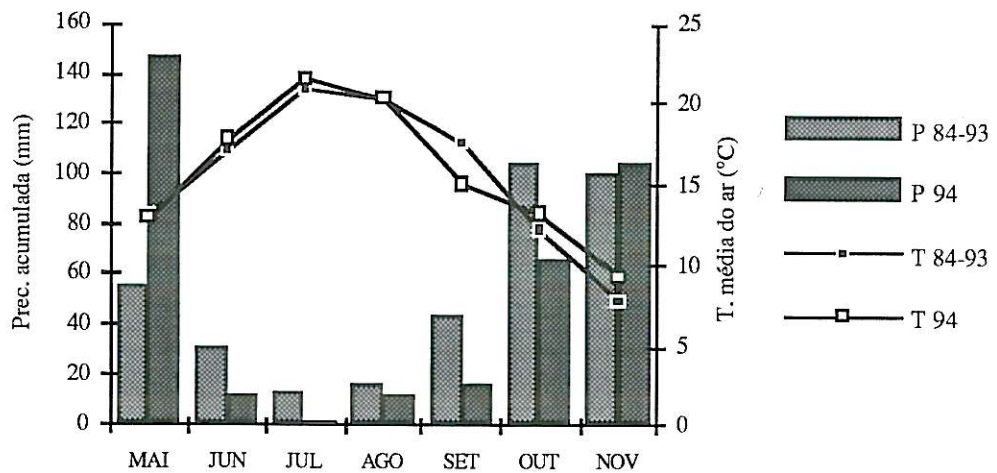


Fig. 2 - Valores médios da precipitação acumulada e temperatura do ar registados na estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia, no período 1984-1993 e no ano do ensaio (1994)

Da comparação dos valores médios da precipitação acumulada registados em 1994 com os valores registados nos últimos dez anos, podemos verificar que, no ano de ensaio, os valores de precipitação foram mais baixos desde Junho a Outubro. Em Novembro, os valores são muito idênticos, e em Maio os valores da precipitação foram muito superiores aos valores médios dos últimos dez anos. A precipitação ocorrida no mês de Maio (146,5 mm) teve como primeira consequência um atraso considerável na data de plantação, relativamente ao que inicialmente tínhamos previsto.

Quanto à temperatura média do ar, apenas no mês de Setembro se verificaram diferenças apreciáveis. Em 1994, o mês de Setembro foi bastante mais fresco que a média dos últimos dez anos, sendo a diferença de 2,5 °C (17,5 para 15,0 °C).

Apresentam-se no anexo 1, organizados por quinzenas, mais alguns elementos do clima registados durante o período em que decorreu o ensaio.

4.2.2 - Solos

A folha onde decorreu o ensaio encontra-se localizada num solo **hidromórfico, sem horizonte eluvial para-aluivissolo**. De acordo com a classificação da FAO, inclui-se nos **fluvissoles éutricos gleicos** (Réfega e Martins, 1984).

É um solo de textura franca, com permeabilidade inicial e constante lenta a muito lenta, de reacção neutra, com baixo teor em matéria orgânica, grau de saturação em bases elevado, e teores de fósforo e potássio assimiláveis médios e altos, respectivamente.

Os resultados de análises de terras efectuadas nas amostras preliminares encontram-se, mais adiante, em 4.11.1. O esquema e descrição do perfil, bem como diversos elementos das análises físico-químicas, são apresentados no anexo 2.2, e baseiam-se nos trabalhos de Réfega e Martins (1984).

4.3 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio foi instalado segundo um delineamento em blocos casualizados, com três repetições. A organização em blocos casualizados é justificada pela forma côncava da parcela, que apresenta uma ligeira depressão ao centro (fig. 1). Os blocos foram dispostos no sentido E-W.

O factor em estudo foi a fertilização azotada. Os níveis de aplicação de factor definidos deram origem a dez tratamentos diferentes, entre fertilizantes orgânicos e minerais.

Como fertilizante mineral utilizou-se a ureia, uma vez que fornece apenas azoto como nutriente vegetal. Desta forma, pretendeu-se reduzir a introdução de variabilidade experimental nos ensaios que decorreria da aplicação de quantidades variáveis de outros nutrientes. A ureia é um adubo amídico que, embora apresente o azoto numa forma orgânica, esta é obtida industrialmente através de reacções de síntese. Os níveis de factor utilizados, foram: (i) cinquenta unidades de azoto (N50); (ii) cem unidades de

azoto (N100); (iii) cento e cinquenta unidades de azoto (N150); (iv) duzentas unidades de azoto (N200); e, (v) duzentas e cinquenta unidades de azoto (N250).

Os fertilizantes orgânicos utilizados são produtos largamente difundidos no mercado: (i) estrume de bovino curtido (BO); (ii) beiradubo (BA); (iii) agri (AG); e (iv) fertor (FE). As quantidades aplicadas variaram de acordo com o seu conteúdo em azoto, de forma a serem incorporadas cem unidades de nutriente.

Na modalidade testemunha (N0), não foi aplicado qualquer fertilizante contendo azoto.

O delineamento referido originou trinta unidades experimentais, resultantes de dez tratamentos e três repetições, com uma área unitária de 40 m², o que fez uma área de ensaio de 1200 m².

4.4 - PRECEDENTE CULTURAL

A folha onde decorreu o ensaio está inserida numa rotação quadrianual, entrando a batata após três anos consecutivos de milho-silagem. Ambas as culturas são feitas em regadio, ao contrário do que a designação que lhe é atribuída - quadrianual de sequeiro - deixa supor. Como culturas intercalares, o centeio precede o milho-silagem e uma consociação aveia x ervilhaca a batata.

Devido ao factor em estudo ser o azoto aplicado como fertilizante, optámos por alterar o precedente cultural da folha de ensaio, substituindo a consociação, prevista na rotação, pelo centeio. A par da eliminação da leguminosa, decidimos não aplicar qualquer fertilizante azotado ao centeio, cultivado no seu lugar. Desta forma, pretendeu-se diminuir o contributo do azoto proveniente do solo na nutrição azotada da cultura, ao longo do ciclo vegetativo.

4.5 - PREPARAÇÃO DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DOS FERTILIZANTES

Após o corte e recolha do ferrejo de centeio, iniciou-se a preparação do solo com uma escarificação, no sentido de reduzir o tamanho dos torrões que poderiam resultar das mobilizações subsequentes. Seguiu-se uma lavoura, com uma charrua de aivecas, à profundidade de 30 a 35 cm. Os trabalhos complementares de preparação do solo foram conseguidos com duas escarificações (escarificador com grade lisa associada) em sentidos diferentes, à profundidade de 15 a 20 cm.

Todos os fertilizantes foram aplicados manualmente, a lanço, e incorporados com os trabalhos complementares de preparação do solo.

A ureia e os fertilizantes orgânicos foram distribuídos em talhões aleatórios, de acordo com o delineamento experimental definido.

O fósforo e o potássio foram aplicados de acordo com as quantidades recomendadas para a cultura, com base na análise de terras (anexo 2.1). Os adubos utilizados foram, respectivamente, superfosfato 18 % (50 kg P₂O₅/ha) e cloreto de potássio (150 kg K₂O/ha).

O estrume de bovino foi preparado propositadamente para o ensaio. A *compostagem* do estrume teve início em Novembro. Foi colocado numa pilha ao ar livre e, até à data de aplicação, era remexido com a pá frontal de um tractor uma vez por mês. Os restantes fertilizantes orgânicos foram adquiridos em casas comerciais.

O beiradubo é um produto composto por resíduos de aviário e material lenhoso. O agri é um produto resultante da mistura de resíduos pecuários (não avícolas) compostados com vermicomposto. O fertor é um produto resultante da compostagem de resíduos sólidos urbanos.

Os resultados das análises laboratoriais aos materiais referidos apresentam-se no quadro 1.

Quadro 1 - Características dos fertilizantes orgânicos utilizados no ensaio

| Material | M.org.(%) (incineração) | N (%) | Ca (%) | Mg (%) | K (%) | P (%) | Fe (mg/kg) | Cu (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Mn (mg/kg) |
|-----------|----------------------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Fertor | 51,4 | 1,07 | 2,85 | 0,25 | 0,65 | 0,388 | 9200 | 905 | 880 | 204 |
| Agri | 53,1 | 1,48 | 3,65 | 0,70 | 0,75 | 0,754 | 16000 | 296 | 280 | 600 |
| Beiradubo | 60,8 | 1,52 | 2,10 | 0,45 | 2,00 | 0,980 | 4640 | 170 | 240 | 460 |
| Estrume | 58,0 | 1,42 | 1,55 | 1,20 | 1,50 | 0,350 | 19000 | 143 | 120 | 600 |

Determinaram-se, também, os teores em azoto e fósforo no restolho de centeio incorporado, tendo sido obtidos os valores de 0,42 e 0,256 % na matéria seca para o azoto e o fósforo, respectivamente

Estimou-se a razão carbono/azoto dos fertilizantes orgânicos, assumindo que o teor de carbono na matéria orgânica é de 58%, aproximadamente. Os resultados obtidos foram 27,9, 23,2, 23,7 e 20,8 para fertor, beiradubo, estrume e agri, respectivamente.

4.6 - MATERIAL VEGETAL

Utilizou-se batata semente da cultivar "Stemester", obtida na Escócia a partir de "Desirée" * "Maris Piper".

É uma cultivar de ciclo precoce, susceptível ao vírus do enrolamento, podridão seca e *Globodera pallida*. É resistente, ou moderadamente resistente, às restantes pragas e doenças da cultura.

Os tubérculos são grandes, oval-alongados, de pele vermelha e polpa amarelo-clara. Foram colocados a abrolhar no início de Março, em condições de baixa luminosidade e temperatura ambiente. No quadro 2 apresentam-se as características de abrolhamento na data de plantação, obtidas a partir de uma amostra casualizada de trinta tubérculos.

Quadro 2 - Características da batata semente na data de plantação

| | | | |
|------------|-----------------------------|-------|-------|
| Tubérculos | Peso fresco (g) | 19,45 | (5,5) |
| | Nº de brotos/tubérculo | 3,6 | (1,2) |
| Brotos | Comprimento do > broto (cm) | 1,6 | (0,4) |
| | Nº brotos > 3 mm/tubérculo | 3,0 | (1,0) |

Entre parêntesis o desvio padrão da média

4.7 - PLANTAÇÃO

A batata foi plantada a 13 de Junho de 1994. Utilizou-se um plantador de tubérculos de alimentação manual e distribuição automática, por pratos horizontais, de duas linhas. O compasso utilizado (0,65 x 0,35 cm), equivale a uma densidade de plantação de 43956 tubérculos por hectare.

Os tubérculos foram enterrados a uma profundidade de 8 a 10 cm.

4.8 - TRATAMENTOS FITOSSANITÁRIOS

Próximo da emergência das plantas, foi aplicado um herbicida à base de linurão (50% p/p), produto comercial (p. c.) "Afalon", na dose de 1,5 kg/ha, aplicado com um pulverizador mecânico de jacto projectado, com barra. Mais tarde, houve necessidade de fazer uma monda manual devido ao aparecimento de infestações consideráveis,

sobretudo de figueira do inferno (*Datura stramonium* L.), cata-sol (*Chenopodium album* L.) e milhã digitada (*Digitaria sanguinalis* (L) Scop.).

Preventivamente, contra o míldio, efecturam-se dois tratamentos com um fungicida constituído por uma mistura de cimoxanil, oxiclóreto de cobre e propinebe, respectivamente na concentração de 4,8 % + 17,5 % (cobre) + 35 % (p/p), p. c. "Milraz cobre", com um consumo de 2 kg/ha em cada tratamento. As caldas foram aplicadas com um pulverizador de dorso.

O escaravelho foi combatido ao aparecimento das primeiras larvas com um produto à base de deltametrina (2,8 % p/p), p.c. "Decis". Mais tarde, houve necessidade de efectuar um segundo tratamento. Desta vez, aplicou-se um insecticida à base de betaciflutrina (2,45 % p/p), p. c. "Bulldock", na concentração de 50 ml/hl. As caldas foram aplicadas com um pulverizador de dorso.

4.9 - REGA

A cultura foi regada por aspersão, com uma instalação estacionária temporariamente fixa (Raposo, 1994).

Devido à natureza do ensaio, sobretudo decorrente da facilidade com que o azoto pode ser perdido por lixiviação, nomeadamente na forma nítrica [2.4.4], decidimos dar tratamento especial à condução da rega, tentando reduzir, tanto quanto possível, as perdas de azoto para fora do alcance das raízes. Para isso, calculámos, à priori, a dotação de rega e o intervalo de tempo entre regas.

Em função das condições climatéricas verificadas ao longo do ciclo da cultura fizeram-se ajustamentos no intervalo de tempo entre regas, sempre que se achou oportuno.

4.9.1 - Cálculo da dotação de rega

Dados utilizados

| Profundidade (cm) | Dens. aparente (Dap) | pF _{2,0} | pF _{2,7} | pF _{4,2} |
|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0 - 25 | 1,28 | 32,7 | 27,1 | 19,5 |
| 25 - 50 | 1,30 | 28,3 | 22,6 | 14,6 |

Lab. solos, ESA Bragança

Profundidade considerada (Z) - 50 cm (Doorembos e Kassam, 1986)
Reserva facilmente utilizável (p) - 0,25 (Doorembos e Kassam, 1986)
Eficiência de rega (er) - 70 % (Doorembos e Pruit, 1977)

Capacidade de armazenamento do solo (U)

$$U = Dap \times Z \text{ (mm)} \times (\text{Capac. campo} - \text{Coef. emurchecimento}) / 100$$

$$U_{0-25} = 1,28 \times 250 \times (27,1 - 19,5) / 100 = 24,4 \text{ mm}$$

$$U_{25-50} = 1,30 \times 250 \times (22,6 - 14,6) / 100 = 26,0 \text{ mm}$$

$$U_{0-50} = U_{0-25} + U_{25-50} = 24,4 + 26,0 = 50,4 \text{ mm}$$

Dotação útil de rega (hu)

$$hu = U \times p = 50,4 \times 0,25 = 12,6 \text{ mm}$$

Dotação real de rega (hr)

$$hr = hu / er = 12,6 / 0,7 = \mathbf{18 \text{ mm}}$$

4.9.2 - Cálculo do intervalo de tempo entre regas

Dados:

- Evapotranspiração Potencial, ETP (Mendes e Bettencourt, 1980)

Junho - 142 mm

Julho - 170 mm

Agosto - 147 mm

Setembro - 77 mm

Outubro - 40 mm

Novembro - 13 mm

- Coeficiente Cultural, Kc (Doorembos e Kassam, 1986)

Emergência - desenv. inicial (20 a 30 dias) - 0,4 a 0,5

Desenv. inicial (30 a 40 dias) - 0,7 a 0,8

Desenv. meia estação (30 a 60 dias) - 1,05 a 1,15

Desenv. fim estação (20 a 35 dias) - 0,85 a 0,95

Maturação - 0,7 a 0,75

- Dotação Real (calculada em 4.9.1) - 18 mm

A figura 3 mostra a previsão do intervalo de tempo entre regas ao longo do ciclo da cultura, com base na evapotranspiração potencial e em função da data de plantação, coeficientes culturais e características do solo.

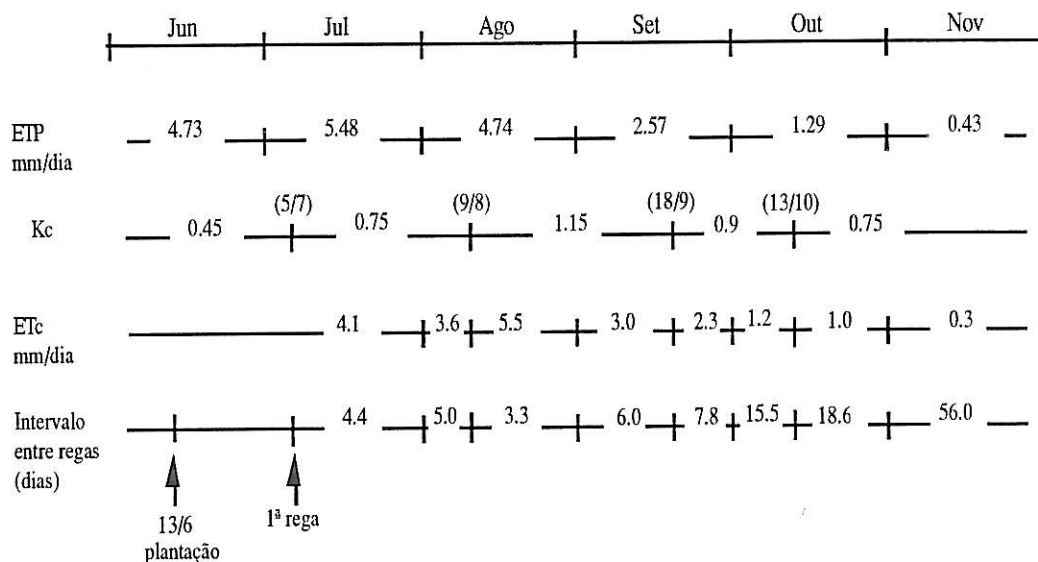


Fig. 3 - Previsão do intervalo de tempo entre regas a partir da data de instalação da cultura

Imediatamente após instalação da cultura, foram colocados sobre o terreno, de forma aleatória, diversos pluviômetros. Desta forma, foi possível elaborar diagramas de distribuição da água, para cada rega, e corrigir a posição dos aspersores no campo de ensaio. A irregularidade da distribuição e, conseqüentemente, a necessidade de corrigir a posição dos aspersores, deveu-se sobretudo à acção do vento, mas também a um certo obsolescência do sistema de rega em que, para alguns aspersores, era difícil regular o débito.

4.9.3 - Azoto introduzido no ensaio através da água de rega e precipitação

Com base no número de regas, dotação real e valores da precipitação, calculámos a quantidade de água introduzida no ensaio, durante a estação de crescimento. Foi ainda avaliada a quantidade de azoto introduzido na água (rega + precipitação), uma vez que pode constituir um certo acréscimo aos fertilizantes azotados. As amostras da água de rega foram colhidas em duas datas (14/7 e 19/9), ao longo do ciclo da cultura. A água da chuva foi analisada sempre que ocorreram valores

de precipitação significativos. As amostras foram enviadas para o laboratório de Química da Escola Superior Agrária de Bragança, onde se determinaram o N-NO_3^- , o N-NO_2^- e o N-NH_4^+ . Os resultados obtidos são apresentados no quadro 3.

Quadro 3 - Quantidade de água e azoto mineral introduzidos no ensaio durante a estação de crescimento

| | Água (mm) | N-NO_3^- (kg/ha) | N-NO_2^- (kg/ha) | N-NH_4^+ (kg/ha) | N-total (kg/ha) |
|------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| Rega | 320 | 11,12 | 0,02 | 0,0 | 11,14 |
| Chuva | 100 | 1,85 | 0,41 | vest | 2,26 |
| Rega+Chuva | 420 | 12,97 | 0,43 | vest | 13,4 |

4.10 - OBSERVAÇÕES GERAIS À FORMA COMO DECORREU O ENSAIO

O ensaio decorreu com normalidade e a população pretendida foi conseguida. No entanto, a emergência iniciou-se com alguma irregularidade. As condições hídricas do solo, nesta fase, e um deficiente enterramento de alguns tubérculos, devido ao aparecimento de pequenos torrões à superfície, deverão ter estado na origem destes resultados, uma vez que o abrolhamento dos tubérculos plantados era bastante regular [4.6]. Para tentar contrariar este efeito, decidimos antecipar a primeira rega, relativamente ao que tínhamos previsto nos cálculos do intervalo de tempo entre regas. Assim, a primeira rega foi efectuada em 30 de Junho e não em 5 de Julho como tínhamos previsto. A partir desta data, os intervalos de tempo entre regas e as dotações foram respeitados, exceptuado-se períodos em que ocorreram precipitações significativas. Passados poucos dias, após a primeira rega, o estado fenológico das plantas era já bastante homogéneo.

Durante as primeiras fases de desenvolvimento da cultura perderam-se algumas plantas devido ao ataque de nóctuas (*Agrotis* spp.). Os ataques tiveram, contudo, pouco significado, pelo que não foi considerado necessário fazer qualquer tratamento.

4.11 - DETERMINAÇÕES E TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM

4.11.1 - Determinações preliminares

Após o corte do ferrejo recolheram-se, com uma sonda tipo trado, amostras de solo (uma por bloco) a duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) e foram enviadas para

laboratório. Cada amostra era constituída por 10 sub-amostras. Em laboratório, foram sujeitas a análise sumária, análise granulométrica e análise ao complexo de troca. Os resultados obtidos são apresentados nos quadros 4, 5 e 6, e ajudaram a caracterizar o campo de ensaios. Nestas amostras foram, também, determinados o azoto nítrico e amoniacal, para avaliar das disponibilidades de azoto mineral no solo no início da estação de crescimento, procedendo-se de forma análogo ao que se descreve a seguir, em 4.11.2, para as restantes datas de colheita. Os resultados são apresentados no anexo 9.

Quadro 4 - Registos da análise sumária por bloco e profundidade

| Profundidade (cm) | 0-20 | | | 20-40 | | |
|-------------------|------|------|------|-------|------|------|
| | A | B | C | A | B | C |
| Bloco | | | | | | |
| Areia grossa (%) | 7,6 | 5,3 | 5,6 | 8,2 | 5,9 | 7,6 |
| Areia fina (%) | 35,6 | 39,4 | 40,4 | 35,3 | 37,9 | 37,9 |
| Limo (%) | 32,4 | 30,8 | 29,9 | 31,4 | 33,0 | 31,5 |
| Argila (%) | 24,4 | 24,3 | 24,1 | 25,1 | 23,2 | 23,0 |

Quadro 5 - Registos da análise granulométrica por bloco e profundidade

| Profundidade (cm) | 0-20 | | | 20-40 | | |
|---------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|
| | A | B | C | A | B | C |
| Bloco | | | | | | |
| Mat. orgânica (%) | 1,36 | 1,75 | 1,75 | 1,80 | 1,62 | 1,59 |
| pH (H ₂ O) | 6,5 | 6,8 | 6,9 | 6,7 | 6,9 | 7,0 |
| pH (KCl) | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 5,5 |
| P ₂ O ₅ (mg/kg) | 76 | 93 | 96 | 76 | 103 | 100 |
| K ₂ O (mg/kg) | 118 | 135 | 147 | 136 | 155 | 172 |

Quadro 6 - Registos da análise ao complexo de troca por bloco e profundidade

| Profundidade (cm) | | 0-20 | | | 20-40 | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Bloco | | A | B | C | A | B | C |
| Bases de troca (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | Ca ⁺⁺ | 12,72 | 10,80 | 8,40 | 9,84 | 9,60 | 12,00 |
| | Mg ⁺⁺ | 12,61 | 15,76 | 14,58 | 12,61 | 16,15 | 14,97 |
| | K ⁺ | 0,23 | 0,25 | 0,24 | 0,31 | 0,27 | 0,26 |
| | Na ⁺ | 0,28 | 0,29 | 0,24 | 0,27 | 0,22 | 0,20 |
| | Soma | 25,84 | 27,10 | 23,46 | 23,03 | 26,25 | 27,43 |
| Acidez (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | Acidez | 0,21 | 0,38 | 0,29 | 0,21 | 0,38 | 0,29 |
| | Al ⁺⁺⁺ | 0,11 | 0,17 | 0,11 | 0,11 | 0,19 | 0,11 |
| Cap. troca (cmol ⁽⁺⁾ /kg) | | 26,05 | 27,38 | 23,75 | 23,24 | 26,62 | 27,72 |
| Grau de saturação (%) | | 99,19 | 98,62 | 98,78 | 99,10 | 98,57 | 98,95 |

4.11.2 - Determinações ao azoto mineral no solo durante a estação de crescimento

Em oito épocas diferentes de amostragem, com periodicidade quizenal, (quadro 7) avaliou-se, para cada tratamento e repetição, o azoto mineral (NO_3^- e NH_4^+) das amostras de terra. As sub-amostras foram recolhidas a duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) e em número de cinco, por unidade experimental. Eram obtidas de forma aleatória por todo o talhão, mas sempre onde os compassos de plantação ainda se mantinham. Devidamente homogeneizadas, eram congeladas até poderem ser analisadas.

O tratamento dado às amostras consistiu em pesar, em balança de precisão, 20 g de terra à qual se adicionavam 40 ml de cloreto de potássio 2M. A mistura era agitada durante 60 minutos e filtrada de seguida. No filtrado, determinaram-se os teores de N- NO_3^- e de N- NH_4^+ . Ambos os iões foram analisados por espectrofotometria da zona do visível, recorrendo a um analisador de fluxo segmentado; o N- NH_4^+ foi determinado pelo método de Berthelot e o N- NO_3^- pelo método da sulfanalamida após redução a NO_2^- em coluna de cádmio (Houba *et al.*, 1989). O teor de humidade das amostras obteve-se secando em estufa a 60 °C até o seu peso estabilizar. Para a primeira data de amostragem determinou-se ainda a percentagem de terra fina e elementos grosseiros das amostras para todas as unidades experimentais.

Quadro 7 - Datas de colheita de amostras de solos e plantas e correspondência em dias após plantação (DAP).

| Amostragens aos solos | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Perliminar | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a | 4 ^a | 5 ^a | 6 ^a | 7 ^a | 8 ^a |
| Data | 7/6 | 3/8 | 17/8 | 31/8 | 13/9 | 28/9 | 12/10 | 26/10 | 16/11 |
| DAP | - 6 | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135 | 156 |

| Amostragens às plantas | | | | | | | | |
|------------------------|--|-----|------|------|------|------|-------|--------|
| | | | | | | | | |
| Data | | 2/8 | 16/8 | 30/8 | 12/9 | 27/9 | 11/10 | 25/10* |
| DAP | | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134* |

* Só nas modalidades N150, N200 e N250

4.11.3 - Determinações nas plantas

No quadro 7 apresentaram-se as datas de amostragem da parte aérea.

As amostras foram constituídas por quatro plantas consecutivas por unidade

experimental, obtidas pelo método clássico de análise destrutiva, e arrancadas com enxada.

Na separação entre talhões foram deixadas duas linhas de plantas em bordadura. No interior dos talhões, as amostras eram definidas por processo aleatório separadas de, pelo menos, uma linha de plantas e duas plantas na mesma linha, entre cada amostra.

Devidamente ensacadas e etiquetadas, foram enviadas para laboratório, onde se fez a separação entre tubérculos, caules (principais + ramificações) e folhas (limbos + pecíolos). Inicialmente procedia-se à separação e lavagem dos tubérculos e era determinado o número de tubérculos de diâmetro inferior e superior a 10 mm. O diâmetro foi avaliado usando uma craveira. Os caules foram separados dos rizomas e raízes fibrosas. De seguida, separavam-se as folhas dos caules. As folhas mortas foram desprezadas.

Após separação dos três componentes da planta, da forma referida, as amostras eram introduzidas separadamente em estufa, regulada para 60 °C. Quando o seu peso estabilizava, determinava-se a matéria seca para cada componente das plantas.

Na última fase, procedeu-se à moenda das amostras e determinaram-se os valores de azoto total pelo método de Kjeldhal, que consistiu na digestão das amostras com ácido sulfúrico, seguido da destilação e titulação com ácido clorídrico, utilizando um aparelho Kjeltex Auto-1030 Analyser.

Nas amostras da última data de colheita, os tubérculos foram calibrados, em malha quadrada, obtendo-se os calibres 0-30, 30-60 e > 60 mm, e avaliou-se o peso fresco e a matéria seca por calibre.

Para obter os teores em $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ nos tubérculos, na última colheita, retirou-se um grama de matéria seca após moenda, adicionaram-se 50 ml de água desionizada seguindo-se agitação de uma hora. De seguida, a mistura era filtrada e o filtrado congelado até poder ser analisado. As análises foram efectuadas recorrendo aos métodos já referidos em 4.11.2.

4.11.4 - Análise estatística dos resultados

No tratamento dos dados foi utilizado o programa estatístico SYSTAT (versão 5.1). Realizaram-se análises de variância individualizadas para cada data de amostragem. Nos casos em que se registaram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$), compararam-se as médias recorrendo ao método dos contrastes. Foram ainda ajustados modelos (polinomiais e lineares) aos valores médios de diversos parâmetros, sempre que esta análise nos pareceu relevante.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - EVOLUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE AZOTO MINERAL NO SOLO

5.1.1 - Azoto amoniacal

A análise de variância aos valores de $N-NH_4^+$ no solo, obtidos pela extração com KCl, indicaram a inexistência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre as modalidades de fertilização ensaiadas, quer nos 20 cm superiores do solo, quer na profundidade 20 - 40 cm (anexo 11). Estes resultados, associados aos valores bastante baixos de $N-NH_4^+$ encontrados (geralmente inferiores a 2 mg de N/kg de terra seca), sugerem que o $N-NH_4^+$ que apareceu no extrato deverá ter origem no processo gradual de mineralização da matéria orgânica (sobretudo na sua fracção mais activa, a biomassa do solo) e não já, directamente, dos fertilizantes aplicados.

De facto, desde a aplicação dos fertilizantes (- 1 DAP) até à primeira amostragem (51 DAP) decorreram 52 dias, tempo suficiente para que o $N-NH_4^+$ resultante da hidrólise da ureia sofresse imobilização biológica, fixação, nitrificação, volatilização, etc., processos que o retiram da solução do solo e de posições extraíveis pelo KCl. Para o rápido desaparecimento do $N-NH_4^+$ contribuíram, por certo de forma determinante, as condições de neutralidade do solo, humidade adequada, temperaturas elevadas e a absorção pela própria cultura, uma vez que, segundo alguns autores, a batateira parece mostrar certa preferência pelas formas amoniacais.

Resultados obtidos por Trehan e Wild (1993), com a mesma cultura, utilizando azoto marcado, indicaram que o $N-NH_4^+$ aplicado sob a forma de sulfato de amónio desapareceu em quantidade apreciável ao fim de 42 dias, sendo maioritariamente convertido em $N-NO_3^-$ ou absorvido pelas plantas. Apareceu também, em menor proporção, fixado nos minerais de argila e na fracção orgânica.

As disponibilidades de $N-NH_4^+$ no solo nas modalidades fertilizadas com produtos orgânicos são, como foi referido, estatisticamente iguais entre si e às modalidades fertilizadas com ureia e testemunha. Nem os teores em azoto dos produtos aplicados eram suficientemente elevados, nem a razão C/N suficientemente baixa para originarem um balanço excessivamente positivo do processo mineralização/imobilização. As quantidades aplicadas também não terão sido suficientes, quando comparadas com a matéria orgânica que existe no solo, para originar uma mineralização líquida suplementar que levasse à acumulação de $N-NH_4^+$

no solo, relativamente às modalidades fertilizadas com ureia.

A análise de variância revelou, no entanto, a existência de diferenças significativas entre blocos, concretamente em 79 e 121 DAP, nos 20 cm superiores do solo e em 51, 65, 79, 93 e 121 DAP na profundidade 20-40 cm. Como já tinha sido referido [4.9.2], notámos ao longo do ensaio alguma irregularidade na distribuição da água de rega, e esta foi, quanto a nós, a maior causa de variabilidade externa introduzida no ensaio e justifica os resultados obtidos. É sabido que o arejamento e o teor de humidade do solo afectam a amonificação e a nitrificação. De acordo com Campbell (1978), a amonificação aumenta desde o coeficiente de emurchecimento até à capacidade de campo e é bastante reduzida fora destes limites. Dados apresentados por Stanford e Epstein (1974), cit. por Campbell (1978), mostram que valores elevados de N-NH_4^+ só surgem quando o teor de humidade do solo ultrapassa a capacidade de campo ($\approx 0,1$ bar). Por outro lado, Campbell (1978) refere a importância dos ciclos de humedecimento e secagem nos fluxos de azoto. Quando os solos secam, o N-NH_4^+ pode aumentar porque a nitrificação cessa a teores de humidade mais elevados que a amonificação, no decurso do processo de secagem. Parte da variabilidade experimental pode ser igualmente atribuída ao número limitado de sub-amostras que compunham cada amostra (5), uma vez que Decroux (1991), cit. por Martins (1994), recomenda que sejam utilizadas, no mínimo, nove sub-amostras para avaliar a disponibilidade de azoto mineral no solo.

Sem qualquer significado, quanto a nós, ocorreram diferenças significativas entre tratamentos em 121 DAP nos 20 cm superiores do solo. A modalidade N150 foi significativamente superior aos restantes tratamentos. As razões destes resultados continuam, tal como a diferença entre blocos, a ser justificadas, apenas, pela variabilidade introduzida no ensaio.

Ao longo da estação de crescimento, os valores de N-NH_4^+ permaneceram sem grandes oscilações até próximo do fim dos ciclo cultural (com excepção para 79 DAP) e decresceram bruscamente a partir de 121 DAP (fig. 4). As justificações mais prováveis para os decréscimos verificados a partir de 121 DAP prendem-se com: (i) aumento da imobilização biológica, devido à decomposição das raízes da cultura, até porque, como referem Legg e Meisinger (1982), o N-NH_4^+ é mais rapidamente imobilizado que o N-NO_3^- ; (ii) redução da actividade da população de microrganismos que mineralizam a matéria orgânica por diminuição da temperatura do solo; e (iii) lixiviação do N-NH_4^+ em solução, já que entre a amostragem 121 e 156 DAP, a

precipitação atmosférica foi da ordem dos 150 mm (anexo 1), valores muito superiores aos utilizados nas dotações de rega por nós determinadas.

Para o aumento nos níveis de N-NH_4^+ verificado em 79 DAP, apenas encontramos justificação na frequência das regas. Nesta data, o intervalo de tempo entre regas era muito curto [4.9.2] e o humedecimento do solo terá originado situações de anoxia relativamente frequentes, prejudicando mais a nitrificação do que a mineralização da matéria orgânica (Campbell, 1978), originando assim uma ligeira acumulação de N-NH_4^+ . Na profundidade 20-40 cm, a amplitude de variação foi maior e traduziu o facto de, a esta profundidade, a depleção de oxigénio se ter feito sentir de forma mais intensa.

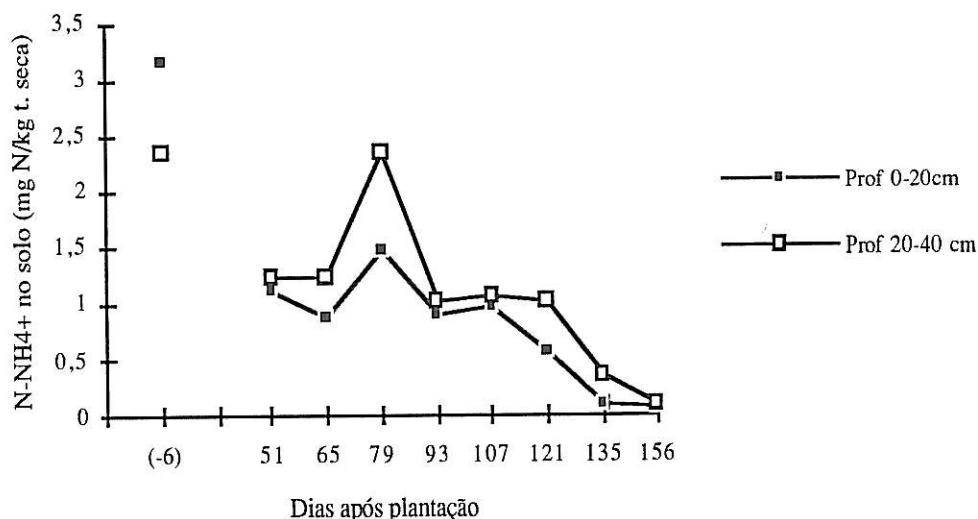


Fig. 4 - Evolução dos níveis de N-NH_4^+ no solo ao longo da estação de crescimento

Os valores de N-NH_4^+ registados na amostragem preliminar (-6 DAP) sofreram uma inversão, de acordo com a profundidade de colheita das amostras, relativamente aos valores obtidos durante a estação de crescimento (fig. 4). Assim, na amostragem preliminar os níveis de N-NH_4^+ nos 20 cm superiores do solo eram mais elevados que na profundidade 20-40 cm, enquanto que durante a estação de crescimento houve uma inversão de resultados. Um melhor arejamento nas camadas superficiais terá tendência a activar a mineralização da matéria orgânica e, por conseguinte, a aparecer mais N-NH_4^+ nos 20 cm superficiais na amostra preliminar, como seria de esperar. Durante a estação de crescimento, a água de rega terá arrastado gradualmente o N-NH_4^+ em solução formado nas camadas superficiais para maiores profundidades,

invertendo os resultados. A própria planta terá também absorvido mais N-NH_4^+ das camadas superficiais devido a uma maior densidade radicular.

5.1.2 - Azoto nítrico

5.1.2.1 - Profundidade 0-20 cm

A análise de variância aos valores de N-NO_3^- , nos 20 cm superiores do solo (quadro 8), revelou a existência de diferenças significativas nas primeiras datas de amostragem, entre as modalidades ensaiadas. As aplicações de ureia mais elevadas apresentaram valores de N-NO_3^- no solo, de uma maneira geral, superiores aos tratamentos em que foram aplicadas menores quantidades e aos tratamentos com fertilizantes orgânicos.

Quadro 8 - Evolução dos níveis de N-NO_3^- (mg N/kg terra seca) ao longo da estação de crescimento nos 20 cm superiores do solo

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135* | 156* |
| 0 | 11,3 cd | 3,6 c | 4,5 b | 2,8 bc | 3,5 a | 3,8 c | 5,8 a | 2,7 a |
| 50 | 17,5 bcd | 8,2 c | 5,3 b | 3,0 bc | 3,5 a | 4,3 c | 6,5 a | 2,9 a |
| 100 | 21,2 abc | 8,9 c | 10,3 ab | 5,2 bc | 6,9 a | 4,9 bc | 12,8 a | 6,5 a |
| 150 | 15,0 bcd | 10,2 bc | 7,6 ab | 12,7 a | 15,4 a | 13,9 ab | 15,0 a | 4,2 a |
| 200 | 28,4 a | 16,6 ab | 13,2 ab | 6,1 bc | 11,6 a | 18,5 a | 36,1 a | 11,7 a |
| 250 | 24,3 ab | 20,9 a | 17,5 a | 8,5 ab | 11,3 a | 19,8 a | 31,4 a | 15,7 a |
| 100 (BO) | 11,2 cd | 4,3 c | 5,4 b | 2,7 bc | 2,6 a | 3,7 c | 12,8 a | 11,3 a |
| 100 (BA) | 10,7 cd | 7,9 c | 6,6 b | 3,2 bc | 3,2 a | 4,3 c | 7,2 a | 6,8 a |
| 100 (AG) | 11,2 cd | 8,0 c | 5,8 b | 3,3 bc | 4,2 a | 7,2 bc | 13,3 a | 6,4 a |
| 100 (FE) | 9,3 d | 5,0 c | 4,2 b | 1,8 c | 3,5 a | 3,6 c | 4,6 a | 2,9 a |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

* Existem diferenças entre blocos

Estes resultados são esperados mas exigem alguns cuidados de interpretação, uma vez que o solo é um sistema dinâmico onde a mudança numa fase afecta necessariamente as restantes.

Em condições adequadas para a actividade dos microrganismos e na presença de uma fonte de carbono, a imobilização líquida do azoto adicionado ocorre rapidamente. Segundo Stevenson (1986), a imobilização atinge o máximo passados apenas três dias se o substrato é a glucose, ou decorre durante dois meses ou mais se o substrato é

mais complexo, como o resíduo de uma cultura. Zaccheo *et al.* (1993) referem que 1 a 10 % do azoto aplicado como fertilizante mineral (ureia ou sulfato de amónio) é imobilizado nas primeiras 12 horas de incubação. Adicionando glucose como fonte de carbono, 25 % do azoto é imobilizado passadas 12 horas e 96 % passadas 96 horas. Kwong *et al.* (1986), aplicando sulfato de amónio, verificaram que a imobilização ocorreu rapidamente e quase na totalidade do azoto aplicado ao fim de dois meses, num solo com reduzida capacidade para fixar NH_4^+ . Mengel e Kirkby (1987) referem experiências em que se aplicou sulfato de amónio marcado e onde quantidades apreciáveis de azoto eram incorporadas pelos microrganismos imediatamente após a adubação. Nas fases posteriores, era libertado e tornava-se disponível para as plantas.

Como a mineralização e imobilização ocorrem em simultâneo, a quantidade de azoto mineral no solo representa o saldo dos dois processos. Segundo Stevenson (1986), o período em que começa a ocorrer mineralização líquida e acumulação de azoto mineral depende, entre outros factores, dos teores em azoto e da razão C/N dos materiais a decompor. Uma estimativa razoável aponta para que, em condições favoráveis à actividade dos microrganismos, após uma fase inicial em que ocorre imobilização líquida, a mineralização líquida começa 4 a 8 semanas após o início da decomposição. Quando os níveis de NO_3^- excedem largamente as necessidades das plantas e microrganismos, e caso não existam condições para ocorrer lixiviação ou desnitrificação, pode acumular-se NO_3^- no solo (Stevenson, 1986).

Podemos assim avançar duas explicações que, isoladamente ou em conjunto, terão contribuído para os resultados: (i) nas modalidades constituídas por maiores quantidades de azoto, os níveis de NO_3^- (resultantes da nitrificação do NH_4^+) terão excedido as necessidades das plantas e dos microrganismos responsáveis pela decomposição do restolho de centeio incorporado; e (ii) o NO_3^- , que surge em maiores níveis nas modalidades mais fertilizadas, ser azoto remineralizado após uma primeira fase de imobilização líquida. Esta segunda explicação baseia-se no facto da biomassa microbiana se mineralizar muito mais rapidamente que a matéria orgânica estável e as modalidades fertilizadas mais abundantemente adquirirem um potencial de mineralização mais elevado (McTaggart e Smith, 1993).

As modalidades constituídas por fertilizantes orgânicos apresentaram valores de N-NO_3^- no solo globalmente inferiores à aplicação de ureia que introduziu a mesma quantidade de azoto total (quadro 8). Por um lado, para que surja azoto mineral no solo, com origem nos produtos orgânicos, é necessário que ocorra mineralização que, como se sabe, é um processo gradual que pode demorar vários anos para que a

totalidade do azoto seja mineralizado e, por outro, como os microrganismos dispõem de mais energia, a imobilização de azoto mineral terá sido superior nestas modalidades relativamente às modalidades fertilizadas com ureia. Trehan e Wild (1993) referem que, quando foi aplicado chorume (complementado com sulfato de amónio) e sulfato de amónio isoladamente, o azoto mineral desapareceu mais rapidamente da solução do solo na primeira situação e manteve-se em níveis mais baixos ao longo do ciclo da cultura. A imobilização ocorreu sobretudo nos primeiros 21 dias após aplicação quando foi adicionado chorume e nos primeiros 42 dias e em menor quantidade quando foi aplicado sulfato de amónio.

Smith e Peterson (1982) referem que, quando são incorporados resíduos com menos de 1,5 % de azoto, é de esperar redução dos níveis de $N-NO_3^-$ no solo durante a sua decomposição, e que, dependendo do tipo de material, teores em azoto e formas de azoto presentes, a mineralização varia entre 35 a 75% no primeiro ano. Cooke (1982), Finck (1982) e Simpson (1986) referem que no primeiro ano, pelo geral, não mais de 20 a 30 % do azoto dos resíduos incorporados é mineralizado. Tendo em conta que os fertilizantes orgânicos aplicados não têm mais de 1,5 % de azoto e o restolho incorporado apenas 0,4 %, a menor disponibilidade de azoto mineral no solo obtida com os fertilizantes orgânicos é, de todo, aceitável.

Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas, em nenhuma data de amostragem. As ligeiras diferenças na sua composição, sobretudo no seu conteúdo em azoto e razão C/N, não terão sido suficientes para originarem diferenças significativas na disponibilidade de $N-NO_3^-$ no solo.

Nas últimas datas de amostragem, as diferenças entre tratamentos desapareceram e passou a haver diferenças significativas entre blocos (quadro 8). Por outro lado, nesta fase, médias bastante distintas não foram estatisticamente diferentes, sugerindo a existência de elevada variabilidade experimental. As razões envolvidas deveram-se, quanto a nós, a uma migração dos nitratos em profundidade com a água de rega, anulando as diferenças entre tratamentos. A variabilidade experimental deverá ter estado associada a uma deficiente distribuição da água de rega, que terá originado uma migração irregular dos nitratos em profundidade e, possivelmente, ao número limitado de sub-amostras que compunham cada amostra, como foi referido para o $N-NH_4^+$.

A evolução dos níveis de $N-NO_3^-$ ao longo da estação de crescimento (fig. 5) indicaram: um decréscimo até 93 DAP; uma subida desde 93 a 135 DAP; e, por fim, um decréscimo acentuado até 156 DAP.

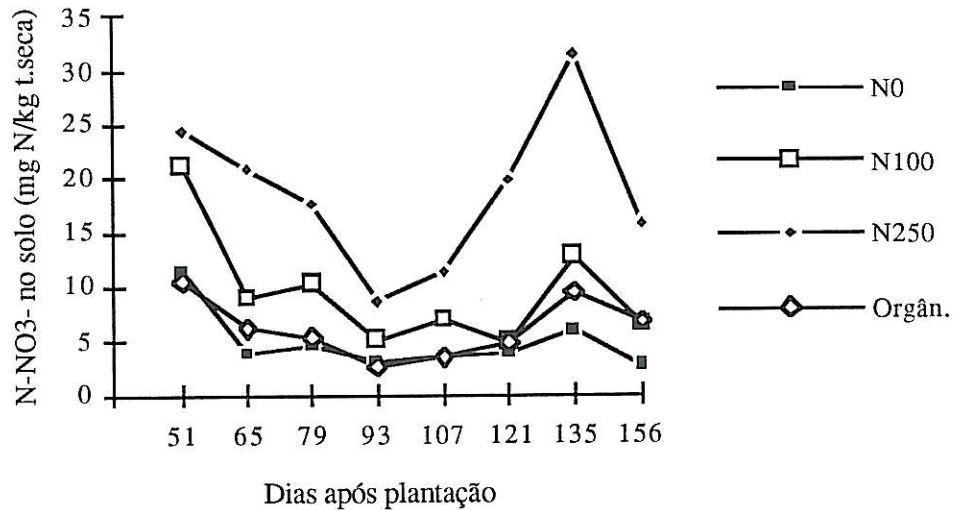


Fig. 5 - Evolução dos níveis de N-NO_3^- ao longo da estação de crescimento nos 20 cm superiores do solo. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados uma vez que não há diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre eles, em qualquer data.

A absorção radicular terá sido a principal causa da diminuição nos níveis de N-NO_3^- verificados entre 51 e 93 DAP (fase de crescimento activo). Por outro lado, Campbell (1978) refere que a libertação de exsudados radiculares pelas plantas e a decomposição de raízes que vão morrendo parecem incrementar a imobilização biológica. Assim, podemos associar este efeito ao primeiro na justificação dos resultados.

O aumento nos níveis de NO_3^- verificados entre 93 e 135 DAP terão sido o resultado da diminuição da extracção pela cultura, à medida que nos aproximamos do fim da estação de crescimento, e permitem concluir que a absorção pelas plantas terá sido mais importante que a imobilização biológica na fase anterior a esta (até 93 DAP), como justificação dos resultados, uma vez que, à medida que nos aproximamos do fim do ciclo, o número de raízes mortas teria tendência a aumentar e, consequentemente, a imobilização biológica também.

Para a diminuição dos níveis de nitratos verificado entre 135 e 156 DAP, avançamos duas justificações: (i) perdas importantes por lixiviação (o valor da precipitação ocorrida entre as duas colheitas ultrapassou os 100 mm); e (ii) uma parte, menos significativa, poderá ser atribuída ao aumento da imobilização biológica, devido à decomposição das raízes da cultura.

5.1.2.2 - Profundidade 20-40 cm

A análise de variância aos valores de $N-NO_3^-$ no solo para a profundidade 20-40 cm (quadro 9) revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos, em todas as datas de amostragem. As modalidades onde foram aplicadas maiores quantidades de azoto apresentaram valores de $N-NO_3^-$ no solo mais elevados.

Entre fertilizantes orgânicos não se registaram diferenças significativas.

Quadro 9 - Evolução dos níveis de $N-NO_3^-$ (mg N/kg terra seca) ao longo da estação de crescimento entre os 20 e 40 cm de profundidade

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135* | 156* |
| 0 | 9,3 d | 5,1 b | 3,8 b | 2,3 c | 2,9 b | 3,9 c | 4,0 c | 6,4 bc |
| 50 | 17,4 bcd | 9,2 b | 5,9 b | 4,3 bc | 3,3 b | 5,0 c | 4,5 bc | 6,8 bc |
| 100 | 23,4 bcd | 10,6 b | 10,5 b | 5,7 bc | 8,9 ab | 5,1 c | 9,2 b | 10,8 ab |
| 150 | 31,6 abc | 11,9 b | 8,0 b | 6,5 bc | 9,4 ab | 9,2 bc | 9,4 b | 10,6 abc |
| 200 | 32,5 ab | 28,3 a | 14,2 ab | 8,4 ab | 13,0 a | 15,2 b | 16,9 a | 15,3 a |
| 250 | 45,2 a | 28,5 a | 23,5 a | 17,4 a | 15,9 a | 25,7 a | 20,9 a | 13,8 a |
| 100 (BO) | 11,6 d | 6,8 b | 5,6 b | 2,1 c | 3,4 b | 4,7 c | 5,0 bc | 7,6 bc |
| 100 (BA) | 15,5 cd | 7,6 b | 6,2 b | 2,5 bc | 3,4 b | 5,9 c | 5,4 bc | 6,4 bc |
| 100 (AG) | 15,9 bcd | 5,9 b | 6,6 b | 3,0 bc | 3,7 b | 5,1 c | 5,0 bc | 8,2 bc |
| 100 (FE) | 11,3 d | 5,0 b | 3,3 b | 1,4 c | 2,9 b | 3,2 c | 3,5 c | 5,7 c |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

* Existem diferenças entre blocos

As diferenças verificadas entre blocos, em 135 e 156 DAP, revelaram o acumular de variabilidade experimental, durante a estação de crescimento, por migração irregular dos nitratos, devido à heterogeneidade na distribuição da água de rega.

Comparando os valores dos quadros 8 e 9 verificamos que os níveis de $N-NO_3^-$ no solo foram mais elevados a maior profundidade. A elevada mobilidade desta forma de azoto justifica uma maior concentração nessa zona, por migração dos nitratos com a água de rega, uma vez que os cálculos de dotação de rega tiveram por base uma profundidade útil de 50 cm, devendo, necessariamente, parte da água ter atingido esta profundidade e, com ela, parte dos nitratos.

A evolução dos níveis de $N-NO_3^-$ ao longo da estação de crescimento (fig. 6) revelaram um comportamento análogo ao verificado nos 20 cm superiores do solo até 93 DAP, e podem ser, quanto a nós, justificados pelas razões já apresentadas. O

aumento nos níveis de nitratos a partir de 93 DAP foi menos nítido, quando comparado com os valores nos 20 cm superiores do solo. Este facto pode significar que, na profundidade 20-40 cm, os níveis de $N-NO_3^-$ estiveram mais dependentes da emigração a partir das camadas superficiais por lixiviação e não tanto da mineralização da matéria orgânica, que terá sido menos importante a esta profundidade, devido a um menor arejamento. Ao contrário do que verificámos nos 20 cm superiores do solo, parece não terem diminuído os níveis de nitratos na última data de amostragem, excepto para a modalidade N250. Este facto sugere que as perdas por lixiviação, que terão sido provocadas pela precipitação, foram, pelo menos em parte, compensadas pela emigração de nitratos vindos dos 20 cm superiores do solo.

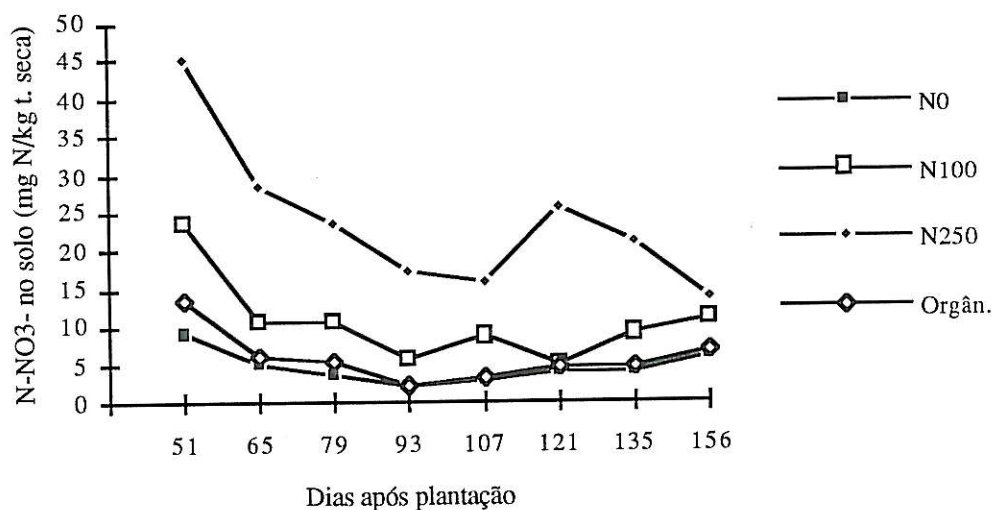


Fig. 6 - Evolução do $N-NO_3^-$ ao longo da estação de crescimento entre 20 e 40 cm de profundidade. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados uma vez que não há diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre eles, em qualquer data.

5.1.3 - Azoto mineral ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$); profundidade 0-40 cm

Podemos admitir que o azoto mineral nos 40 cm superiores do solo representou grande parte do azoto disponível para as plantas. Ambas as formas (NO_3^- e NH_4^+) podem ser absorvidas por esta cultura e o azoto mineral disponível abaixo dos 40 cm terá sido de pouco interesse na nutrição das plantas uma vez que o desenvolvimento do seu sistema radicular em profundidade é bastante limitado (Doorembos e Kassam,

1986; Portas, 1988) e a disponibilidade de água durante a estação de crescimento terá minimizado a importância das raízes situadas a maior profundidade.

A análise de variância (quadro 10) revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos, nas sete primeiras datas de amostragem. Estes resultados sugerem estar a ser condicionados pelo $N-NO_3^-$ e não tanto pelo $N-NH_4^+$, para o qual se verificou não haver diferenças entre tratamentos e as suas disponibilidades no solo terem sido bastante baixas.

Quadro 10 - Evolução dos níveis de azoto mineral ($NH_4^+ + NO_3^-$) (mg N/kg terra seca) ao longo da estação de crescimento nos 40 cm superiores do solo

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|
| | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135* | 156* |
| 0 | 22,1 d | 10,5 b | 12,4 b | 6,7 cd | 8,3 b | 9,1 d | 9,9 b | 9,4 a |
| 50 | 37,4 cd | 19,4 b | 13,6 b | 9,0 cd | 8,8 b | 10,9 d | 11,5 b | 10,0 a |
| 100 | 47,4 bc | 22,4 b | 24,4 b | 13,3 bcd | 17,9 ab | 11,5 cd | 23,5 b | 17,5 a |
| 150 | 48,6 abc | 24,3 b | 19,4 b | 21,5 ab | 27,5 a | 26,2 bc | 25,0 b | 14,9 a |
| 200 | 63,8 ab | 47,5 a | 30,8 ab | 16,7 abc | 26,3 a | 35,3 ab | 53,3 a | 27,0 a |
| 250 | 72,4 a | 51,1 a | 46,9 a | 27,6 a | 29,3 a | 46,9 a | 52,4 a | 29,5 a |
| 100 (BO) | 24,7 cd | 12,8 b | 13,8 b | 6,6 cd | 7,6 b | 9,9 d | 18,2 b | 19,3 a |
| 100 (BA) | 28,8 cd | 17,8 b | 17,0 b | 7,7 cd | 9,2 b | 11,9 d | 29,7 ab | 13,4 a |
| 100 (AG) | 28,9 cd | 15,6 b | 15,7 b | 7,7 cd | 9,6 b | 12,8 cd | 18,6 b | 14,5 a |
| 100 (FE) | 23,1 cd | 12,7 b | 12,1 b | 5,0 cd | 8,4 b | 8,4 d | 8,4 b | 8,8 a |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

* Existem diferenças entre blocos

Na última data de amostragem, apesar dos valores médios serem claramente distintos e superiores nas modalidades onde foram aplicadas maiores quantidades de azoto, não existiram diferenças entre tratamentos. A lixiviação que poderá ter ocorrido entre as duas últimas datas de amostragem, devido aos valores de precipitação verificados, e o acentuar da variabilidade experimental ao longo da estação de crescimento, devido à rega, justificam mais uma vez, a nosso ver, estes resultados.

A disponibilidade de azoto mineral no solo aumentou da testemunha para a modalidade em foi aplicada maior quantidade de azoto, quer na primeira quer na última data de amostragem (fig. 7). Em 51 DAP, os fertilizantes orgânicos apresentaram um comportamento idêntico entre si e mais próximo das modalidades testemunha e N50, que propriamente da modalidade N100, onde foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto total. Estes resultados são justificados pela maior quantidade de energia posta

a disposição dos microrganismos, nas modalidades fertilizadas com produtos orgânicos, originando maior imobilização de azoto e durante mais tempo (Trehan e Wild, 1993).

Na última amostragem, devido aos níveis bastante mais baixos de azoto mineral no solo, a posição dos fertilizantes orgânicos confunde-se com os resultados dos tratamentos com ureia, sobretudo onde foram aplicados menos de 150 kg N/ha, já que os valores das modalidades N200 e N250 parecem apresentar-se, mesmo assim, ligeiramente superiores.

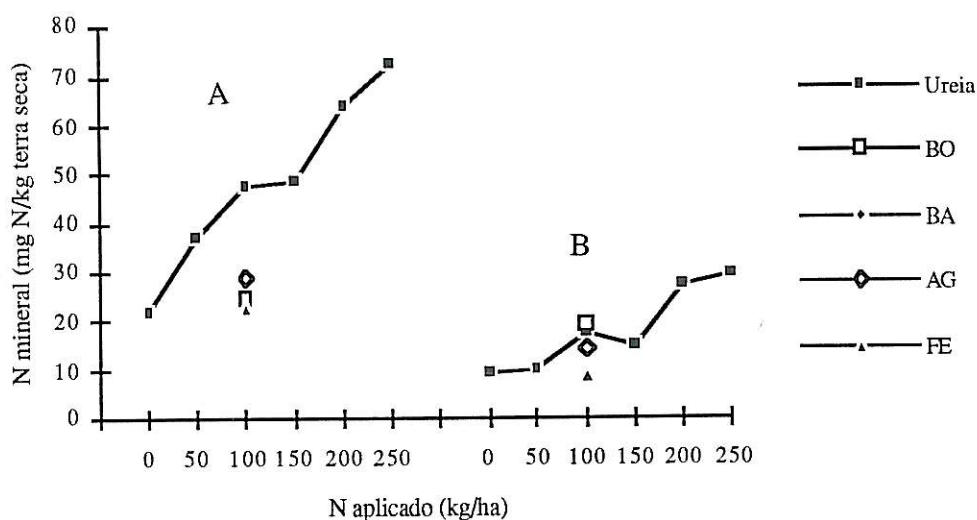


Fig. 7 - Posição relativa dos fertilizantes orgânicos face a doses crescentes de ureia nos níveis de N mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) no solo (A - 51 DAP; B - 156 DAP)

As disponibilidades de azoto mineral nos 40 cm superiores do solo estiveram muito mais dependentes dos níveis de N-NO_3^- que dos níveis de N-NH_4^+ , como já foi referido. A sua evolução ao longo da estação de crescimento (fig. 8) revelou: um decréscimo até 93 DAP, justificado pela absorção radicular e imobilização biológica devido aos exsudados radiculares; uma subida após 93 DAP e até 135 DAP, refletindo a diminuição das taxas de absorção e aumento dos níveis de N-NO_3^- por mineralização da matéria orgânica; e, de novo, um decréscimo entre 135 e 156 DAP, justificado pela lixiviação do azoto mineral em solução e, possivelmente, devido ao aumento da imobilização biológica com a decomposição dos resíduos da cultura.

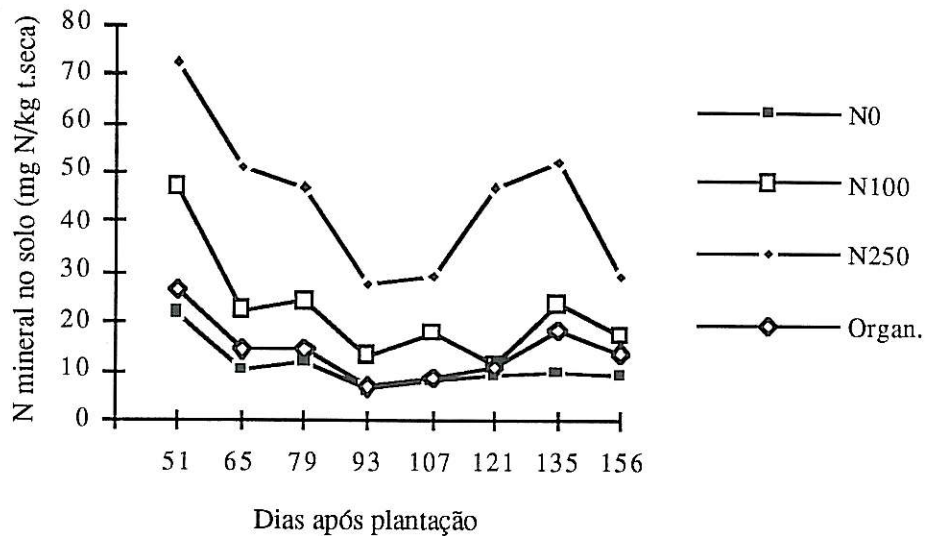


Fig. 8 - Evolução do azoto mineral ao longo da estação de crescimento nos 40 cm superiores do solo. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados uma vez que não há diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre eles, em qualquer data.

5.2 - RESPOSTA DA PLANTA AO AZOTO APLICADO COMO FERTILIZANTE

5.2.1 - Evolução da matéria seca na rama (caules + folhas)

Os resultados obtidos indicam que os valores da matéria seca na rama aumentaram desde a testemunha (0 kg N/ha) até à dose mais elevada de azoto que foi utilizada no ensaio (250 kg/ha).

A análise de variância (quadro 11) mostrou que, nas primeiras datas de colheita de amostras (50 e 64 DAP), não houve diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos. Após a terceira data de amostragem (78 DAP) começaram a ocorrer diferenças estatísticas entre tratamentos, acentuando-se à medida que se avançava na estação de crescimento. Assim, em 78 DAP, a modalidade N250 era apenas estatisticamente diferente da testemunha e dos fertilizantes orgânicos (excepto a BA). Em 120 DAP, as duas modalidades onde se aplicou mais azoto (N200 e N250) eram já estatisticamente diferentes de todas as restantes.

Coelho (1992) refere resultados semelhantes, quando ensaiou fertilizações azotadas que variaram de 0 a 400 kg N/ha, tendo registado um aumento significativo de matéria seca na parte aérea com níveis crescentes do nutriente, e cujas diferenças se

acentuaram ao longo da estação de crescimento, referindo que, a partir de 62 DAP, as modalidades fertilizadas se demarcaram completamente da modalidade testemunha.

Quadro 11 - Evolução da matéria seca na rama (caules + folhas) ao longo da estação de crescimento (g/4 plantas)

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------|------------|-----------|----------|----------|---------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134 |
| 0 | 88,6 a | 261,9 a | 249,3 d | 225,3 d | 187,2 d | 81,4 d | |
| 50 | 105,5 a | 248,9 a | 340,6 abcd | 352,6 bcd | 273,5 cd | 144,6 cd | |
| 100 | 132,6 a | 334,5 a | 354,2 abcd | 424,6 abc | 355,9 bc | 209,7 bc | |
| 150 | 143,5 a | 312,1 a | 374,4 abc | 402,1 abc | 390,1 ab | 243,5 b | 119,7 a |
| 200 | 150,4 a | 325,1 a | 398,8 ab | 512,0 a | 469,1 a | 370,6 a | 200,8 a |
| 250 | 166,2 a | 361,3 a | 446,8 a | 463,8 ab | 424,4 ab | 335,8 a | 147,6 a |
| 100 (BO) | 117,6 a | 251,1 a | 273,6 cd | 336,8 bcd | 247,6 d | 147,3 cd | |
| 100 (BA) | 107,1 a | 230,6 a | 339,2 abcd | 322,0 bcd | 238,3 d | 183,8 bc | |
| 100 (AG) | 90,5 a | 200,8 a | 303,1 bcd | 333,4 bcd | 278,2 cd | 155,7 cd | |
| 100 (FE) | 104,9 a | 228,4 a | 308,6 bcd | 304,2 cd | 248,9 d | 144,0 cd | |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Estes resultados sugerem que, nas primeiras fases de desenvolvimento (até 64 DAP), o azoto residual mais o azoto resultante da mineralização da matéria orgânica, incluindo a mineralização do restolho, terá sido suficiente para garantir um determinado desenvolvimento da cultura, de forma que não foram detectadas diferenças entre tratamentos. De qualquer forma, os valores médios de matéria seca produzida são crescentes da testemunha para as modalidades onde foram aplicadas maiores doses de azoto, desde a primeira amostragem. O valor de matéria seca na testemunha em 50 DAP era, apenas, metade do seu valor na modalidade N250. Este facto sugere a existência de grande variabilidade nos resultados obtidos, aspecto também referido por (Hofman *et al.*, 1993) quando trabalharam com a mesma cultura.

Entre fertilizantes orgânicos não houve diferenças para qualquer data de amostragem (quadro 11). Estes resultados sugerem que, pelo processo de mineralização/imobilização, terão sido disponibilizadas quantidades equivalentes de azoto a partir dos fertilizantes utilizados.

A acumulação de matéria seca aumentou até 92 DAP nas modalidades fertilizadas com ureia. Na testemunha, os valores de matéria seca decresceram a partir de 64 DAP (fig. 9). Coelho (1992) refere que a testemunha iniciou a senescência mais cedo que as modalidades fertilizadas, registando-se a partir de 62 DAP uma redução no número de

folhas verdes, enquanto nas modalidades fertilizadas estas continuavam a aumentar. A senescência precoce é sintoma de deficiência de azoto (Watson, 1963; Burton, 1966; Allen e Scott, 1980; Martins, 1990; Harris, 1992) e resulta, na batateira, da competição interna entre os tubérculos e a parte aérea, tornando-se, os tubérculos, os receptores dominantes para os fotoassimilados após 14 dias do início da tuberização (Martins, 1990).

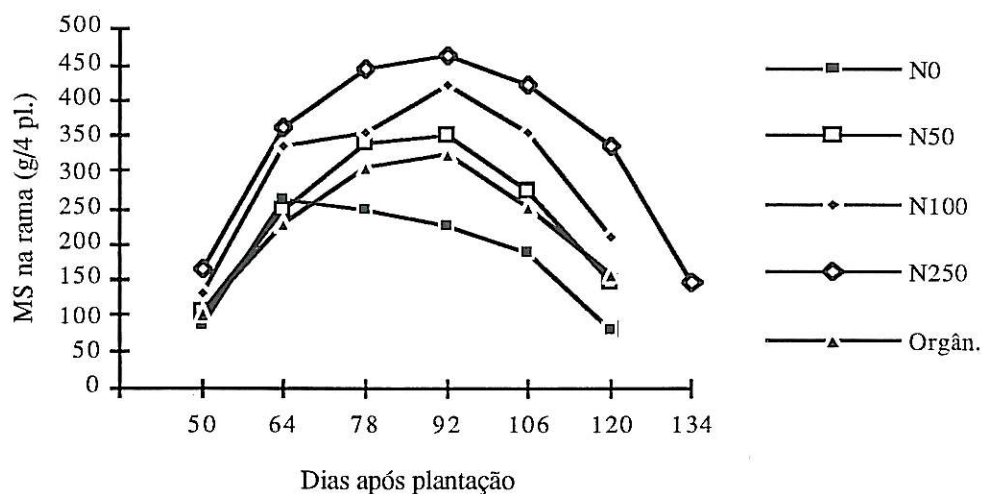


Fig. 9 - Evolução da matéria seca da rama ao longo da estação de crescimento. Orgân., representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados uma vez que não há diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre eles, em qualquer data

Os fertilizantes orgânicos mostraram um comportamento na acumulação de matéria seca mais próximo da modalidade N50 que da modalidade N100 (onde foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto total na forma de ureia). Este resultado sugere que o azoto aplicado na forma orgânica terá estado menos disponível para as plantas que o azoto aplicado na forma de ureia, durante a estação de crescimento, tal como foi referido em 5.1.

A duração da estação efectiva de crescimento variou em função do azoto aplicado como fertilizante e originou a necessidade de se efectuar uma sétima colheita (em 134 DAP) nas modalidades onde se aplicou mais azoto (N150, N200 e N250). Em 120 DAP, as modalidades onde foram aplicadas até 100 kg N/ha, na forma mineral ou orgânica, apresentavam-se totalmente senescentes, enquanto nas restantes modalidades grande parte das folhas ainda se mantinham verdes e, supostamente, a

formação do rendimento em tubérculos não tinha ainda terminado, facto que, aliás, se veio confirmar. O efeito no alongamento do ciclo vegetativo provocado por quantidades excessivas de azoto é, por demais, conhecido e referido por diversos autores (Watson, 1963; Burton, 1966; Allen e Scott, 1980; Martins, 1990; Harris, 1992).

Todos os resultados obtidos sobre a evolução da matéria seca na rama estão em consonância com os efeitos conhecidos do azoto no desenvolvimento das plantas e, em particular, com a evolução da matéria seca na parte aérea da batateira.

5.2.2 - Evolução da matéria seca nos tubérculos

O desenvolvimento da batateira é caracterizado pela marcada competição que existe entre a parte aérea e os órgãos de reserva. Quantidades elevadas de azoto disponíveis reduzem a repartição de matéria seca para os tubérculos durante as primeiras fases do seu desenvolvimento. No entanto, plantas bem fertilizadas continuam a translocar fotoassimilados durante mais tempo, devido ao alongamento do ciclo vegetativo.

Através da análise de variância aos resultados da matéria seca nos tubérculos (quadro 12) verificou-se a não existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$), entre tratamentos, até próximo do fim do ciclo (106 DAP). Excepcionalmente, em 50 DAP, a matéria seca acumulada nos tubérculos na modalidade N200 foi significativamente superior aos restantes tratamentos. A justificação deste resultado prende-se com a reduzida quantidade de matéria seca acumulada nesta fase, revelando-se muito sensível, do ponto de vista estatístico, ao aparecimento nas amostras de um ou outro tubérculo de maiores dimensões, não tendo, quanto a nós, qualquer significado biológico.

A redução na acumulação de matéria seca nos tubérculos nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura é referido por diversos autores (Moorby e Milthorpe, 1978; Marschner, 1986; Martins, 1990; Harris, 1992). Os resultados por nós obtidos sugerem que as quantidades de azoto aplicadas (mesmo em N250) não terão sido suficientes para provocarem uma diminuição acentuada na acumulação de matéria seca nas fases iniciais de desenvolvimento dos tubérculos, uma vez que não encontramos diferenças entre tratamentos. Coelho (1992) também não registou diferenças entre tratamentos, mesmo quando a quantidade de azoto aplicada variou entre 0 e 400 kg/ha.

Quadro 12 - Evolução da matéria seca nos tubérculos ao longo da estação de crescimento (g/4 plantas)

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | | colheita* |
|-----------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|------------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134 | |
| 0 | 1,8 b | 137,1 a | 167,8 a | 420,6 a | 681,4 a | 553,5 e | | 553,5 d |
| 50 | 1,2 b | 78,5 a | 244,1 a | 590,5 a | 590,6 a | 595,8 de | | 595,8 bcd |
| 100 | 8,7 b | 83,4 a | 195,5 a | 350,8 a | 640,9 a | 778,5 a | | 778,5 a |
| 150 | 2,5 b | 81,7 a | 147,3 a | 393,8 a | 526,7 a | 570,4 de | 670,0 a | 670,0 abcd |
| 200 | 19,3 a | 107,6 a | 200,1 a | 375,7 a | 474,5 a | 609,8 cde | 704,9 a | 704,9 abc |
| 250 | 2,3 b | 76,5 a | 224,6 a | 346,7 a | 444,9 a | 659,0 bcd | 743,1 a | 743,1 ab |
| 100 (BO) | 7,2 b | 84,3 a | 262,0 a | 492,2 a | 615,6 a | 733,4 ab | | 733,4 ab |
| 100 (BA) | 2,5 b | 77,7 a | 200,0 a | 503,9 a | 549,0 a | 703,4 abc | | 703,4 abc |
| 100 (AG) | 0,1 b | 56,4 a | 239,1 a | 462,5 a | 623,5 a | 737,6 ab | | 737,6 ab |
| 100 (FE) | 2,4 b | 55,7 a | 207,3 a | 538,1 a | 621,6 a | 640,4 bcde | | 640,4 bcd |

* - Inclui as 3 amostras da 134 DAP e as restantes amostras da 120 DAP

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Diferenças entre tratamentos surgiram, apenas, em 120 DAP. As modalidades onde foram aplicadas quantidades moderadas de azoto (N100 e orgânicos) tinham acumulado, nesta fase, maior quantidade de matéria seca nos tubérculos. No entanto, os valores mais baixos na testemunha e nas modalidades onde foram aplicadas as maiores quantidades de azoto têm, quanto a nós, justificação diferente. Assim, na testemunha, a acumulação de matéria seca terá cessado próximo de 106 DAP (fig. 10), devido a uma senescência mais rápida das plantas. A acumulação de reservas nas modalidades N100 e orgânicos, a partir de 106 DAP, justificam as diferenças encontradas em 120 DAP. Por outro lado, a senescência completa das modalidades N100 e orgânicos ocorreu próximo de 120 DAP, tendo as taxas de acumulação nesta fase sido superiores aos tratamentos onde se aplicaram doses elevadas de azoto, que se mantiveram verdes durante mais tempo. Entre 120 e 134 DAP, as modalidades onde foram aplicadas as maiores quantidades de azoto (N150, N200 e N250) acumularam ainda uma quantidade de reservas que lhe permitiu anular as diferenças que tinham sido encontradas em 120 DAP. Coelho (1992), embora não tenha encontrado diferenças significativas entre tratamentos, registou taxas de acumulação de matéria seca nos tubérculos crescentes com os níveis de azoto aplicado, à medida que a estação de crescimento se aproximava do fim. Estes resultados sugerem que a translocação de matéria seca para os tubérculos se manteve durante mais tempo nas modalidades onde foram aplicadas doses mais elevadas de azoto, e que estas só

exercem o seu efeito positivo no final do ciclo, tal como é sugerido por Moorby e Milthorpe (1978), Martins (1990), Morena *et al.* (1990) e Harris (1992).

Na colheita, a matéria seca acumulada nos tubérculos atingiu o valor máximo na modalidade N100, não sendo esse valor, no entanto, significativamente diferente das modalidades N150, N200, N250 e orgânicos (com excepção para o fertor). Entre fertilizantes orgânicos não se registaram diferenças significativas. Os valores de matéria seca nos tubérculos variaram entre 138,4 e 194,6 g/planta nas modalidades testemunha e N100, respectivamente. Em ensaios, relativamente recentes, em Portugal, Martins (1990) registou valores nas cv. Désirée e Kennebec, em dois anos de ensaio, a variar entre 117,1 e 267,0 g/planta e Coelho (1992) encontrou valores desde 101,3 a 123,8 g/planta para aplicações de 0 e 400 kg N/ha, respectivamente.

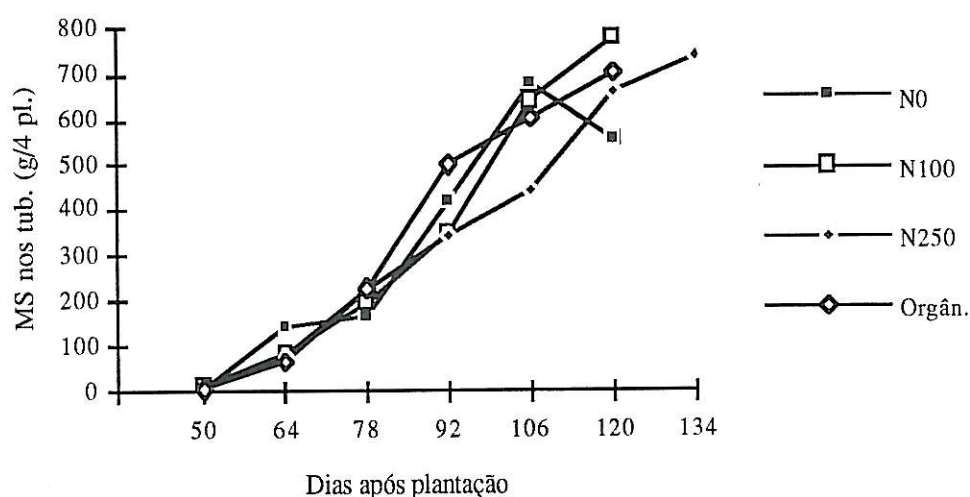


Fig. 10 - Evolução da matéria seca nos tubérculos ao longo da estação de crescimento. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados

5.2.3 - Início da tuberização e número de tubérculos formados

A análise de variância ao número de tubérculos em cada tratamento (quadro 13) revelou que os valores encontrados não são estatisticamente diferentes ($\alpha < 0,05$), sugerindo que a fertilização azotada não terá sido o principal factor responsável pelo início da tuberização e pelo número de tubérculos produzidos.

Embora Sattlemacher e Marschner (1979), cit. por Harris (1992), tenham mostrado que, em soluções nutritivas, o azoto pode atrasar ou impedir mesmo a tuberização, Harris (1992) considera que em condições de campo é difícil detectar este

efeito uma vez que, para além do nível nutricional das raízes, o início da tuberização depende de outros factores como a temperatura e o fotoperíodo.

O início da tuberização (assumido a 50 DAP, uma vez que não dispomos de dados anteriores) não foi afectado pelas doses crescentes de azoto. Também Dyson e Watson (1971), cit. por Coelho (1992), quando aplicaram quantidades de azoto entre 0 e 251 kg/ha, não registaram atrasos no início da tuberização. Coelho (1992) refere, inclusivé, que na modalidade onde aplicou 400 kg N/ha, em 35 DAP a média era de dois tubérculos por planta, enquanto na testemunha e na modalidade onde aplicou 200 kg N/ha ainda não havia indícios de tuberização. Pelo contrário, Ifenkwe (1975), cit. por Allen e Scott (1980) e Moorby e Milthorpe (1978) atribuem aos excessos de azoto atrasos no início da tuberização.

Martins (1990) refere que o início da tuberização ocorre 5 a 7 semanas após plantação. Os resultados por nós obtidos sugerem que a tuberização teve início pouco antes de 50 DAP (primeira colheita). Nesta data, o número médio de tubérculos ultrapassava o valor de 6 tubérculos em 4 plantas, o que corresponde a, aproximadamente, 1,5 tub./planta. Nas condições de Vila Real, Martins (1990) verificou que o início da tuberização, nas cv. Désirée e Kennebec, ocorreu em 42 DAP. Coelho (1992) registou o início da formação de tubérculos entre 35 e 49 DAP, dependendo da quantidade de azoto aplicado, na cv. Spunta.

Quadro 13 - Número de tubérculos menores que 10 mm (NT<10), maiores que 10 mm (NT>10) e número total de tubérculos (NTT) na primeira e segunda amostragens e NTT na colheita (tub./4 plantas)

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|
| | 50 | | | 64 | | | colheita |
| | NT<10 | NT>10 | NTT | NT<10 | NT>10 | NTT | NTT |
| 0 | 1,7 a | 2,3 a | 4,0 a | 2,0 a | 15,7 a | 17,7 a | 19,7 a |
| 50 | 1,7 a | 2,0 a | 3,7 a | 0,7 a | 12,3 a | 13,0 a | 19,3 a |
| 100 | 5,3 a | 5,0 a | 10,3 a | 3,0 a | 14,7 a | 17,7 a | 23,0 a |
| 150 | 1,7 a | 2,3 a | 4,0 a | 3,0 a | 16,3 a | 19,3 a | 19,7 a |
| 200 | 1,3 a | 6,3 a | 7,7 a | 5,3 a | 11,3 a | 16,7 a | 21,0 a |
| 250 | 3,3 a | 3,0 a | 6,3 a | 0,3 a | 10,3 a | 10,7 a | 24,0 a |
| 100 (BO) | 3,7 a | 4,7 a | 8,3 a | 3,7 a | 13,0 a | 16,7 a | 20,3 a |
| 100 (BA) | 1,7 a | 2,7 a | 4,3 a | 5,0 a | 18,0 a | 23,0 a | 19,3 a |
| 100 (AG) | 2,3 a | 0,0 a | 2,3 a | 5,0 a | 12,3 a | 17,3 a | 26,3 a |
| 100 (FE) | 5,7 a | 6,3 a | 12,0 a | 3,7 a | 12,3 a | 16,0 a | 28,7 a |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

O número de tubérculos formados não se mostrou estatisticamente diferente entre tratamentos, desde a primeira data de amostragem até à maturação. Também Westermann e Kleinkopf (1985) referem que os aumentos de produção registados se deveram ao aumento do tamanho dos tubérculos e não ao seu número. Morena *et al.* (1990) verificaram que aplicações crescentes de azoto em fundo não reduziram o número de tubérculos formados, enquanto que, em cobertura, as doses elevadas de azoto originaram uma diminuição no número de tubérculos na colheita.

Moorby e Milthorpe (1978) referem que os tubérculos que atingem calibre comerciável se formam, em grande parte, num período de duas semanas após o início da tuberização, embora novos tubérculos continuem a ser formados e reabsorvidos, ao longo da estação de crescimento. Os resultados por nós obtidos suportam esta observação. Assim, em 64 DAP, o número total de tubérculos já se aproximava bastante do seu valor na colheita e, ao longo do ciclo da cultura e até próximo da colheita (106 DAP), encontramos sempre tubérculos de diâmetro menor que 10 mm (anexo 3), sugerindo que estão continuamente a ser formados e reabsorvidos, uma vez que o número total de tubérculos pouco variou. Sobre o número de tubérculos menores que 10 mm, Martins (1990) registou resultados semelhantes, quando refere um acréscimo no número destes tubérculos no início da tuberização, decrescendo gradualmente até à maturação.

5.2.4 - Rendimento em tubérculos

Através da análise de variância aos resultados da produção por calibres (anexo 7) verificou-se que, quando tratados isoladamente, em nenhum calibre se encontraram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$). Apenas quando a análise de variância incluiu a soma do calibre 30-60 mm e calibre maior que 60 mm (produção comerciável) se encontraram diferenças entre tratamentos (quadro 14).

A máxima produção foi obtida com 250 kg N/ha, mas esta modalidade foi, apenas, estatisticamente diferente da testemunha e da modalidade N50. A resposta do rendimento em tubérculos à aplicação de azoto sugere, assim, a existência de um ponto, a partir de 100 kg N/ha, onde não se registaram diferenças com as doses crescentes do nutriente. Comportamento análogo na resposta da cultura à fertilização azotada é referido por O'Beirne e Cassidy (1990), Harris (1992) e MacKerron *et al.* (1993).

Ao aumento da produção de matéria seca na rama, com as doses crescentes de azoto, não correspondeu um aumento na acumulação de reservas nos tubérculos, a partir dos 100 kg N/ha. Três razões podem ser apresentadas para, isoladamente ou em conjunto, justificar estes resultados: (i) diminuição da eficiência interna de utilização do nutriente com o aumento dos teores de azoto na planta, como será referido em 5.3.8.3; (ii) a taxa de assimilação líquida ter diminuído nas modalidades onde foram aplicadas quantidades mais elevadas de azoto, devido ao sombreamento mútuo das plantas (Coelho, 1992); e (iii) a produção potencial, nas modalidades excessivamente fertilizadas, ter sido comprometida por uma estação de crescimento encurtada pelos atrasos verificados na data de plantação. Como o azoto prolonga a translocação de assimilados por retardar a senescência plantas e as plantações tardias aumentam o número de dias entre a plantação e a maturação (Martins, 1990), a migração de reservas poderá ter sido afectada por uma redução forçada na duração da área foliar, provocada pela diminuição da temperatura e radiação no final do ciclo (Outubro). Este terceiro aspecto terá sido, quanto a nós, o que exerceu maior influência nos resultados uma vez que não registamos diferenças significativas nos tubérculos de maior calibre (> 60 mm) e, como é sabido, a batateira responde às doses elevadas de azoto sobretudo com aumentos de produção nos maiores calibres, tal como observaram Ivany *et al.* (1986), cit. por Martins (1990), Castro (1988) e Goffart e Guiot (1993). Por outro lado, Timm *et al.* (1983), cit. por Martins (1990), referem que a redução do ciclo origina um decréscimo nos tubérculos de grande calibre.

Quadro 14 - Peso fresco (g/4 plantas) nos calibres menor que 30 mm e produção comerciável e valores percentuais da matéria seca nos tubérculos

| N aplicado (kg/ha) | Calibre < 30 mm | Produção comerciável | MS nos tub. (%) |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| 0 | 10,5 a | 2067,2 c | 26,8 |
| 50 | 15,3 a | 2183,1 bc | 27,3 |
| 100 | 13,2 a | 2989,5 a | 26,0 |
| 150 | 14,4 a | 2794,3 a | 24,0 |
| 200 | 9,8 a | 2681,2 ab | 26,3 |
| 250 | 13,1 a | 2994,3 a | 24,8 |
| 100 (BO) | 11,3 a | 2548,0 abc | 28,8 |
| 100 (BA) | 12,0 a | 2476,4 abc | 28,4 |
| 100 (AG) | 1,3 a | 2641,4 ab | 27,9 |
| 100 (FE) | 6,6 a | 2490,8 abc | 25,7 |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

É possível admitir uma redução na percentagem de matéria seca nos tubérculos quando aumenta a nutrição azotada. A percentagem de matéria seca nos tubérculos tomou o valor de 26,7 % na modalidade testemunha e decresceu para 24,8 % na modalidade N250. Os fertilizantes orgânicos deram origem a tubérculos com percentagem de matéria seca elevada, com um valor médio 27,7 %, refletindo as baixas disponibilidades de azoto no solo. A redução na percentagem de matéria com a adubação azotada é referida por O'Beirne e Cassidy (1990) e Harris (1992).

Entre fertilizantes orgânicos não se registaram diferenças significativas no rendimento em tubérculos.

Pretendeu-se relacionar o rendimento em tubérculos com o azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia (fig. 11). O melhor ajustamento conseguido traduziu-se por uma equação de segundo grau, do tipo $y = a + bx + cx^2$, tal como foi sugerido por Boyd (1961) e Holliday (1973), cit. por Harris (1992). Este modelo de ajustamento tem sido muito utilizado e, segundo Cooke (1982), dado bons resultados quando, para além do factor em estudo, existe um segundo factor a condicionar a produção. Este papel, quanto a nós, pode ser atribuído à duração da estação de crescimento. Outros modelos têm sido propostos para explicar a resposta da planta à fertilização azotada. Neeteson e Zwetsloot (1989), cit. por Harris (1992), utilizando resultados de 98 ensaios de fertilização argumentam que os melhores ajustamentos foram conseguidos com um modelo exponencial na forma $y = a + b e^{cN}$, onde: y representa o rendimento em tubérculos; N o azoto aplicado como fertilizante; e a , b e c coeficientes estimados pela análise não linear. Contudo, este modelo não originou resultados satisfatórios quando ajustado aos nossos valores.

A figura 11 pretende mostrar, ainda, qual a quantidade de azoto na forma de ureia a que correspondeu um rendimento em tubérculos equivalente aos fertilizantes orgânicos. Através da sua observação verificamos que os fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento que corresponderia à aplicação de aproximadamente 60 a 100 unidades de azoto na forma de ureia. De igual modo, pelo quadro 14 podemos verificar que os fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento estatisticamente igual à modalidade onde foi aplicada a mesma quantidade de azoto na forma de ureia (N100) e também não diferiram significativamente da modalidade N50, revelando, os fertilizantes orgânicos, um comportamento intermédio entre estas modalidades.

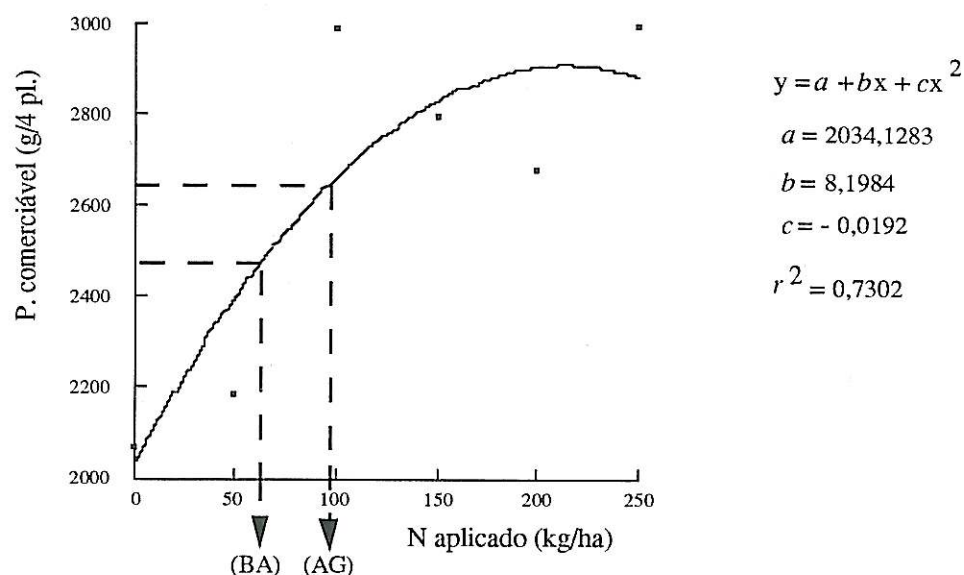


Fig. 11 - Resposta da planta (produção comerciável) em função do azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos. Os fertilizantes orgânicos estrume de bovino (BO) e fector (FE) (não representados na figura) tiveram comportamento intermédio entre beiradubo (BA) e agri (AG).

A produção comerciável variou entre 2067,2 g/4 plantas (22,7 t/ha) na modalidade testemunha e 2994,3 g/4 plantas (32,9 t/ha) na modalidade N250. Apesar dos atrasos verificados na data de plantação, os valores por nós registados não diferiram muito de outros resultados obtidos em ensaios no nosso País. Castro (1988) obteve, em Vila Real, produções de 19 e 22,5 t/ha com 50 e 125 kg N/ha, respectivamente. Em Lisboa (Tapada da Ajuda), Coelho (1992) registou valores entre 21,3 e 25,5 t/ha e não encontrou diferenças significativas com a fertilização azotada, trabalhando com a cv. Spunta. Na região do Oeste, Lopes (1989) encontrou variações entre 39,5 e 49,8 t/ha em função da densidade de plantação, também com a cv. Spunta. Martins (1990) registou, em Vila Real, valores a variar entre 36 e 37 t/ha para a cv. Kennebec e valores entre 45,5 e 50 t/ha para a cv. Désirée, quando fez variar a data de plantação.

Entre os fertilizantes orgânicos e as modalidades fertilizadas com ureia não se registaram diferenças significativas no rendimento em tubérculos (quadro 14). No entanto, ocorreram diferenças significativas na acumulação de matéria seca na rama (quadro 11). Estes resultados permitem sugerir, desde já, que outros efeitos benéficos, para além do azoto disponível, poderão ter contribuído para melhorar a resposta da planta na acumulação de reservas nos tubérculos pela aplicação de fertilizantes orgânicos.

5.3 - AZOTO NA PLANTA

5.3.1 - Teores em azoto nas folhas

A análise de variância aos teores em azoto nas folhas (quadro 15) revelou a ocorrência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$), entre as modalidades ensaiadas, a partir de 64 DAP. Em 50 DAP não se registaram diferenças entre tratamentos, sugerindo que a falta de azoto, nesta data, ainda não se tinha feito sentir, mesmo na testemunha, tal como foi referido para a produção de matéria seca [5.2.1]. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas, com excepção para a amostragem em 78 DAP, onde as modalidades BA e AG apresentaram valores significativamente superiores às modalidades BO e FE. Enquanto FE apresenta teores em azoto inferiores e razão C/N superior a BA e AG, o mesmo não acontece com BO, de forma que não encontramos justificação clara para este resultado, com base na sua composição [4.5]. Como as diferenças ocorreram apenas numa data de amostragem decidimos, para já, justificar este resultado apenas com base na variabilidade experimental.

Quadro 15 - Valores médios dos teores em azoto nas folhas (% N na MS), ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|--------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134 |
| 0 | 4,36 a | 3,74 e | 3,92 c | 3,10 de | 2,26 d | 2,15 b | |
| 50 | 4,65 a | 4,14 cde | 3,89 c | 3,69 bcd | 2,71 cd | 1,38 c | |
| 100 | 4,48 a | 4,32 bc | 4,24 bc | 3,71 bc | 3,03 bc | 2,35 ab | |
| 150 | 5,00 a | 4,67 ab | 4,74 a | 3,96 ab | 3,52 ab | 3,03 a | 2,69 a |
| 200 | 4,98 a | 4,68 ab | 4,28 bc | 3,92 ab | 3,57 a | 3,01 a | 2,59 a |
| 250 | 4,61 a | 4,77 a | 4,44 ab | 4,44 a | 3,64 a | 3,00 a | 2,01 a |
| 100 (BO) | 4,27 a | 3,80 de | 3,45 d | 2,84 e | 2,49 d | 2,14 b | |
| 100 (BA) | 4,34 a | 4,05 cde | 3,96 c | 2,83 e | 2,63 cd | 2,41 ab | |
| 100 (AG) | 4,78 a | 4,21 cd | 4,10 bc | 3,19 cde | 2,63 cd | 2,25 b | |
| 100 (FE) | 4,52 a | 4,05 cde | 3,48 d | 2,63 e | 2,28 d | 2,28 b | |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Os fertilizantes orgânicos manifestaram um comportamento mais próximo das modalidades testemunha e N50, que da modalidade N100, onde foi aplicada a mesma

quantidade de azoto na forma de ureia (fig. 12). Estes resultados sugerem que a concentração em azoto nas folhas refletiu as disponibilidades de azoto mineral no solo.

A concentração máxima em azoto nas folhas ocorreu em 50 DAP e foi registada nas modalidades onde foram aplicadas quantidades mais elevadas de azoto, atingindo valores próximos de 5 %. Ao longo da estação de crescimento, a concentração em azoto nas folhas diminuiu em todas as modalidades ensaiadas, desde a primeira data de amostragem (fig. 12). A concentração mínima em azoto nas folhas foi da ordem dos 2 % e ocorreu na última colheita, quando as plantas se encontravam totalmente senescentes.

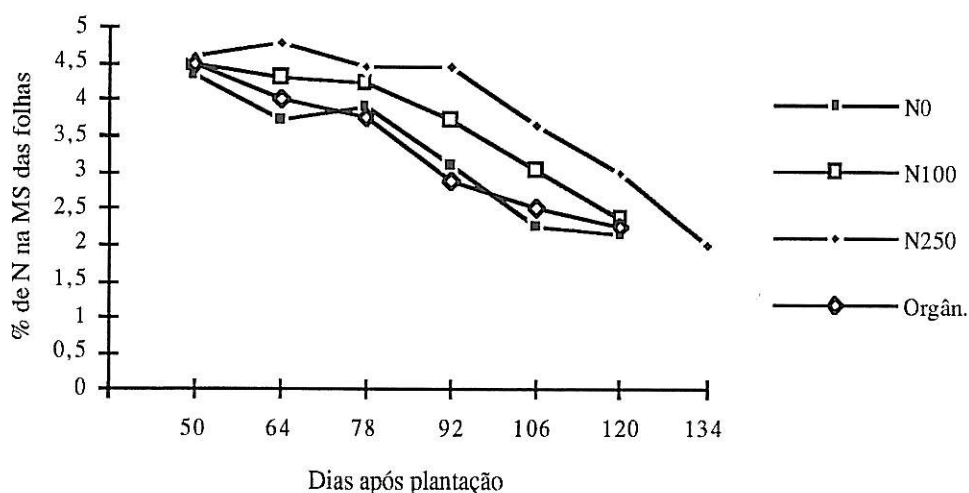


Fig. 12 - Evolução dos teores em azoto nas folhas. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados.

Ifenkwe e Allen (1983), cit. por Coelho (1992), registaram teores em azoto nas folhas que variaram desde 6 a 3 % ao longo da estação de crescimento. Coelho (1992), quando aplicou até 400 kg N/ha, verificou que os teores em azoto nas folhas decresceram ao longo do ciclo da cultura e variaram entre 6 e 2 %.

Holm e Nyland (1978), cit. por Coelho (1992), referem que os teores máximos em azoto na rama ocorrem no momento da tuberização. Por outro lado, Harris (1992) refere que a máxima concentração em azoto nas folhas ocorre no início da estação de crescimento, e corresponde a aproximadamente 6 % na matéria seca.

Os resultados por nós obtidos não esclarecem se a concentração máxima em azoto nas folhas ocorreu no início do ciclo ou no momento da tuberização, uma vez que a primeira amostragem foi feita no início tuberização. Por outro lado, os valores

máximos por nós registados são inferiores aos referidos anteriormente. Ficamos sem saber se será uma característica da cultivar ou se, na data de realização da primeira colheita, a concentração em azoto nas folhas se encontrava já na fase decrescente, não tendo sido registados os seus valores máximos.

O decréscimo nos teores em azoto nas folhas ao longo da estação de crescimento pode ser atribuído, inicialmente, a fenómenos de diluição, provocados por uma rápida acumulação de hidratos de carbono (Olson e Kurtz, 1982) e, mais tarde, ao processo de senescência das plantas durante o qual parte do azoto terá migrado para os tubérculos e parte terá sido perdido pela canópia, volatilizado na forma de amidas e/ou NH_3 .

5.3.2 - Teores em azoto nos caules

A análise de variância aos teores em azoto nos caules (quadro 16) revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos, desde a primeira data de amostragem, mostrando-se, este componente, ainda mais sensível que as folhas à variação de azoto mineral no solo. Por outro lado, as diferenças entre tratamentos acentuaram-se ao longo da estação de crescimento. Este facto sugere que o início da senescência ocorreu mais cedo, devido à depleção do azoto mineral no solo, nas modalidades onde foram aplicadas menores quantidades de azoto, como, aliás, seria de esperar.

Quadro 16 - Valores médios dos teores em azoto nos caules (% N na MS) ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134 |
| 0 | 2,77 cde | 1,83 e | 1,76 bc | 1,55 cd | 0,99 d | 0,94 b | |
| 50 | 3,06 abcd | 2,08 de | 1,66 cd | 1,57 cd | 1,23 cd | 1,07 b | |
| 100 | 3,18 ab | 2,42 bcd | 2,13 ab | 1,92 bc | 1,40 bc | 1,09 b | |
| 150 | 3,13 abc | 2,62 abc | 2,44 a | 1,96 bc | 1,78 a | 1,56 a | 1,51 a |
| 200 | 2,91 bcde | 2,88 ab | 2,14 ab | 2,11 b | 1,67 ab | 1,79 a | 1,42 a |
| 250 | 3,36 a | 2,98 a | 2,28 a | 2,57 a | 1,84 a | 1,67 a | 1,48 a |
| 100 (BO) | 3,10 abc | 1,94 de | 1,26 d | 1,43 de | 1,08 d | 0,93 b | |
| 100 (BA) | 2,98 abcde | 2,04 de | 1,66 cd | 1,16 de | 1,03 d | 1,13 b | |
| 100 (AG) | 2,69 de | 2,31 cde | 1,78 bc | 1,46 de | 1,10 d | 1,03 b | |
| 100 (FE) | 2,65 e | 2,08 de | 1,47 cd | 1,05 e | 1,04 d | 1,13 b | |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças estatísticas claras entre tratamentos. Apenas em 50 DAP a modalidade BO foi estatisticamente superior às modalidades AG e Fe e em 78 DAP a modalidade AG foi estatisticamente superior a BA. Como não encontramos justificações plausíveis para estes resultados, com base na sua composição, decidimos não lhe atribuir significado experimental.

Os teores em azoto nos caules decresceram ao longo da estação de crescimento, em todas as modalidades ensaiadas (fig. 13). O teor máximo surgiu na modalidade N250 na primeira data de amostragem, e foi de 3,36 %. Os valores mínimos foram registados na última amostragem e chegaram a ser ligeiramente inferiores a 1 %, concretamente nas modalidades testemunha e BO.

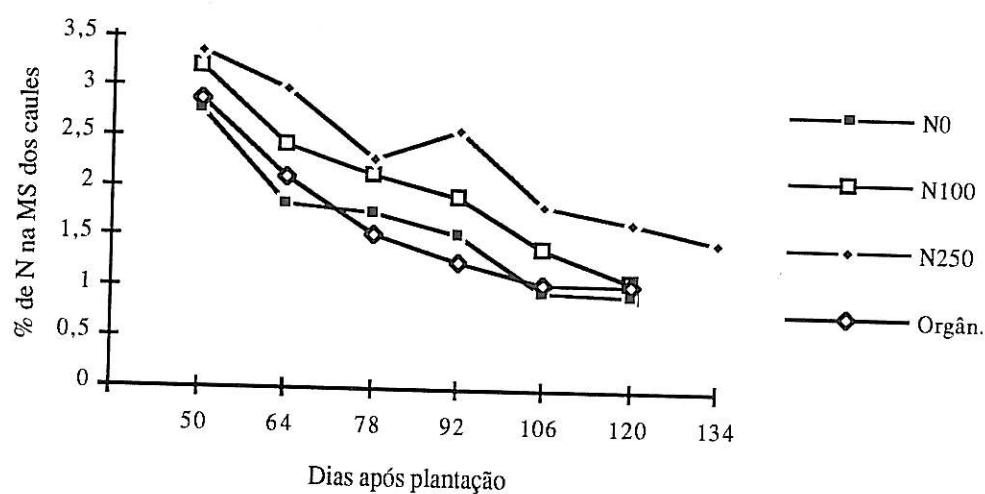


Fig. 13 - Evolução dos teores em azoto nos caules. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos

Ifenkwe e Allen (1983), cit. por Coelho (1992), registaram valores que decresceram desde 5 a 1%, durante a estação de crescimento. Os valores por nós obtidos indicaram uma concentração máxima em azoto nos caules inferior a estes autores. Uma vez mais, ficamos sem saber se os resultados são característicos da cultivar que utilizámos ou se, na data de realização da primeira colheita, os valores se encontravam já na fase decrescente.

5.3.3 - Teores em azoto nos tubérculos

A análise de variância aos teores em azoto nos tubérculos (quadro 17) indicaram a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) a partir de 92 DAP. Os teores mais

elevados surgiram nas modalidades onde foram aplicadas maiores quantidades de azoto.

Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas até 106 DAP. Em 120 DAP, registamos na modalidade FE um teor em azoto nos tubérculos estatisticamente inferior a BA e AG. Na colheita, os valores da modalidade FE foram estatisticamente inferiores à modalidade BA. Como FE apresentava menores teores em azoto e maior razão C/N que os restantes fertilizantes orgânicos, é possível que este resultado seja o reflexo de uma menor disponibilidade de azoto no solo que, pelo facto das diferenças para os restantes fertilizantes serem pequenas e a variabilidade experimental elevada, não tenham sido detectadas pelas determinações ao azoto mineral no solo, mas se tenha refletido no conteúdo em azoto nos tubérculos no final do ciclo.

Uma vez mais, os fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento próximo da testemunha e da modalidade N50, sugerindo que os teores em azoto nos tubérculos também refletiram dos níveis de azoto mineral no solo, tal como tinha sido sugerido para a parte aérea.

Quadro 17 - Valores médios dos teores em azoto nos tubérculos (% N na MS) ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|-----------|---------|----------|------------|
| | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | colheita * |
| 0 | 1,28 a | 1,31 a | 1,26 bcde | 1,16 c | 1,38 de | 1,38 de |
| 50 | 1,46 a | 1,20 a | 1,22 cde | 1,28 c | 1,82 abc | 1,82 abc |
| 100 | 1,53 a | 1,38 a | 1,54 ab | 1,29 c | 1,70 bc | 1,70 bc |
| 150 | 1,71 a | 1,35 a | 1,46 bcd | 1,73 a | 1,93 ab | 1,92 ab |
| 200 | 1,60 a | 1,42 a | 1,49 abc | 1,58 ab | 2,09 a | 1,81 abc |
| 250 | 1,69 a | 1,42 a | 1,77 a | 1,75 a | 1,73 bc | 2,10 a |
| 100 (BO) | 1,35 a | 1,16 a | 1,24 cde | 1,22 c | 1,36 de | 1,36 de |
| 100 (BA) | 1,54 a | 1,31 a | 1,19 de | 1,35 c | 1,63 bcd | 1,63 bcd |
| 100 (AG) | 1,58 a | 1,23 a | 1,29 bcde | 1,32 c | 1,60 cd | 1,60 cde |
| 100 (FE) | 1,62 a | 1,14 a | 1,06 e | 1,37 bc | 1,29 e | 1,29 e |

* - Inclui as 3 amostras da 134 DAP e as restantes amostras da 120 DAP

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Saffigna e Keeney (1977) referem que a concentração em azoto nos tubérculos na cultivar "Russet Burbank" é relativamente constante e independente da produção e fertilizante aplicado. Estes autores não encontraram diferenças significativas entre

várias modalidades de azoto ensaiadas, estando os teores em azoto compreendidos entre 1,3 e 1,5 %. Também Liegel e Walsh (1976) não encontraram diferenças entre tratamentos e referem concentrações em azoto nos tubérculos compreendidas entre 1,2 e 1,5 %. No ensaio por nós efectuado, o teor em azoto nos tubérculos oscilou entre 1,2 e 2,1 %, refletindo uma amplitude de variação superior ao que é referido por estes autores. Também os resultados por nós encontrados não foram independentes do azoto aplicado, uma vez que encontramos diferenças entre tratamentos. A utilização de cultivares diferentes poderá ter dado origem a esta discrepância de resultados. Coelho (1992) encontrou diferenças entre tratamentos quando aplicou 0, 200 e 400 kg N/ha. A modalidade testemunha foi estatisticamente inferior à modalidade N2, onde foram aplicados 400 kg/ha. Entre a modalidade testemunha e a modalidade N1 (200 kg/ha) e entre a modalidade N1 e a modalidade N2 não encontrou diferenças significativas. A concentração em azoto registada por Coelho (1992) variou entre 1 e 2 %. Estes resultados são, de alguma forma, os que mais se assemelham aqueles por nós obtidos. No entanto, a variação no teor em azoto nos tubérculos respondeu, no nosso ensaio, de forma mais sensível à fertilização azotada, uma vez que surgem diferenças entre aplicações de azoto quantitativamente mais próximas, sobretudo na data de colheita.

Em 50 DAP não determinamos a concentração em azoto nos tubérculos por tratamento uma vez que, nesta data, não se obteve material vegetal suficiente, pois as plantas estavam apenas no início da tuberização. Determinamos, mesmo assim, os teores médios em azoto nos tubérculos, misturando o material obtido em todas as modalidades. O teor em azoto na amostra obtida da forma referida foi de 2,1 %. Como não ocorreram diferenças significativas até 93 DAP, podemos admitir que o valor 2,1 representa, de forma adequada, os resultados de todas as modalidades e foi incluído na figura 14.

Moorby (1968), cit. por Martins (1990) refere que a concentração em azoto nos tubérculos decresce no período inicial, fase em que os tubérculos têm um crescimento exponencial, por efeito de diluição. Millard (1986), cit. por Coelho (1992), refere a ocorrência na diminuição dos teores em azoto durante as primeiras quatro semanas após o início da tuberização, mantendo-se depois constantes ao longo do ciclo.

A evolução dos teores em azoto nos tubérculos ao longo da estação de crescimento (fig. 14) sugerem a ocorrência de um ligeiro decréscimo entre 50 e 78 DAP. Após 78 DAP, parece ter havido um ligeiro aumento nos teores em azoto nos tubérculos até final do ciclo mas apenas nas modalidades onde se aplicaram maiores

quantidades de azoto. Nas modalidades testemunha e orgânicos os valores permanecem praticamente constantes até final do ciclo. Estes resultados estão, basicamente, de acordo com a bibliografia citada.

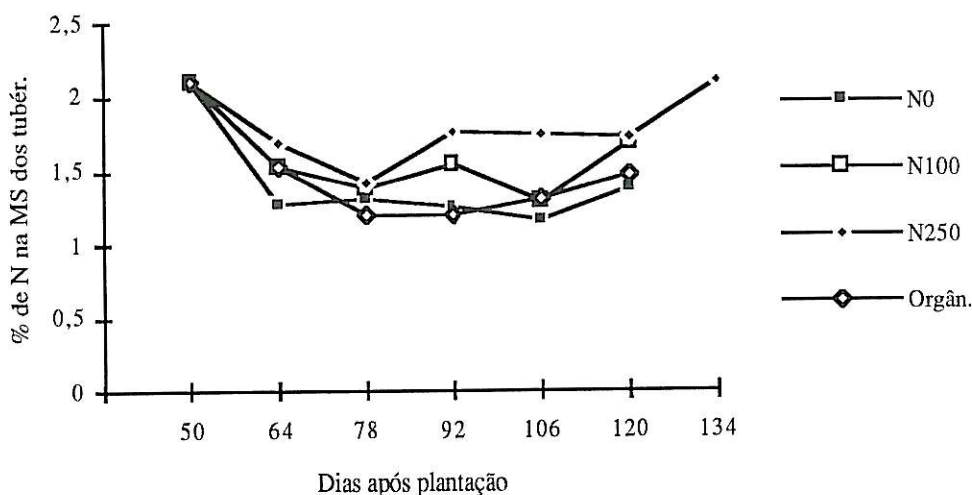


Fig. 14 - Evolução dos teores de azoto nos tubérculos. Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos

O aumento dos teores em azoto nos tubérculos com a fertilização azotada sugere que o azoto em excesso na planta (consumo de luxo) pode também ser acumulado nos tubérculos.

5.3.4 - Azoto total na rama (folhas + caules)

O azoto total nas diferentes partes da planta resulta da quantidade de matéria seca produzida e do seu teor em azoto.

A análise de variância ao azoto total na rama (quadro 18) indicou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) desde a primeira data de amostragem. As modalidades que receberam mais fertilizante na forma de ureia acumularam mais azoto na parte aérea. As diferenças surgem, desde a primeira data de amostragem, devido aos efeitos cumulativos da concentração em azoto e da produção de matéria seca.

Entre fertilizantes orgânicos não foram encontradas diferenças significativas e o seu comportamento apresentou-se, uma vez mais, próximo das modalidades N50 e testemunha.

Quadro 18 - Valores médios do azoto total na rama (folhas + caules) (g/4 plantas), ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------|-----------|----------|----------|---------|--------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | 134 |
| 0 | 3,49 d | 7,67 b | 7,45 ef | 5,30 e | 2,88 d | 0,89 d | |
| 50 | 4,44 cd | 8,02 b | 10,16 cde | 9,33 cd | 5,56 cd | 2,10 cd | |
| 100 | 5,42 abcd | 11,72 a | 11,99 bcd | 12,13 bc | 7,78 bc | 3,01 c | |
| 150 | 6,39 abc | 11,76 a | 14,33 ab | 11,92 bc | 10,33 ab | 5,16 b | 2,00 a |
| 200 | 6,58 ab | 12,67 a | 13,29 abc | 13,16 ab | 12,28 a | 8,49 a | 3,44 a |
| 250 | 7,02 a | 14,30 a | 15,60 a | 16,05 a | 11,67 a | 7,25 ab | 2,59 a |
| 100 (BO) | 4,59 bcd | 7,52 b | 6,7 f | 7,37 de | 4,29 d | 1,87 cd | |
| 100 (BA) | 4,06 d | 7,37 b | 10,21 cde | 6,72 de | 4,17 d | 2,70 cd | |
| 100 (AG) | 3,87 d | 6,83 b | 9,19 def | 7,89 de | 5,04 cd | 2,05 cd | |
| 100 (FE) | 4,25 d | 7,29 b | 8,03 ef | 5,69 e | 3,82 d | 1,98 cd | |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

A acumulação máxima de azoto na rama aumentou com a quantidade de nutriente aplicado na forma de ureia e ocorreu em fases mais avançadas do ciclo nas modalidades onde foram aplicadas maiores quantidades de azoto. Na testemunha, ocorreu em 64 DAP e foi de 7,67 g/4 plantas (84,3 kg/ha). Na modalidade N250, a acumulação máxima de azoto na rama foi de 16,05 g/4 plantas (176,4 kg/ha) e ocorreu em 92 DAP. O azoto revelou-se, assim, como grande modelador da distribuição de fotoassimilados entre a parte aérea e os tubérculos, promovendo um maior desenvolvimento da parte aérea e durante mais tempo.

Saffigna e Keeney (1977) obtiveram valores da azoto na rama de 125 kg/ha quando aplicaram 260 kg N/ha, na forma de nitrato de amónio. Embora estes valores sejam inferiores áqueles por nós registados, para quantidades semelhantes de azoto aplicadas, as quantidades de azoto disponíveis para a planta dependem, não só do azoto aplicado, mas também do azoto disponível no início da estação de crescimento, da mineralização da matéria orgânica, etc., factores que não conhecemos por inteiro.

Quantidades elevadas de azoto na rama podem não significar, contudo, maiores produções, mas sim ineficiente uso (Saffigna e Keeney, 1977). Os resultados por nós obtidos confirmam plenamente esta hipótese. A quantidade máxima de azoto na rama na modalidade fertilizada com fertor (FE) foi, simplesmente, metade da modalidade N250. No entanto, a produção comerciável não foi estatisticamente diferente.

A correlação estabelecida entre o azoto na rama e a produção comerciável revelou

que o azoto na rama apenas explicou 77,85 % da variância encontrada na produção (fig. 15). Os valores dos fertilizantes orgânicos posicionaram-se à esquerda da curva de regressão, facto que sugere uma maior eficiência interna de utilização do azoto com estes produtos relativamente à ureia. O facto da curva evoluir de acordo com a lei dos acréscimos decrescentes sugere que a eficiência interna de utilização do azoto diminuiu quando aumentou a sua concentração na rama e revelou que o azoto se pode acumular nas plantas, constituindo o que frequentemente é referido como consumo de luxo, não contribuindo o azoto em excesso para o aumento da produção. A diminuição da eficiência interna de utilização do azoto em várias culturas, com as doses crescentes de azoto, tem sido registada por diversos autores (Cassman *et al.*, 1993; Dalla Costa e Giovanardi, 1994; Mambelli e Grandi, 1994; Fotyma *et al.*, 1994) Considerações sobre a eficiência de utilização do azoto serão retomadas em 5.3.8.

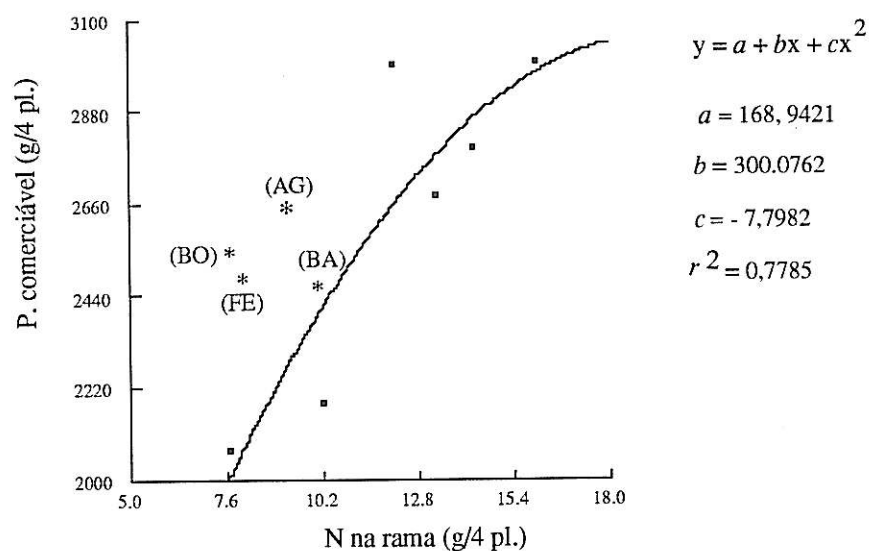


Fig. 15 - Relação entre o azoto na rama e a produção comercializável

Greenwood *et al.* (1985) atribuem grande importância ao azoto absorvido nos estádios mais avançados do ciclo no aumento da produção, considerando ser mais eficiente que o azoto absorvido nas fases iniciais. Esta hipótese poderia ser aplicada ao comportamento dos fertilizantes orgânicos no ensaio, para melhor explicar a eficiência de utilização do azoto. Como os fertilizantes orgânicos libertam o azoto de forma mais lenta que os fertilizantes minerais (Legg e Meisinger, 1982; Tisdale *et al.*, 1985; Santos, 1991) terão disponibilizado menos azoto que a modalidade N100, mas, nas fases finais, o azoto remineralizado terá sido importante na obtenção de produções

razoáveis, mesmo com níveis de azoto na planta baixos. Contudo, a evolução do azoto mineral no solo [5.1] não revelou uma maior disponibilidade de azoto com os fertilizantes orgânicos, relativamente às modalidades fertilizadas com ureia, nas fases finais do ciclo. Resta admitir que outros efeitos benéficos conhecidos dos fertilizantes orgânicos nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, tenham contribuído para o bom comportamento destas modalidades na formação do rendimento em tubérculos.

5.3.5 - Azoto total nos tubérculos

A acumulação máxima de azoto nos tubérculos variou entre 7,46 g/4 plantas (82 kg/ha) na testemunha e 15,61 g/4 plantas (171,5 kg/ha) na modalidade N250.

A análise de variância (quadro 19) revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos próximo do fim do ciclo da cultura (120 DAP), tal como aconteceu com a acumulação de matéria seca [5.2.1]. Na concentração em azoto nos tubérculos, as diferenças surgiram a partir de 92 DAP [5.3.3]. Estes resultados sugerem que a acumulação de matéria seca foi mais decisiva que a concentração em azoto na acumulação máxima do nutriente nos tubérculos.

Quadro 19 - Valores médios do azoto total nos tubérculos (g/4 plantas), ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------|--------|-----------|-------------|
| | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | colheita* |
| 0 | 1,72 a | 2,11 a | 5,21 a | 7,76 a | 7,46 e | 7,46 e |
| 50 | 1,13 a | 2,90 a | 7,10 a | 7,48 a | 10,86 bc | 10,87 bcd |
| 100 | 1,22 a | 2,72 a | 5,37 a | 8,33 a | 13,23 a | 13,23 ab |
| 150 | 1,37 a | 1,97 a | 5,95 a | 9,22 a | 10,28 cd | 12,68 abc a |
| 200 | 1,74 a | 2,84 a | 5,43 a | 7,51 a | 12,69 ab | 12,81 abc a |
| 250 | 1,28 a | 3,09 a | 5,83 a | 7,88 a | 11,42 abc | 15,61 a a |
| 100 (BO) | 1,14 a | 2,96 a | 6,16 a | 7,49 a | 9,96 cd | 9,96 cde |
| 100 (BA) | 1,20 a | 2,59 a | 5,90 a | 7,42 a | 11,37 abc | 11,37 bc |
| 100 (AG) | 0,80 a | 2,88 a | 5,93 a | 8,21 a | 11,79 abc | 11,79 bc |
| 100 (FE) | 0,75 a | 2,31 a | 5,65 a | 8,40 a | 8,26 de | 8,26 e |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Entre fertilizantes orgânicos ocorreram diferenças significativas. Na colheita, o produto comercial fertor apresentava os valores mais baixos de azoto acumulado,

sendo estatisticamente diferente de agri e beiradubo. Admitimos que os menores teores em azoto e a maior razão C/N do fertilizante orgânico fertor justifiquem este resultado, embora não tenham sido registadas diferenças significativas na disponibilidade de azoto mineral no solo.

Nas primeiras fases de crescimento dos tubérculos, se as plantas dispõem de quantidades limitadas de azoto no solo, a migração de reservas para os tubérculos tende a ocorrer em maior proporção. Oparka *et al.* (1987), cit. por Coelho (1992), referem que, aos 80 DAP, plantas deficientes em azoto tinham translocado para os tubérculos cerca do dobro de plantas bem fertilizadas. Assim, embora a quantidade de azoto na parte aérea tenha sido inferior nas modalidades onde foi aplicado menos azoto, as diferenças entre tratamentos terão sido anuladas pela maior proporção de azoto que terá migrado para os tubérculos, nas fases iniciais (fig. 16). Como nas modalidades onde se aplicou mais azoto a migração de reservas se prolongou por mais tempo, as diferenças entre tratamentos surgiram, apenas, quando nos aproximamos do fim do ciclo da cultura.

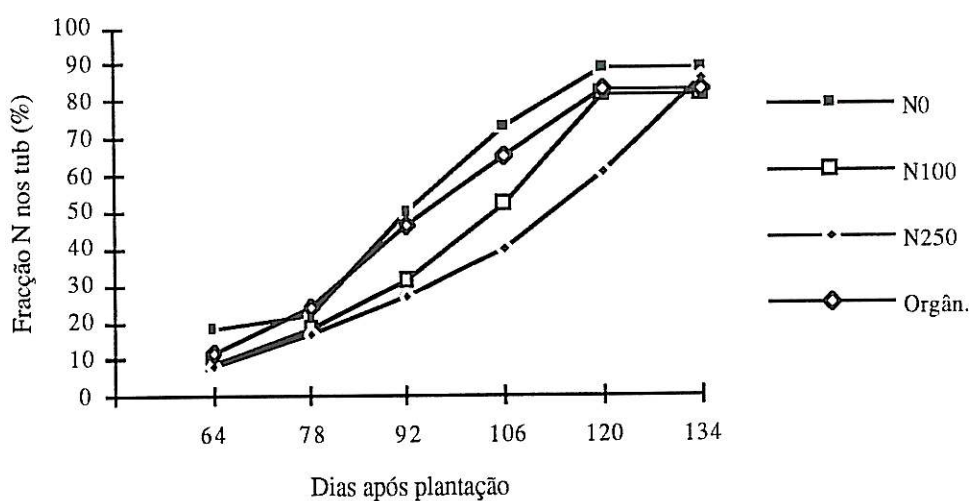


Fig. 16 - Acumulação de azoto nos tubérculos (% sobre o azoto acumulado na totalidade da planta). Orgân. representa os valores médios dos 4 fertilizantes orgânicos ensaiados

Coelho (1992) registou diferenças na acumulação de azoto nos tubérculos apenas entre N0 (0 kg N/ha) e N1 (200 kg N/ha) em 77 DAP. Na colheita, não encontrou diferenças entre tratamentos, apesar do azoto acumulado nos tubérculos ter variado entre 103 kg/ha em N0 e 179 kg/ha em N2 (400 kg N/ha). Liegel e Walsh

(1976) encontraram valores de acumulação de azoto nos tubérculos muito semelhantes aos nossos, quando aplicaram até 264 kg N/ha na forma de ureia, registando valores desde 93 até 180 kg N/ha na testemunha e na modalidade onde aplicaram mais azoto, respectivamente. Santos (1991) considera que as exportações de azoto pela cultura são de 103 kg/ha, para produções esperadas de 25 t/ha.

A fracção de azoto acumulado nos tubérculos, relativamente à totalidade da planta, variava entre 79 e 89 % à colheita. O valor mais elevado foi registado para a modalidade testemunha e o valor mais baixo para a modalidade N200. A matéria seca acumulada nos tubérculos no fim do ciclo, corresponde, segundo McCollum (1978), a 70 a 75 % da matéria seca na planta. Lauer (1985) refere que a percentagem de azoto que se encontra nos tubérculos, no fim do ciclo, depende da fertilização azotada, registando, na cv. Russet Burbank, os valores 77 e 72 % para quantidades de azoto aplicado na forma de ureia de 200 e 300 kg/ha, respectivamente. Coelho (1992) registou valores mais baixos, variando entre 58 e 70 % com 400 e 0 kg N/ha, respectivamente. Os resultados por nós obtidos indicam que uma fracção maior de azoto se encontrava nos tubérculos na maturação, garantindo, antes de mais, que as plantas estavam totalmente senescentes e tinha parado a translocação de assimilados.

Para os tratamentos com ureia, a produção comerciável está positivamente correlacionada com a quantidade de azoto nos tubérculos, explicando cerca de 82 % da variância encontrada (fig. 17). Os fertilizantes orgânicos, com excepção para BA, posicionaram-se, mais uma vez, à esquerda da recta de ajustamento. Isto significa que, para a mesma quantidade de azoto nos tubérculos, a produção foi superior com os fertilizantes orgânicos e sugere que, neste produtos, a eficiência interna de utilização do nutriente é maior relativamente à ureia, tal como tínhamos verificado com a eficiência interna de utilização do azoto da rama. O melhor exemplo pode ser apresentado com o fertor, já que o azoto total acumulado nos tubérculos foi apenas 53 % do azoto acumulado na modalidade N250. No entanto, entre estes dois tratamentos não existiram diferenças significativas para a produção comerciável.

Aquele facto sugere que os próprios tubérculos podem acumular azoto, quando em quantidades excessivas, para além das suas necessidades metabólicas. Lauer (1985) encontrou resultados semelhantes e refere que os tubérculos, se dispõem de quantidades excessivas de azoto, absorvem mais azoto que o necessário para a formação da máxima produção comerciável, constituindo ineficiente utilização do nutriente e levantando, também, problemas do ponto de vista nutritivo.

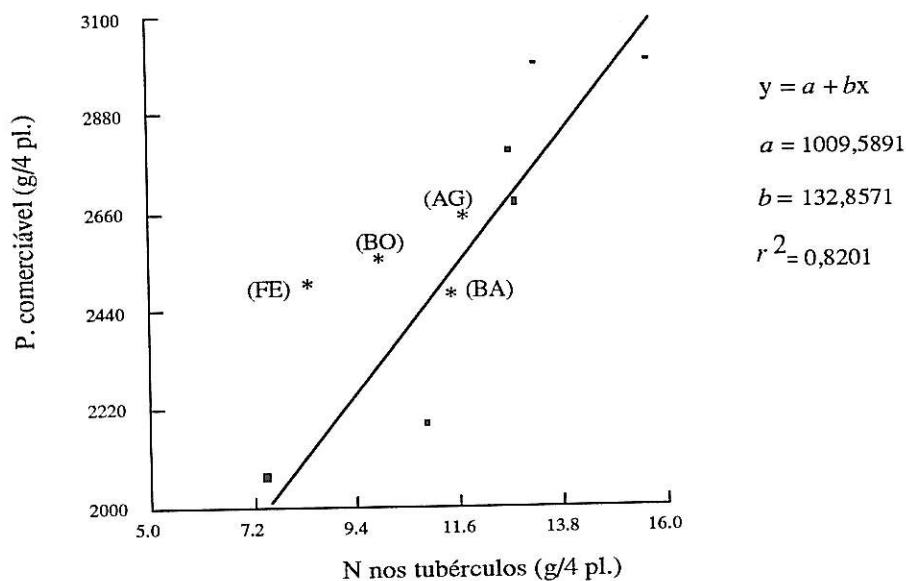


Fig. 17 - Relação entre o azoto nos tubérculos e a produção comerciável

5.3.6 - Azoto total na planta (rama + tubérculos)

A acumulação máxima de azoto na planta (rama + tubérculos) aumentou com a quantidade de azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia (fig. 18).

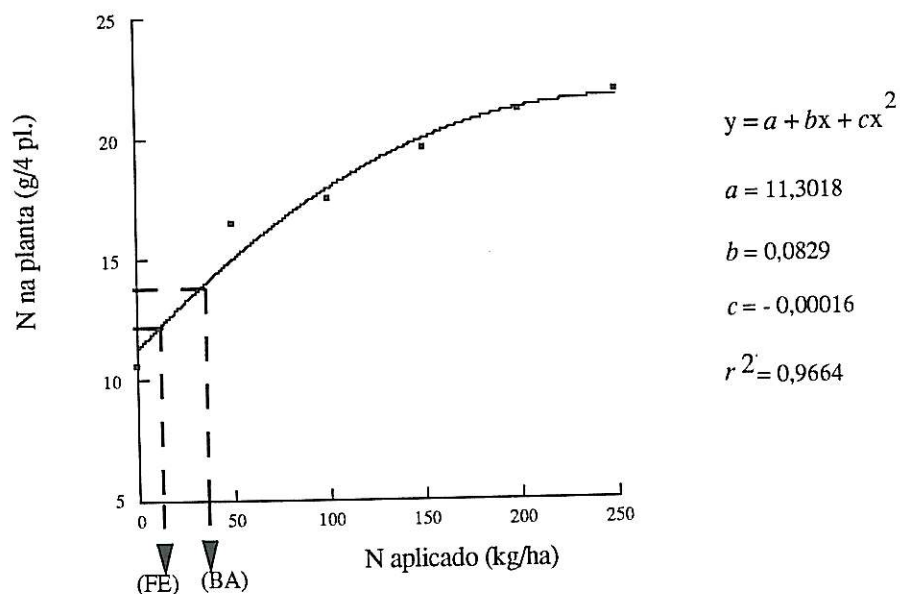


Fig. 18 - Azoto total na planta em função do azoto aplicado como fertilizante na forma de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos. Os fertilizantes orgânicos estrume de bovino (BO) e agri (AG) (não representados na figura) tiveram comportamento intermédio entre beiradubo (BA) e fertor (FE).

Os fertilizantes orgânicos revelaram um comportamento muito próximo entre si e situaram-se entre a testemunha e a modalidade N50. Este resultado revelou que a percentagem de azoto recuperado foi menor nos fertilizantes orgânicos que na ureia, quando foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto. A menor percentagem de azoto recuperado com os fertilizantes orgânicos é referido por diversos autores (Finck, 1982; Grignani e Acutis, 1994) e pode resultar do facto de apenas parte do azoto contido nos fertilizantes orgânicos ser mineralizado no primeiro ano.

O ajustamento de um polinómio de segundo grau aos resultados revelou que a curva é crescente no intervalo em análise, mas de forma menos que proporcional, o que significa que à medida que se aumentou a aplicação de azoto como fertilizante na forma de ureia, a percentagem de recuperação do nutriente pela planta diminuiu. O efeito da disponibilidade do azoto no solo na percentagem que é recuperada pelas plantas tem sido registado em várias culturas e referido por diversos autores (Olson e Kurtz, 1982; Tyler *et al.*, 1983; Walters e Malzer, 1990a; Coelho, 1992; Reddy e Reddy, 1993; Dalla Costa e Giovanardi; Reluy *et al.*, 1994). Considerações sobre a eficiência de utilização do azoto dos fertilizantes pela cultura serão retomadas em 5.3.8.

5.3.7 - Teores em azoto mineral não metabolizado nos tubérculos

Marschner (1986) considera que elevados níveis de $N-NO_3^-$ nos tubérculos são pouco económicos, relativamente à utilização do azoto, e desaconselháveis do ponto de vista nutritivo. Martinoia *et al.* (1981) referem que a concentração de nitratos pode ocorrer em quantidades elevadas em vegetais como os espinafres, beterrabas, rabanetes, alfaces, couves e certas gramíneas, constituindo perigo para a saúde pública devido à possível redução dos nitratos a nitritos, que são tóxicos e podem reagir com aminas formando nitrosaminas que são compostos carcinogéneos muito potentes. No entanto, Möhler (1982), cit. por Mühling (1994), considera que a concentração de $N-NO_3^-$ nos tubérculos é baixa, quando comparada com outros vegetais, variando entre 50 e 500 ppm. Saffigna e Keeney (1977) obtiveram concentrações em nitratos menores que 100 mg/kg em todas as amostragens, e referem, igualmente, que os valores encontrados são baixos quando comparados com outros vegetais. A reduzida quantidade de resultados publicados sobre este assunto sugere que o potencial de danos na saúde pública devem ser mínimos (Saffigna e Keeney, 1977).

A análise de variância aos teores em $N-NO_3^-$ nos tubérculos (quadro 20) revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos. A modalidade

N100 registou os níveis em N-NO_3^- mais elevados mas foi, apenas, estatisticamente diferente da modalidade testemunha e dos fertilizantes orgânicos. A concentração em N-NO_3^- nos tubérculos oscilou entre 22 e 100 mg/kg.

Quadro 20 - Teores em azoto mineral nos tubérculos (mg N/kg MS)

| N aplicado (kg /ha) | N-NO_3^- | N-NH_4^+ |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| 0 | 26,78 bc | 772,7 a |
| 50 | 72,1 ab | 1096,3 a |
| 100 | 99,33 a | 940,6 a |
| 150 | 55,01 abc | 1224,0 a |
| 200 | 84,7 a | 883,9 a |
| 250 | 86,9 a | 1186,4 a |
| 100 (BO) | 25,7 bc | 750,2 a |
| 100 (BA) | 36,8 bc | 851,2 a |
| 100 (AG) | 37,2 bc | 1046,9 a |
| 100 (FE) | 22,8 c | 689,9 a |

Os valores médios seguidos da mesma letra (na coluna) não são estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5 % determinado pelo método dos contrastes

Millard e Marshall (1988), cit. por Coelho (1992), referem que a concentração em N-NO_3^- nos tubérculos está positivamente correlacionada com a fertilização azotada e que as doses elevadas de azoto causam incrementos drásticos no seu conteúdo.

Os resultados por nós obtidos são ambíguos e sugerem um aumento nos níveis em N-NO_3^- com a fertilização azotada, apenas, até 100 kg N/ha, não sendo registado qualquer aumento com as fertilizações mais elevadas. O modelo de ajustamento linear aos resultados, na forma $y = a + bx$, originou um b estatisticamente não significativo e um $r^2 = 0,34$. O modelo quadrático, embora com um melhor ajustamento ($r^2 = 0,50$), não tem, quanto a nós, significado biológico pois a curva revelou-se descendente a partir dos 100 kg N/ha. Embora não tendo sido encontrando qualquer modelo adequado aos resultados, apresentamos, na figura 19, os valores médios de N-NO_3^- em função do azoto aplicado como fertilizante, incluindo a posição relativa dos fertilizantes orgânicos.

Embora os níveis de N-NO_3^- na parte aérea sejam altos, em plantas bem fertilizadas, os nitratos são imóveis no floema e a sua utilização pela planta é limitada, quando armazenados nos vacúolos de folhas completamente expandidas (Marschner, 1986). Contudo, a absorção de N-NO_3^- pelos tubérculos, a partir do solo, parece estar

bem documentada (Mühling *et al.*, 1994) e quantidades importantes de azoto podem ser absorvidas desta forma. Em ensaios em vaso, Mühling *et al.* (1994) mostraram que, dependendo da quantidade de azoto aplicado, 31 % do N-NO_3^- entrou via superfície dos próprios tubérculos. Por outro lado, Legg e Meisinger (1982) referem que os níveis de N-NO_3^- no solo estão sujeitos a grande variabilidade espacial, sobretudo quando a distribuição da água de rega é irregular. Perante estas considerações resta-nos admitir que, devido à irregularidade dos níveis de N-NO_3^- no solo provocada pela rega, e ao facto dos níveis de nitratos nos tubérculos dependerem, em grande parte, dos níveis de N-NO_3^- no solo, a variabilidade introduzida nos resultados confundiu o efeito do azoto aplicado como fertilizante.

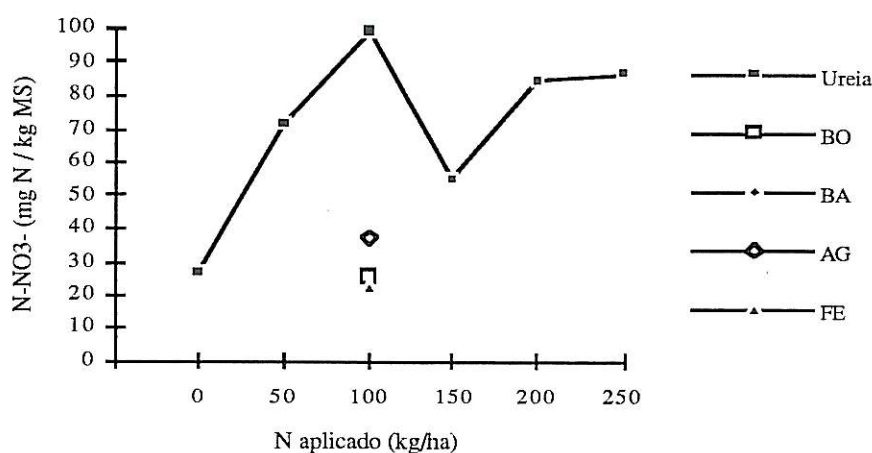


Fig. 19 - Posição relativa dos fertilizantes orgânicos face a aplicações crescentes de ureia nos teores em N-NO_3^- nos tubérculos

A concentração em N-NH_4^+ nos tubérculos oscilou entre 680 e 1200 mg/kg (quadro 20). Entre tratamentos, não encontramos diferenças significativas. De qualquer forma, dispomos de pouca informação sobre este assunto para confrontar os resultados obtidos e desconhecemos, também, o seu significado biológico. Refere-se apenas que Millard e Marshall (1988), cit. por Coelho (1992), referem que o azoto se acumula nos tubérculos em formas reduzidas, sobretudo quando em excesso.

5.3.8 - Eficiência de utilização do azoto

A percentagem do azoto aplicado como fertilizante recuperada pelas culturas é definida como eficiência de utilização do azoto. A eficiência de utilização do azoto

(EUN) foi determinada pelo método das diferenças usando a seguinte expressão $(N_i - N_0)/N_f \times 100$, onde: N_i e N_0 representam o azoto na planta ou parte da planta nas modalidades fertilizadas e testemunha, respectivamente; e N_f , o azoto aplicado como fertilizante. Por este processo determina-se o azoto *aparentemente recuperado*, uma vez que se assume que o contributo do solo é igual nas modalidades fertilizadas e não fertilizadas (Wild, 1988; Schnier *et al.*, 1994). Embora, por este método, não fique esclarecido o contributo do solo na disponibilidade de azoto para as plantas, Jansson e Persson (1982) consideram-no mais interessante que o método do isótopo do ponto de vista do agricultor, pois, neste caso, o que interessa é o azoto disponibilizado pela aplicação do fertilizante e o seu efeito na produtividade das culturas e não tanto a origem do nutriente.

5.3.8.1 - Eficiência de utilização do azoto pelos tubérculos

A percentagem de azoto, atribuída ao fertilizante, que foi recuperada pelos tubérculos (azoto *aparentemente recuperado*) apresentou-se manifestamente baixa até 106 DAP (quadro 21). Estes resultados revelaram que as modalidades fertilizadas não tinham acumulada mais azoto nos tubérculos que a testemunha até esta data, facto que já tínhamos comprovado em 5.3.5 e resultou da menor proporção de assimilados translocados para os tubérculos nas primeiras fases do seu desenvolvimento, nas modalidades fertilizadas.

Quadro 21 - Percentagem de azoto recuperado pelos tubérculos ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|-------|--------|-------|-----------|
| | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | colheita* |
| 50 | - 12,96 | 17,36 | 41,54 | - 6,14 | 74,72 | 74,72 |
| 100 | - 5,49 | 6,70 | 1,76 | 6,27 | 63,40 | 63,40 |
| 150 | - 2,56 | - 1,03 | 5,42 | 10,70 | 20,66 | 38,17 |
| 200 | 0,11 | 4,01 | 1,21 | - 1,37 | 28,74 | 29,39 |
| 250 | - 1,93 | 4,31 | 2,73 | 0,53 | 17,41 | 35,82 |
| 100 (BO) | - 6,37 | 9,34 | 10,44 | - 2,96 | 27,47 | 27,47 |
| 100 (BA) | - 5,71 | 5,27 | 7,59 | - 3,73 | 42,96 | 42,96 |
| 100 (AG) | - 10,11 | 8,46 | 7,91 | 4,95 | 47,58 | 47,58 |
| 100 (FE) | - 10,66 | 2,19 | 4,84 | 7,04 | 8,79 | 8,79 |

* - Inclui 3 amostras colhidas a 134 DAP (N150, N200 e N250) e as restantes amostras da 120 DAP.

Quando nos aproximamos do fim do ciclo, a quantidade de azoto recuperado pelos tubérculos foi maior em todas as modalidades fertilizadas que na testemunha. No entanto, a percentagem recuperada diminuiu com quantidades crescentes de azoto aplicadas na forma de ureia e variou entre 75 e 30 %. A diminuição na EUN com a aplicação de quantidades crescentes de azoto tem sido verificada em várias culturas e referida por diversos autores (Liegel e Walsh, 1976; Olson e Kurtz, 1982; Tyler *et al.*, 1983; Walters e Malzer, 1990a; Reddy e Reddy, 1993; Shaviv, 1993; Dalla Costa e Giovanardi, 1994; Fotyma *et al.*, 1994; Mambelli e grandi, 1994; Reluy *et al.*, 1994). Em ensaios durante vários anos na cultura da batata, Liegel e Walsh (1976) verificaram que a percentagem de azoto recuperado decresceu com a quantidade de azoto aplicado e variou consideravelmente de ano para ano, dependendo dos valores de precipitação ocorridos. A EUN tomou os valores de 26, 18, 14 e 13 % no ano de precipitações mais intensas e de 83, 87, 70 e 47 % no ano mais favorável (quando a precipitação atmosférica foi menor) com fertilizações de 66, 132, 198 e 264 kg N/ha, respectivamente. Tyler *et al.* (1983) verificaram que a EUN pelos tubérculos variou desde 64,3 % até 38,8 % com aplicações de 134 kg N/ha (ótimo económico) e 270 kg N/ha, respectivamente. Westermann *et al.* (1988), em ensaios de aplicações fraccionadas de azoto, encontraram valores de EUN entre 60 e 80 %, apresentando o fraccionamento da aplicação valores mais elevados. Aplicando o método das diferenças aos valores de azoto acumulado nos tubérculos, obtidos por Coelho (1992), verificamos que a EUN foi de, apenas, 19 e 20 % quando utilizou 200 e 400 kg N/ha.

Os fertilizantes orgânicos apresentaram EUN inferiores à modalidade onde foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto na forma de ureia (N100) e oscilaram entre 9 e 48 %. De um modo geral, a aplicação de fertilizantes minerais originam EUN superiores aos fertilizantes orgânicos (Finck, 1982). Grignani e Acutis (1994), trabalhando com várias culturas e modalidades de fertilização orgânicas (estrumes e chorumes), encontraram EUN que variaram entre 6 e 40 %.

Os fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento semelhante às doses elevadas de azoto na percentagem de nutriente recuperado (fig. 20). A EUN no produto comercial fertor foi marcadamente inferior aos restantes produtos orgânicos e mesmo inferior à modalidade N250. Este facto traduz a reduzida quantidade de azoto acumulada nos tubérculos, já referida em 5.3.5, nesta modalidade. Como o fertor tem a menor concentração em azoto e a maior razão C/N de todos os fertilizantes orgânicos utilizados, o processo de imobilização terá prevalecido de forma mais marcada sobre a

mineralização, originando percentagens de recuperação mais baixas que nos restantes fertilizantes orgânicos. Embora não tenham sido registadas diferenças significativas na disponibilidade de azoto mineral no solo entre o fertor e os restantes fertilizantes orgânicos, surgem evidências que do processo mineralização/imobilização terão resultado menores disponibilidades de azoto mineral com o produto comercial fertor, não detectadas pela análise às disponibilidades de azoto no solo devido à variabilidade experimental.

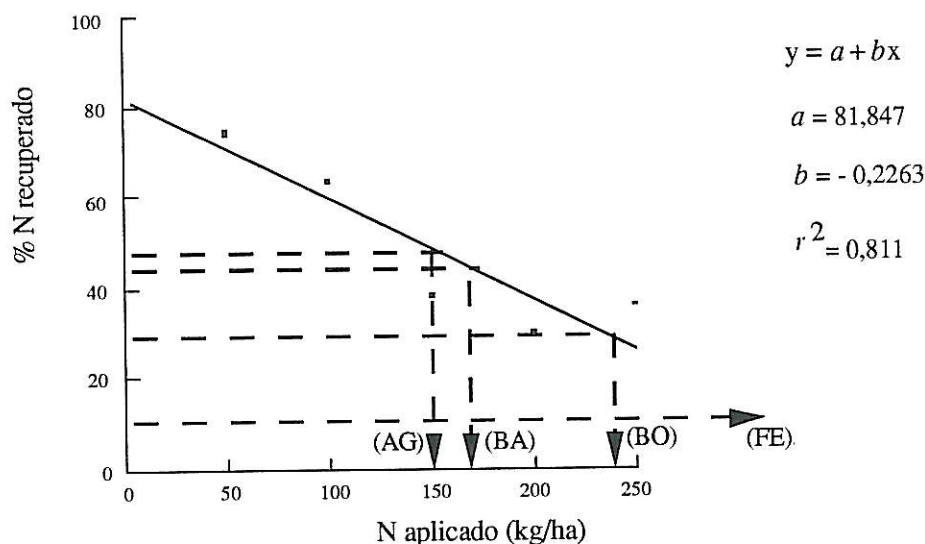


Fig. 20 - Valores médios da percentagem de azoto recuperado pelos tubérculos com doses crescentes de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos

A baixa eficiência de utilização do azoto com os fertilizantes orgânicos traduz o facto de apenas uma reduzida fracção de azoto neles contida ser disponibilizada no primeiro ano, pelo processo de mineralização. A fracção de azoto disponibilizado a partir de materiais orgânicos no ano de aplicação varia, pelo geral, entre 20 a 30 % (Cooke, 1982; Finck, 1982; Smith e Peterson, 1982; Simpson, 1986) embora, dependendo do tipo de material aplicado, possa ser mineralizado até 75 % do azoto presente (Smith e Peterson, 1982). Para estrumes de curral, Stevenson (1986) e Santos (1991) apresentam valores médios de 50 %.

5.3.8.2 - Eficiência de utilização do azoto pela planta (rama + tubérculos)

De modo a facilitar a colheita, a rama da batateira é, geralmente, retirada para fora da folha de cultura, perdendo-se, inevitavelmente, o azoto nela contido. Assim, nesta cultura, a determinação da EUN pela totalidade da planta reveste-se, quanto a

nós, de menor interesse que a determinação da EUN pelos tubérculos isoladamente. No entanto, em regadio, a determinação da EUN pela totalidade da planta é importante na medida em que o azoto absorvido fica protegido durante a estação de crescimento de perdas por lixiviação, sobretudo em situações onde a rega seja mal conduzida. McNeal e Pratt (1978), cit. por Legg e Meisinger (1982), referem que, nos regadios da Califórnia, as perdas podem ser da ordem dos 13 a 102 % do azoto aplicado como fertilizante.

Em 50 DAP, a percentagem de azoto recuperado pelas plantas apresentava valores próximos de 20 % com aplicações na forma de ureia e inferiores a 12 % com os fertilizantes orgânicos (quadro 22). Em 64 DAP, a modalidade N50 e as modalidades de fertilizantes orgânicos tinham nos seus tecidos menos azoto que a testemunha. Embora não sendo de todo esperados, estes resultados sugerem que o azoto residual mais o azoto resultante da mineralização da matéria orgânica terá sido suficiente para a modalidade testemunha não apresentar, até esta data, sintomas de deficiência de azoto. A partir de 78 DAP, uma parte mais ou menos significativa do azoto acumulada nas plantas pode ser atribuído ao fertilizante, em todas as modalidades fertilizadas. Após esta data, começa a ser evidente que a EUN decresce à medida que as quantidades de azoto aplicado aumentam, e que os fertilizantes orgânicos originam EUN inferiores aos fertilizantes minerais, tal como tinha ocorrido com a EUN pelos tubérculos.

Quadro 22 - Percentagem de azoto recuperado pela planta ao longo da estação de crescimento

| N aplicado (kg/ha) | Datas de amostragem (DAP) | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------|-------|--------|-------|--------|-----------|
| | 50 | 64 | 78 | 92 | 106 | 120 | colheita* |
| 50 | 20,88 | - 5,06 | 74,71 | 129,90 | 52,53 | 101,31 | 101,31 |
| 100 | 21,21 | 38,90 | 56,49 | 76,60 | 60,11 | 86,59 | 86,59 |
| 150 | 21,25 | 27,40 | 49,31 | 53,85 | 65,35 | 51,94 | 46,30 |
| 200 | 16,98 | 27,53 | 36,10 | 44,34 | 50,28 | 70,49 | 43,40 |
| 250 | 15,52 | 27,21 | 40,05 | 49,94 | 39,17 | 45,36 | 43,30 |
| 100 (BO) | 12,09 | - 8,03 | 0,99 | 33,08 | 12,53 | 38,24 | 38,24 |
| 100 (BA) | 6,27 | - 9,12 | 35,5 | 23,09 | 10,44 | 62,86 | 62,86 |
| 100 (AG) | 4,18 | - 19,34 | 27,48 | 36,16 | 28,68 | 60,44 | 60,44 |
| 100 (FE) | 8,35 | - 14,84 | 8,47 | 9,02 | 17,37 | 20,77 | 20,77 |

* - Inclui 3 amostras colhidas a 134 DAP (N150, N200 e N250) e as restantes amostras da 120 DAP.

No fim do ciclo da cultura, a EUN oscilava entre 101 e 43 % nos tratamentos com ureia e entre 20 e 63 % nos fertilizantes orgânicos. A EUN dos fertilizantes orgânicos apresentou-se inferior à modalidade N100, onde foi aplicada a mesma quantidade de azoto total.

As situações em que a percentagem de azoto recuperado ultrapassa 100 % significam que, nessa modalidade, as plantas terão absorvido azoto numa quantidade acima da testemunha superior ao azoto contido no fertilizante aplicado. Na prática, estes resultados podem dever-se ao facto do contributo do azoto proveniente do solo, na nutrição azotada da planta, aumentar com a quantidade de azoto aplicado. Este efeito é referido por diversos autores como interacção da adição de azoto (Westerman e Kurtz, 1973; Olson e Swallow, 1984; Jenkinson *et al.*, 1985; Wild, 1988; Rao *et al.*, 1991; Reddy e Reddy, 1993; Schnier, 1994). No entanto, só utilizando azoto marcado se pode quantificar este efeito. Como trabalhamos pelo método das diferenças, ficamos sem saber se estes resultados se devem ao efeito do azoto adicionado ou refletem apenas variabilidade experimental. De qualquer forma, a primeira hipótese merece-nos maior credibilidade, uma vez que não será de admitir, mesmo para a modalidade N50, que a totalidade do azoto aplicado como fertilizante tenha sido recuperado pela cultura.

A eficiência de utilização do azoto pela totalidade da planta decresceu com as doses crescentes de azoto na forma de ureia (fig. 21). A utilização de fertilizantes orgânicos originou, mais uma vez, EUN próximas das doses elevadas de azoto, e o produto orgânico fector originou uma EUN inferior, mesmo à modalidade N250.

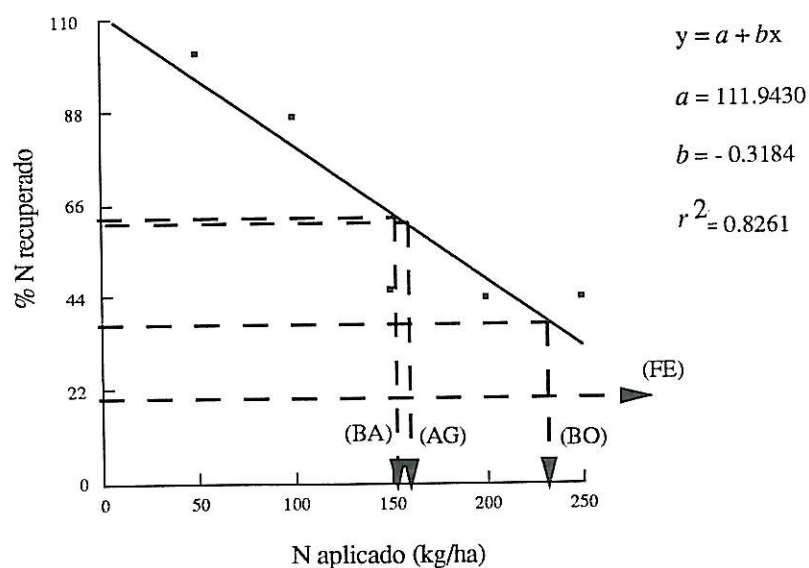


Fig. 21 - Valores médios da percentagem de azoto recuperado pela planta com doses crescentes de ureia e posição relativa dos fertilizantes orgânicos

Tendo em conta a fracção relativamente baixa de azoto que foi recuperada pelas plantas e assumindo que o método das diferenças sobreestima a EUN (Stevenson, 1986; Wild, 1988; Walters e Malzer, 1990b; Rao *et al.*, 1991; Schnier *et al.*, 1994), as quantidades aplicadas que não foram recuperadas pela cultura constituem azoto que, potencialmente, pode ser perdido por lixiviação, desnitrificação, volatilização, etc., com efeitos adversos no meio ambiente, sobretudo nas modalidades em que foram aplicadas mais de 150 kg N/ha, nas quais menos de metade do azoto aplicado terá sido recuperado pela cultura. Em 5.4 retomaremos considerações sobre os possíveis destinos do azoto que não foi recuperado pela cultura.

5.3.8.3 - Outros índices de eficiência de utilização de azoto

A eficiência com que as plantas utilizam o azoto aplicado como fertilizante tem sido avaliada de diversas outras formas, recorrendo a vários índices de eficiência, como foi referido em 3.2. A maior parte desses índices foram apresentados para cereais, de forma que a aplicação directa das formulas utilizadas originaram na cultura da batata resultados por vezes ambíguos e de difícil interpretação. Assim, apresentamos alguns parâmetros caracterizadores da eficiência de utilização do azoto que resultaram de adaptações dos referidos índices, ajustados às particularidades da cultura.

Para caracterizar a eficiência interna de utilização do azoto são apresentados três índices (quadro 23):

Ntt - Fracção de azoto translocado para os tubérculos. Mede a fracção de azoto absorvido pela planta que migrou para os tubérculos;

MSt/Nap - Matéria seca acumulada nos tubérculos por unidade de azoto absorvido pela planta; e

PC/Nap - Produção comerciável obtida por unidade de azoto absorvida pela planta.

Em todos os cálculos foi ignorado o azoto acumulado nas raízes.

Por azoto absorvido pela planta entende-se a quantidade máxima de azoto que alguma vez foi registada na totalidade da planta, durante a estação de crescimento [5.3.6], não coincidindo, necessariamente, em todas as modalidades na mesma data de amostragem.

Como índices de eficiência externa são apresentados dois índices (quadro 23), que complementam a informação obtida em 5.3.8.1 e em 5.3.8.2:

MSt/Nf - Acréscimo de matéria seca nos tubérculos por unidade de azoto aplicado como fertilizante, obtido pela expressão $(MSt_i - MSt_0) / N_f$; e

PC/Nf - Acréscimo de produção comerciável por unidade de azoto aplicado como fertilizante, obtido pela expressão $(PC_i - PC_0) / N_f$.

Os cálculos são análogos ao método das diferenças, onde: MSt_i e PC_i representam, respectivamente, a matéria seca e a produção comerciável nas modalidades fertilizadas; MSt_0 e PC_0 representam, respectivamente, a matéria seca e a produção comerciável na modalidade testemunha; e N_f representa o azoto aplicado como fertilizante.

No quadro 23 é apresentado, também, o retorno económico do investimento em fertilizante (REIF), índice calculado com base no acréscimo do valor da produção (acima da testemunha) por unidade monetária investida em fertilizantes, obtido pela expressão $(VP_i - VP_0) / P_f$, onde; VP_i e VP_0 representam o valor da produção nas modalidades fertilizadas e testemunha, respectivamente; e P_f , o preço do fertilizante.

Neste cálculo não foram incluídos custos de transporte e aplicação.

Quadro 23 - Índices de eficiência interna e externa de utilização do azoto e retorno económico do investimento em fertilizantes

| N aplicado (kg/ha) | PC/Nap * | MSt/Nap * | Ntt (%) | MSt/Nf * | PC/Nf * | REIF ** |
|-----------------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|------------|
| 0 | 194,3 | 52,0 | 70,1 | | | |
| 50 | 132,9 | 36,3 | 66,1 | 9,4 | 25,5 | 11,7 |
| 100 | 170,9 | 44,5 | 75,6 | 24,7 | 101,4 | 46,6 |
| 150 | 142,9 | 34,3 | 64,8 | 8,5 | 50,0 | 24,5 |
| 200 | 126,6 | 33,3 | 59,5 | 8,4 | 33,7 | 15,5 |
| 250 | 136,9 | 34,0 | 71,3 | 8,4 | 40,8 | 18,7 |
| 100 (BO) | 188,0 | 54,2 | 73,6 | 19,8 | 52,8 | 4,8 |
| 100 (BA) | 193,5 | 55,0 | 88,8 | 16,5 | 45,0 | 1,3 |
| 100 (AG) | 191,3 | 53,4 | 85,4 | 20,3 | 63,1 | 0,8 |
| 100 (FE) | 203,8 | 52,4 | 67,6 | 9,6 | 46,5 | 1,0 |

* Adimensional: (kg/kg); ** Adimensional (escudo/escudo)

Índices de eficiência interna - Pelo geral, à medida que a quantidade de azoto absorvida pela cultura aumentou menor foi o contributo de cada unidade de azoto absorvida na acumulação de matéria seca nos tubérculos e na formação de produção comerciável. A modalidade testemunha e os fertilizantes orgânicos, por originarem, comparativamente, uma menor absorção de azoto, apresentaram maior eficiência interna (PC/Nap e MS/Nap). Estes resultados refletem, de alguma forma, a fraca correlação que encontramos entre o azoto na rama e a formação do rendimento em tubérculos [5.3.4] e sugerem que o azoto disponível em quantidades excessivas, sobretudo nas fases iniciais do ciclo, dão origem a baixas eficiências de utilização do nutriente (Greenwood *et al.*, 1985), acumulando-se nos tecidos das plantas e não contribuindo para aumentar o rendimento em tubérculos. A diminuição da eficiência interna de utilização do azoto pelas plantas com a aplicação de doses crescentes do nutriente é referido por diversos autores (Cassman *et al.*, 1993; Dalla Costa e Giovanardi, 1994; Fotyma *et al.*, 1994; Mambelli e Grandi, 1994).

Os fertilizantes orgânicos apresentaram, globalmente, eficiências internas de utilização de nutrientes superiores aos fertilizantes minerais. Admitindo que os fertilizantes orgânicos disponibilizam os nutrientes de forma mais gradual que os fertilizantes minerais, mais azoto poderia ser absorvido em fases mais avançadas do ciclo, resultando numa melhor eficiência de utilização do nutriente. Como não registamos maior disponibilidade de azoto mineral no solo, nas fases finais do ciclo, nas modalidades orgânicas comparativamente às modalidades fertilizadas com ureia, podemos admitir que outros efeitos benéficos, associados à aplicação dos fertilizantes orgânicos, como o aumento da actividade biológica, melhor arejamento, maior disponibilidade de fósforo e micronutrientes, entre outros, tenham contribuído para explicar estes resultados.

Estes resultados podem ajudar a compreender as razões porque a cultura da batata responde bem à aplicação de fertilizantes orgânicos, sendo considerada nas explorações como prioritária na utilização dos estrumes disponíveis (Cooke, 1982; Finck, 1982; Santos, 1991; Harris, 1992). Harris (1992) vai mais longe quando considera que, nesta cultura, o efeito dos fertilizantes orgânicos não pode ser substituído aplicando apenas quantidades elevadas de fertilizantes minerais.

A fracção de azoto que migrou para os tubérculos (N_{tt}) parece não estar muito dependente da quantidade de azoto absorvido pela planta. Este resultado sugere que parte do azoto absorvido em excesso pode ser acumulado nos tubérculos e que uma determinada produção comerciável pode ser obtida com quantidades bastantes

diferentes de azoto nos tubérculos. O rendimento em tubérculos revelou-se, assim, de grande plasticidade relativamente ao seu teor em azoto.

Índices de eficiência externa - Nas modalidades em que foi aplicada ureia como fonte de azoto, os índices MSt/Nf e PC/Nf aumentaram até ao óptimo económico e decresceram a partir desse ponto (definido como o ponto a partir do qual o custo da unidade de azoto excede o acréscimo no valor da produção gerado pela aplicação da unidade do nutriente e correspondeu, nas modalidades ensaiadas, a 100 kg N/ha na forma de ureia). De acordo com a lei dos acréscimos decrescentes, a acumulação de matéria seca e a produção comerciável deveriam diminuir com as doses crescente de azoto aplicadas. Tyler *et al.* (1983), em ensaios com a mesma cultura, encontraram os valores mais elevados de eficiência de acumulação de matéria seca com 67 kg N/ha (dose mais baixa utilizada), apesar do óptimo económico ter sido encontrado para 134 kg N/ha. O comportamento da modalidade N50, ao apresentar índices mais baixos que a modalidade N100, contraria, de certa forma, a referida lei e os resultados de Tyler *et al.* (1983). A possibilidade da aplicação de 50 kg N/ha não ter sido suficiente para a cultivar manifestar todo o seu potencial produtivo e/ou a elevada variabilidade experimental podem, quanto a nós, justificar este resultado.

O facto dos fertilizantes orgânicos apresentarem resultados inferiores à modalidade N100, onde foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto, são compreensíveis na medida em que da mesma quantidade de azoto aplicado não resultou a mesma quantidade de nutriente disponível para as plantas, como já tínhamos verificado.

Retorno económico do investimento em fertilizante - O índice REIF atingiu o valor mais elevado na modalidade N100 (46,6 escudos por cada escudo investido em fertilizante) e decresceu com o aumento da aplicação de azoto, na forma de ureia. A modalidade N50 teve o pior comportamento entre os tratamentos com ureia. As quantidades aplicadas (50 kg/ha) foram compensatórias no retorno económico, quando comparadas com a testemunha, mas insuficientes para a cultura manifestar todo o seu potencial produtivo.

Os fertilizantes orgânicos, devido ao elevado custo por unidade de azoto e por disponibilizarem menos nutriente que o fertilizante amídico, originaram retornos económicos muito baixos. O custo do fertilizante orgânico agri foi, inclusivé, superior ao acréscimo no valor da produção por ele gerado, relativamente à testemunha, originando um retorno económico inferior à unidade. O estrume de bovino teve o

melhor comportamento entre os fertilizantes orgânicos, devido ao menor preço a que é comercializado.

Stevenson (1986) considera que as contas não devem ser feitas apenas para uma cultura quando se aplicam produtos orgânicos. Em geral, só após cinco anos o azoto contido nos estrumes se deverá considerar totalmente disponível. No entanto, o mesmo autor considera que a utilização destes produtos gera problemas adicionais, tais como: ser extremamente difícil definir as quantidades óptimas de aplicação, pelo facto da sua composição ser muito variável; alguns deles conterem metais pesados e poderem, assim, contaminar a teia alimentar; poderem conter certos agentes patogénicos, que põem em risco a saúde pública; originarem cheiros incómodos; etc. Os fertilizantes orgânicos utilizados devem ser incluídos no grupo dos correctivos orgânicos, de acordo com a classificação apresentada por Santos (1991). Sendo assim, e segundo o mesmo autor, actuam sobre as plantas de forma essencialmente indirecta, pois condicionam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, embora, após mineralização, também contribuam para a nutrição mineral das plantas. De tudo isto, o que parece certo é que os fertilizantes orgânicos utilizados, devido aos seus preços no mercado, não se revelaram como uma boa estratégia, pelo menos usados isoladamente. Acrescenta-se que a utilização dos fertilizantes orgânicos gera encargos suplementares que não quantificamos, relativamente à utilização de ureia, devido à sua distribuição. Assim, apesar dos argumentos apresentados por Stevenson (1986), a utilização destes produtos, aos preços actuais, deverá ficar reservada a condicionalismos onde os efeitos benéficos da sua utilização, ainda que indirectos, originem acréscimos no valor da produção que compensem os elevados custos com a sua aquisição

5.4 - BALANÇO DO AZOTO

Pelo facto de poder entrar e sair do solo por mais vias que qualquer outro nutriente vegetal, cálculos do balanço do azoto no solo não são nunca mais que meras aproximações (Olson e Kurtz, 1982). A utilização de fertilizantes orgânicos gera dificuldades adicionais decorrentes do aumento das disponibilidades de carbono, da heterogeneidade na distribuição e da limitação ao uso do isótopo ^{15}N , técnica que tem permitido grandes progressos nos estudos do ciclo do azoto (Legg e Meisinger, 1982).

Conscientes das limitações da metodologia utilizada e das dificuldades impostas pelo próprio nutriente apresentamos, contudo, alguns parâmetros (quadro 24) que, de alguma forma, tentam traduzir o balanço do azoto no solo e ajudam a compreender os resultados encontrados na resposta da planta à fertilização azotada:

Azoto introduzido pela água de rega e chuva e pela precipitação - Resultaram de análises periódicas à água efectuadas ao longo da estação de crescimento, como foi referido em 4.9.3;

Azoto mineral no solo antes da plantação (N residual, - 6 DAP) e azoto mineral no solo três semanas após colheita (N residual, 157 DAP) - São o resultado de análises efectuadas nas amostras de terra colhidas nas respectivas datas;

Azoto nos tubérculos e na rama - Resultaram da quantidade de matéria seca acumulada e da sua concentração em azoto nas respectivas partes da planta na data de colheita;

N mineralizado - Traduz a mineralização aparente, a partir da matéria orgânica nativa do solo e do restolho de centeio, durante a estação de crescimento. Foi calculado para a modalidade testemunha, onde se admite que as perdas a partir do solo por lixiviação ou em formas gasosas terão sido negligíveis e não houve efeito da adição de fertilizante, uma vez que não foi aplicado qualquer fertilizante contendo azoto, e resultou da seguinte equação:

$$N \text{ mineralizado} = N \text{ nos tubérculos} + N \text{ na rama} + N \text{ residual (157 DAP)} - N \text{ residual (- 6 DAP)} - N \text{ na água de rega e precipitação}$$

Para as modalidades fertilizadas utilizou-se o valor da mineralização estimado para a testemunha. Devido ao provável efeito positivo da adição de azoto, não será de admitir valores inferiores nas modalidades fertilizadas;

Azoto perdido - Inclui todas as transformações de azoto que não puderam ser avaliadas, desde lixiviação, perdas gasosas a partir do solo, perdas pela canópia, fixação pelos minerais de argila, imobilização biológica, etc., e foi obtido a partir da seguinte expressão:

$$N \text{ perdido} = N \text{ aplicado como fertilizante} + N \text{ rega e chuva} + N \text{ residual (- 6 DAP)} + N \text{ mineralizado} - N \text{ nos tubérculos} - N \text{ na rama} - N \text{ residual (157 DAP)}.$$

Nenhuma determinação incluiu o azoto nas raízes. Esclarece-se também que o termo perdido foi escrito em itálico para salvaguardar que o azoto fixado nos minerais de argila e retido na fracção orgânica não deve ser considerado efectivamente perdido do ponto de vista agronómico. O conceito resulta apenas do facto de que, do ponto de vista analítico, o consideramos perdido porque nenhuma das fracções que nele incluímos ter sido determinada.

Quadro 24 - Balanço do azoto (kg/ha)

| N aplicado | Rega + Chuva | N residual (- 6 DAP) | N nos tu_ bérculos | N na rama | N mine_ ralizado | N residual (157 DAP) | <i>N perdido</i> |
|------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|--------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| 0 | 13,4 | 45,4 | 82,0 | 9,8 | 65,2 | 32,2 | - |
| 50 | 13,4 | 45,4 | 119,3 | 23,1 | 65,2 | 35,1 | - 3,5 |
| 100 | 13,4 | 45,4 | 145,4 | 33,1 | 65,2 | 59,8 | - 14,3 |
| 150 | 13,4 | 45,4 | 139,2 | 22,0 | 65,2 | 52,2 | 60,6 |
| 200 | 13,4 | 45,4 | 140,8 | 37,8 | 65,2 | 92,4 | 53,0 |
| 250 | 13,4 | 45,4 | 171,5 | 28,5 | 65,2 | 98,5 | 75,5 |
| 100 (BO) | 13,4 | 45,4 | 109,5 | 20,5 | 65,2 | 66,8 | 27,2 |
| 100 (BA) | 13,4 | 45,4 | 124,9 | 29,7 | 65,2 | 46,4 | 23,0 |
| 100 (AG) | 13,4 | 45,4 | 129,6 | 22,5 | 65,2 | 48,4 | 23,5 |
| 100 (FE) | 13,4 | 45,4 | 90,8 | 21,8 | 65,2 | 30,8 | 80,6 |

O somatório do azoto introduzido pela água, do azoto residual no início da estação de crescimento e do azoto mineralizado totalizou 124 kg/ha, quantidade que permitiu a obtenção de mais de 22 toneladas de tubérculos por hectare, na modalidade testemunha. As elevadas quantidades de azoto naturalmente disponibilizadas conduziram a um óptimo económico próximo dos 100 kg N/ha, valor inferior à recomendação de fertilização que resultou das análises de terras (120 a 150 kg/ha). O azoto mineral no solo no início da estação de crescimento é um elemento importante em vastas regiões do globo na determinação das quantidades a aplicar. Segundo Olson e Kurtz (1982) e Harris (1992), as culturas respondem de forma diferente à aplicação de fertilizantes azotados consoante o azoto mineral no solo no início da estação de crescimento. Tendo em conta as condições em que decorreu o ensaio, sobretudo a época do ano e o controlo a que foi sujeita a rega, é de atribuir grande importância a esse azoto, que terá sido decisivo para o razoável comportamento da modalidade testemunha.

O azoto na rama, para efeitos práticos, considera-se perdido, uma vez que a rama vai ser retirada do campo de cultura.

Segundo Barber (1984), dependendo do azoto total no solo, as disponibilidades de azoto mineral a partir da mineralização da matéria orgânica podem variar de 10 a 200 kg/ha/ano nos 20 cm superiores do solo. Em solos agrícolas, a amplitude de variação é menor e representa, em média, 25 a 50 kg N/ha/ano (Barber, 1984). As estimativas, por nós apresentadas, do azoto mineralizado durante a estação de crescimento, indicaram uma disponibilidade de 65,2 kg/ha. Considerando que a taxa de mineralização terá sido favorecida pelas altas temperaturas e humidade do solo, e que foram considerados 40 cm de profundidade, podemos admitir que se trata de um valor credível, mesmo tendo em conta a curta duração do ensaio (aproximadamente 4 meses).

O azoto mineral (157 DAP) aumentou com as doses crescentes de fertilizante aplicado na forma de ureia. O aumento dos níveis de azoto mineral no fim do ciclo com a fertilização azotada é referido por diversos autores (Olson *et al.*, 1979; Olson e Swallow, 1984; Walters e Malzer, 1990b). Em 157 DAP, as modalidades constituídas pelos fertilizantes orgânicos apresentavam valores próximos da modalidade N100, onde foi aplicada a mesma quantidade de azoto, na forma de ureia. O ferror apresentou os valores mais baixos entre os fertilizantes orgânicos. Em climas onde a precipitação se concentra nos meses de Inverno este azoto tem pouco valor residual devido ao potencial de lixiviação (Olson e Kurtz, 1982; Wild, 1988). No entanto, devido aos resíduos deixados pela batateira, parte deste azoto pode ficar protegido durante o Inverno por imobilização biológica. Wild (1988) refere ensaios na estação experimental de *Rothamsted*, onde 190 kg N/ha aplicado na cultura da batata tiveram um efeito residual em trigo, semeado na Primavera seguinte, equivalente à aplicação de 63 kg/ha. A introdução de culturas intercalares permite utilizar este azoto e reduzir as perdas por lixiviação (Kenney, 1982; Lewan, 1994; Vos e Putten, 1994). Como na rotação está prevista a introdução de uma intercalar (centeio), durante o Inverno, é de admitir que parte do azoto mineral possa vir a ser recuperado por esta cultura. No entanto, perdas importantes por lixiviação poderão ocorrer, sobretudo nas modalidades que originaram mais azoto residual, devido ao facto da estação de crescimento se ter prolongado até fins de Outubro, época do ano onde são já frequentes precipitações elevadas (que de facto ocorreram), limitando a possibilidade de ocorrer imobilização biológica e, porque as taxas de crescimento são baixas nesta época do ano, o centeio não terá grande capacidade para absorver rapidamente o azoto disponível.

Para o azoto *perdido* podem ter contribuído fenómenos como a lixiviação e desnitrificação de nitratos, fixação de $N-NH_4^+$ nos minerais de argila, volatilização de NH_3 , perdas pela canópi e o azoto presente na fracção orgânica. O azoto *perdido* aumentou com a fertilização azotada. As modalidades N50 e N100 apresentaram saldo negativo sugerindo que, nestas modalidades, foi recuperado mais azoto pela cultura do que o azoto introduzido pelo fertilizante. A interacção do azoto adicionado, por estímulo da actividade microbiana e melhor desenvolvimento das raízes (Westerman e Kurtz, 1973; Rao *et al.*, 1981; Olson e Swallow, 1984; Jenkinson, 1985; Wild, 1988; Reddy e Reddy, 1993; Schnier *et al.*, 1994) são as explicações avançadas. Esta tese é reforçada pelas considerações de Jenkinson *et al.* (1985), quando referem que o efeito da adição de azoto é superior quando se aplicam formas amoniacais, por oposição às formas nítricas, e a aplicação da ureia originar numa primeira fase (após hidrólise) a formação no solo de formas amoniacais. Os fertilizantes orgânicos, especialmente o produto comercial fertor, apresentaram valores superiores à modalidade N100, ao contrário do que tinha ocorrido com o azoto disponibilizado durante a estação de crescimento, que foi sempre inferior. Devido à maior razão C/N e menor teor em azoto, uma fracção menor do fertilizante fertor terá sido mineralizada no primeiro ano.

A composição das perdas, embora não quantificadas, merecem-nos os seguintes comentários:

Lixiviação de nitratos - Apenas nas modalidades onde o azoto aplicado excedeu as necessidades da cultura (N150, N200 e N250) será de admitir perdas importantes por este processo. Quatro razões fundamentais são apresentadas: (i) presença de níveis elevados de nitratos no solo; (ii) dificuldades inesperados com o sistema de rega que originou alguma irregularidade na distribuição da água; (iii) ocorrência de precipitações elevadas antes da última colheita; e (iv) o azoto mineral no solo ser avaliado numa profundidade até 40 cm e nos cálculos para a dotação de rega se ter considerado uma profundidade de 50 cm, sendo de admitir, mesmo sem considerar as irregularidades na distribuição da água associadas ao sistema de rega, que parte do azoto tenha sido arrastado para a profundidade compreendida entre os 40 e 50 cm, não sendo avaliado;

Desnitrificação de nitratos - A desnitrificação é favorecida por humidade e temperatura elevada, pH neutro e presença de nitratos (Boswell *et al.*, 1985; Tisdale *et al.*, 1985; Stevenson, 1986; Mengel e Kirkby, 1987). Segundo Legg e Meisinger (1982), em solos bem arejados e desde que não se apliquem mais de 30 mm de dotação de rega, as perdas por desnitrificação são negligíveis. Stanford *et al.* (1975) e

Smith e Peterson (1982) referem que a utilização de fertilizantes orgânicos também pode aumentar as perdas por desnitrificação devido ao aumento da energia disponível. Apesar dos níveis de $N-NO_3^-$ terem permanecido relativamente elevados no solo nas modalidades onde se aplicou mais azoto e, eventualmente, a desnitrificação poder ser favorecida nas modalidades orgânicas, não terá sido, quanto a nós, uma importante via nas perdas de azoto devido às baixas dotações de rega utilizadas (18 mm). Estas dotações de rega não terão permitido a criação de zonas de anoxia com duração suficiente para originar perdas importantes por este processo. De qualquer forma, as perdas ocorridas, ainda que presumivelmente reduzidas, certamente terão sido superiores nas modalidades onde se aplicou mais ureia e nas modalidades constituídas por fertilizantes orgânicos;

Volatilização de NH_3 - Apenas nas modalidades onde se aplicou mais azoto e imediatamente após a aplicação dos fertilizantes, enquanto os níveis de NH_3/NH_4^+ resultantes da hidrólise da ureia permaneceram elevados, será de admitir perdas por este processo. Quer a ureia quer os fertilizantes orgânicos são produtos para os quais o perigo de ocorrerem perdas por este processo é elevado (Tisdale *et al.*, 1985). Por outro lado, as altas temperaturas favorecem a hidrólise da ureia e as taxas de difusão do NH_3 (Nelson, 1982; Boswell *et al.*, 1985). Overrein e Moe (1967) referem que, enquanto a taxa de hidrólise da ureia é directamente proporcional à quantidade aplicada, a taxa de volatilização aumenta de forma exponencial e que a taxa de volatilização de $N-NH_3$ é inversamente proporcional à profundidade de incorporação. Assim, apesar de existirem factores que promovem o aparecimento de NH_3/NH_4^+ no solo, as perdas por este processo não terão sido muito importantes uma vez que os fertilizantes foram incorporados e os solos têm capacidade de troca catiónica razoável, o que terá permitido retirar, em extensão apreciável, o $N-NH_4^+$ formado da solução do solo;

$N-NH_4^+$ fixado nos minerais de argila - A quantidade de $N-NH_4^+$ fixado nos minerais de argila depende, entre outros factores, da quantidade de potássio aplicado e do catião aplicado em primeiro lugar. Quando o potássio é aplicado em primeiro lugar, a quantidade de NH_4^+ fixado diminui e vice-versa. Quando os dois catiões são aplicados em simultâneo, o potássio parece ser fixado em maior extensão (Nommik e Vahtras, 1982). Como os fertilizantes foram aplicados em simultâneo e sempre decorrem alguns dias para que a ureia se hidrolise em extensão apreciável, o potássio deverá ter sido fixado preferencialmente. Por outro lado, os fertilizantes foram aplicados nas camadas superficiais e estas têm menor capacidade de fixação (Nommik

e Vahtras, 1982; Carranca, 1986; Mengel e Kirkby, 1987). Assim, não será de admitir que uma fracção significativa do azoto perdido se encontre fixado nos minerais de argila, mesmo nas modalidades onde foram aplicadas doses de azoto superiores às necessidades da cultura;

Azoto perdido pela canópia - Durante o processo de senescência das plantas quantidades apreciáveis de azoto podem ser perdidas por volatilização de NH_3 e óxidos de azoto (Olson e Kurtz, 1982). Estas perdas terão ocorrido em todas as modalidades de forma mais ou menos proporcional ao azoto na rama;

Azoto imobilizado na fracção orgânica - Uma quantidade, que pode ser apreciável, de azoto aplicado como fertilizante encontra-se no fim da estação de crescimento na fracção orgânica, por imobilização biológica. Legg e Meisinger (1982) referem que, em média, 15 a 18 % do azoto aplicado se encontra na fracção orgânica no fim do ciclo das culturas. Reddy e Reddy (1993), em estudos com ^{15}N na cultura do milho e utilizando como fontes de azoto um fertilizante amoniacal e outro nítrico, encontraram valores de azoto imobilizado na fracção orgânica entre 6 e 38 % e 21 e 63 % para o azoto do fertilizante nítrico e amoniacal, respectivamente.

Quando se aplicam fertilizantes orgânicos apenas uma parte do azoto é mineralizado no primeiro ano e, segundo Stevenson (1986), só ao fim de cinco anos se pode considerar que todo o azoto se tornou disponível para as plantas. Nas modalidades constituídas por fertilizantes orgânicos é provável que parte apreciável do azoto considerado perdido seja azoto que fica na fracção orgânica. Este azoto ainda não saiu do sistema solo-planta e poderá vir a ser utilizado pelas culturas seguintes. O ferror apresentou um valor marcadamente diferente dos restantes fertilizantes orgânicos. A composição do fertilizante poderá justificar este resultado e permite admitir que terá sido nesta modalidade em que a maior parte do azoto *perdido* se encontra na fracção orgânica. O azoto é imobilizado na razão de 1:10 relativamente ao carbono, sendo esta a razão C/N da biomassa microbiana. Para uma determinada quantidade de carbono presente o que varia é o azoto mineralizado, uma vez que o azoto imobilizado é sempre o mesmo e depende do carbono imobilizado (Stevenson, 1986). Como o ferror tem menos azoto relativamente ao carbono presente, a mineralização terá ocorrido sempre a níveis mais baixos que nos restantes tratamentos.

De acordo com resultados apresentados por Olson e Swallow (1984), em que a quantidade de azoto imobilizado aumentou com a fertilização azotada, é de admitir que nas modalidades em que o fertilizante aplicado foi a ureia a quantidade de azoto presente na fracção orgânica seja superior onde as doses aplicadas foram mais elevadas.

6 - CONCLUSÕES

6.1 - EVOLUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE AZOTO MINERAL NO SOLO

Os níveis de $N-NH_4^+$ no solo mantiveram-se bastante baixos (geralmente menores que 2 mg N/kg terra seca) durante a estação de crescimento, não tendo sido registadas diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos para as profundidades consideradas (0-20 e 20-40 cm). Ocorreram, no entanto, diferenças estatísticas entre blocos. Estes resultados sugerem que a irregularidade na distribuição da água de rega terá exercido maior influência nos níveis de $N-NH_4^+$ no solo que o tipo de fertilizante e quantidade aplicada e que o azoto amoniacal que apareceu no solo resultou do processo gradual de mineralização da matéria orgânica, não provindo directamente dos fertilizantes aplicados cujo azoto rapidamente terá sofrido nitrificação e imobilização biológica.

Os níveis de $N-NH_4^+$ no solo decresceram no fim do ciclo, sugerindo lixiviação do $N-NH_4^+$ em solução provocada por precipitações atmosféricas elevadas ocorridas próximo da última amostragem e um possível aumento da imobilização biológica provocada pela decomposição dos resíduos da cultura.

Foi registada uma inversão nos níveis de $N-NH_4^+$ com a profundidade entre a amostragem preliminar e as amostragens efectuadas durante a estação de crescimento. Na amostragem preliminar, os níveis de $N-NH_4^+$ eram mais elevados na camada superficial (0-20 cm), traduzindo uma maior actividade dos microrganismos que mineralizam a matéria orgânica nas camadas superficiais (melhor arejadas), enquanto durante a estação de crescimento os níveis de $N-NH_4^+$ se mantiveram mais elevados na profundidade 20-40 cm, sugerindo a ocorrência de migração de algum azoto amoniacal em profundidade com a água de rega.

Os valores de $N-NO_3^-$ no solo oscilaram entre 1 e 50 mg N/kg t. seca, dependendo dos níveis de azoto aplicado, da data de amostragem e profundidade de colheita das amostras.

Na profundidade 0-20 cm, a aplicação de doses elevadas de azoto na forma de ureia originou maiores níveis de $N-NO_3^-$ no solo. Próximo do fim do ciclo deixaram de se registar diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos e começaram a ocorrer diferenças entre blocos, como resultado da variabilidade introduzida pela água de rega que terá originado uma migração diferenciada de nitratos em profundidade. As

modalidades constituídas por fertilizantes orgânicos apresentaram valores de N-NO_3^- no solo globalmente inferiores à aplicação de ureia que veiculou a mesma quantidade de azoto. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas.

A evolução dos níveis de N-NO_3^- no solo ao longo da estação de crescimento na profundidade 0-20 cm revelaram: um decréscimo até 93 DAP, provocado pela absorção radicular; um aumento entre 93 e 135 DAP, por mineralização contínua da matéria orgânica e redução da absorção pela cultura; e, de novo, um decréscimo a partir de 135 DAP, justificado pela lixiviação provocada por precipitações elevadas ocorridas entre 135 e 156 DAP.

Os valores de N-NO_3^- no solo foram mais elevados na profundidade 20-40 cm relativamente à profundidade 0-20 cm, sendo estes resultados justificados pela migração em profundidade desta forma de azoto de elevada mobilidade. Como as dotações de rega foram controladas (embora tenha havido irregularidade de distribuição pelo sistema de rega) ocorreram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos em todas as datas de amostragem, para a profundidade 20-40 cm. As modalidades constituídas por doses mais elevadas de azoto revelaram níveis de N-NO_3^- no solo mais elevados. Surgiram, no entanto, diferenças estatísticas entre blocos nas últimas datas de amostragem, traduzindo o acumular de variabilidade experimental ao longo da estação de crescimento pela distribuição irregular da água de rega.

A variação nos níveis de N-NO_3^- no solo na profundidade 20-40 cm, ao longo da estação de crescimento, evoluiu de forma análoga ao referido para a profundidade 0-20 cm. Contudo, entre 135 e 156 DAP o decréscimo não foi tão acentuado. Parte dos nitratos lixiviados a esta profundidade pela água da chuva terão sido compensados por nitratos vindos da profundidade 0-20 cm.

Os níveis de azoto mineral no solo ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$), na profundidade 0-40 cm, foram superiores nas modalidades constituídas por doses mais elevadas de azoto. Apenas na última data de amostragem deixou de haver diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos, explicadas pela lixiviação ocorrida devido à precipitação e pelo acumular de variabilidade ao longo do ensaio devido à rega. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas. Estas modalidades revelaram um comportamento mais próximo das modalidades testemunha e N50 que da modalidade N100, justificado pela maior quantidade de energia colocada à disposição dos microrganismos que terão originado maior imobilização de azoto e durante mais tempo.

6.2 - RESPOSTA DA PLANTA AO AZOTO APLICADO COMO FERTILIZANTE

As doses crescentes de azoto promoveram a acumulação de matéria seca na rama. A partir de 78 DAP surgiram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos que se acentuaram ao longo da estação de crescimento. Os fertilizantes orgânicos mostraram um comportamento mais próximo das modalidades testemunha e N50 que da modalidade N100, refletindo a menor disponibilidade de azoto no solo originada por estes fertilizantes relativamente à ureia, para quantidades iguais de azoto total aplicado. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas. As pequenas diferenças na sua composição, associadas a elevada variabilidade experimental, não terão sido suficientes para originarem um comportamento estatisticamente diferenciado entre eles.

O azoto prolongou a duração do ciclo vegetativo. As modalidades que originaram menores disponibilidades de azoto no solo iniciaram a senescência mais cedo.

A matéria seca acumulada nos tubérculos não diferiu significativamente ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos até próximo do fim do ciclo (120 DAP). Como o azoto promoveu a acumulação de matéria seca na rama, uma menor proporção de assimilados terá sido translocada para os tubérculos nas fases iniciais do seu desenvolvimento nas modalidades onde as quantidades de azoto aplicadas foram mais elevadas. Em 120 DAP, as modalidades constituídas por doses moderadas de azoto (N100 e orgânicos) tinham, nesta data, acumulado mais matéria seca nos tubérculos. Como o azoto prolongou o ciclo vegetativo, em 134 DAP as modalidades N150, N200 e N250 tinham anulado as diferenças encontradas em 120 DAP. Estes resultados indicam que o azoto só exerce o seu efeito positivo na acumulação de matéria seca nos tubérculos no final do ciclo vegetativo. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças significativas na acumulação de matéria seca nos tubérculos.

Não registamos diferenças estatísticas ($\alpha < 0,05$) no início da tuberização e no número de tubérculos formados com a fertilização azotada. O início da tuberização ocorreu próximo de 50 DAP e o número médio de tubérculos formados foi de 5,5 tub/planta. Os dados sugerem que os tubérculos que atingiram tamanho comerciável se formaram 2 a 3 semanas após o início da tuberização, mas, ao longo da estação de crescimento, estiveram continuamente a ser formados e reabsorvidos novos tubérculos.

A resposta da planta na formação do rendimento em tubérculos mostrou a existência de um ponto (100 kg N/ha) a partir do qual não ocorreram aumentos de produção com as doses crescentes de azoto. Um polinómio de segundo grau foi a expressão que melhor traduziu a resposta da planta à aplicação de azoto na forma de ureia, e sugere a existência de um segundo factor a limitar a produção, identificado como sendo a reduzida duração da estação efectiva de crescimento, provocada por atrasos verificados na data de plantação. A maior produção foi obtida com 250 kg N/ha, mas esta modalidade foi, apenas, estatisticamente diferente ($\alpha < 0,05$) da modalidade testemunha e N50. Os fertilizantes orgânicos originaram resultados estatisticamente idênticos entre si e a todas as modalidades fertilizadas com ureia, revelando-se apenas estatisticamente diferentes da modalidade testemunha. A produção comerciável variou desde 22,7 a 32,9 t/ha para a modalidade testemunha e N250, respectivamente.

6.3 - AZOTO NA PLANTA

6.3.1 - Teores em azoto nas diferentes partes da planta

Os teores em azoto nas folhas aumentaram com as disponibilidades crescentes de azoto no solo. Foram registadas diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos a partir de 64 DAP. As modalidades constituídas por doses mais elevadas de azoto registaram maiores teores em azoto nas folhas. Entre fertilizantes orgânicos, globalmente, não ocorreram diferenças entre tratamentos. Os fertilizantes orgânicos manifestaram, uma vez mais, um comportamento mais próximo das modalidades testemunha e N50, refletindo as disponibilidades de azoto mineral no solo.

Os teores máximos de azoto nas folhas ocorreram na primeira amostragem (50 DAP) para as modalidades que originaram maior disponibilidade de azoto no solo e foram da ordem de 5%. Os teores mínimos foram registados no fim do ciclo e foram da ordem dos 2%.

Ocorreram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) entre tratamentos nos teores em azoto nos caules desde a primeira amostragem. As modalidades constituídas por doses mais elevadas de azoto na forma de ureia registaram os valores mais elevados. Entre fertilizantes orgânicos não ocorreram diferenças estatísticas e estas modalidades registaram, uma vez mais, valores mais próximos das modalidades testemunha e N50.

Os teores em azoto nos caules decresceram ao longo do ciclo vegetativo e oscilaram entre 3,36 % em 50 DAP e menos de 1% no fim do ciclo.

Registaram-se diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) nos teores em azoto nos tubérculos, apenas, após 93 DAP. Os valores mais elevados foram registados nas modalidades constituídas pelas doses mais elevadas de azoto. Entre fertilizantes orgânicos registámos diferenças significativas na maturação. O produto comercial fertor apresentou valores mais baixos que agri e beiradubo, sendo provável que, devido a possuir maior razão C/N e menores teores em azoto, o fertor tenha disponibilizado menos nutriente que os restantes fertilizantes orgânicos e que, devido à variabilidade experimental, não tenham sido detectadas na análise ao azoto mineral no solo.

Os teores em azoto nos tubérculos oscilaram entre 2,1 e 1,2 %. Decresceram no início da formação dos tubérculos (entre 50 e 78 DAP) e permaneceram constantes ou aumentaram ligeiramente, após esta fase, até à maturação.

Os teores em azoto nos tubérculos aumentaram com a fertilização azotada. No entanto, a esse aumento não correponderam aumentos de produção, sugerindo que o azoto se pode acumular nos tubérculos em quantidades superiores às suas necessidades metabólicas. A formação do rendimento em tubérculos revelou-se de elevada plasticidade relativamente aos teores em azoto nos seus tecidos.

6.3.2 - Azoto total nas diferentes partes da planta

As modalidades que receberam doses mais elevadas de azoto na forma de ureia acumularam mais azoto na parte aérea. A análise de variância indicou a existência de diferenças significativas desde a primeira data de amostragem. Entre fertilizantes orgânicos não existiram diferenças significativas, revelando-se mais próximas da testemunha e modalidade N50.

A acumulação máxima de azoto na rama ocorreu em fases mais avançadas do ciclo nas modalidades constituídas pelas doses mais elevadas de azoto. Na testemunha ocorreu em 64 DAP e foi de 84,3 kg/ha, e na modalidade N250 ocorreu em 92 DAP e tomou o valor de 176,4 kg/ha.

O azoto na rama explicou 77,85 % da variância encontrada no rendimento em tubérculos quando os valores foram ajustados a um polinómio de segundo grau. Os valores dos fertilizantes orgânicos colocaram-se à esquerda da curva de regressão, sugerindo que a eficiência interna de utilização do azoto foi maior com estes

fertilizantes. O produto comercial fertor acumulou na rama apenas metade do azoto acumulado na modalidade N250. No entanto, a produção comerciável não foi estatisticamente diferente. As aplicações excessivas de azoto mostraram, igualmente, uma baixa eficiência interna de utilização do nutriente, e que o azoto se pode acumular na rama em quantidades superiores às suas necessidades metabólicas, constituindo o que se designa por consumo de luxo.

A acumulação máxima em azoto nos tubérculos coincidiu com a colheita e variou entre 82 e 171,5 kg N/ha nas modalidades testemunha e N250, respectivamente. Diferenças estatísticas ($\alpha < 0,05$) ocorreram apenas próximo do fim do ciclo, em 120 DAP. Estes resultados mostraram que, embora a quantidade de azoto na rama tenha sido maior nas modalidades constituídas por doses mais elevadas de azoto, as diferenças entre tratamentos não surgiram até 120 DAP porque uma maior proporção de reservas terá migrado para os tubérculos nas modalidades menos fertilizadas nas fases iniciais do seu desenvolvimento. Como nas modalidades onde se aplicou mais azoto a migração de reservas se prolongou por mais tempo, as diferenças surgiram apenas próximo do fim do ciclo. Entre fertilizantes orgânicos ocorreram diferenças significativas. O produto comercial fertor apresentou resultados estatisticamente inferiores a beiradubo e agri, justificados pela maior razão C/N e menores teores em azoto na sua composição.

Para os tratamentos com ureia, a produção comerciável revelou-se positivamente correlacionada com o azoto acumulado nos tubérculos, sendo 82 % da variância explicada pela regressão. Os fertilizantes orgânicos posicionaram-se à esquerda da recta de regressão, sugerindo uma maior eficiência interna de utilização do nutriente. O fertor, com 53 % de azoto acumulado nos tubérculos relativamente à modalidade N250, deu origem a resultados que não foram estatisticamente diferentes na produção comerciável. Estes resultados reforçaram a ideia de que os próprios tubérculos podem acumular azoto para além das suas necessidades metabólicas.

O azoto acumulado na totalidade da planta aumentou com a fertilização azotada. Os fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento próximo da testemunha e modalidade N250, sugerindo que apenas parte do azoto contido nestes fertilizantes terá sido disponibilizado no ano de ensaio.

6.4 - TEORES EM NITRATOS NOS TUBÉRCULOS

A análise de variância aos teores em nitratos nos tubérculos revelou a existência de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$). A modalidade N100 registou os teores em

nitratos mais elevados e foi significativamente diferente da modalidade testemunha e das modalidades constituídas pelos fertilizantes orgânicos. Os teores em nitratos nos tubérculos oscilaram entre 22 e 100 mg/kg com o fertor e modalidade N100, respectivamente. Como não foram registados aumentos nos teores em nitratos nos tubérculos com as doses crescentes de azoto a partir de 100 kg/ha, admitimos que os resultados tenham sido confundidos pela elevada variabilidade espacial a que os nitratos estão sujeitos no solo, e porque uma parte importante dos nitratos entram via superfície dos próprios tubérculos.

6.5 - EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO AZOTO

Na maturação, a percentagem de azoto recuperada pelos tubérculos diminuiu com as doses crescentes de azoto aplicado na forma de ureia e tomou os valores de 74,7, 63,4, 38,2, 29,4 e 35,8 % para as modalidades N50, N100, N150, N200 e N250, respectivamente. Os fertilizantes orgânicos apresentaram EUN inferiores à modalidade N100 (onde foram aplicadas as mesmas quantidades de azoto) e próximas das modalidades onde foram aplicadas doses excessivas de azoto. Os valores registados foram 47,6, 43,0, 27,5 e 8,8 % para as modalidades AG, BA, BO e FE, respectivamente. Mais uma vez surgiu a evidência que, do processo de mineralização/imobilização, terão sido disponibilizadas menores quantidades de azoto com o produto comercial fertor, embora a análise de variância aos teores de azoto mineral no solo não tenha registado diferenças significativas. Como apenas uma fracção do azoto contido nos fertilizantes orgânicos é mineralizado no primeiro ano, justificam-se os baixos valores de EUN nestas modalidades, relativamente a N100.

A eficiência de utilização do azoto pela totalidade da planta decresceu com a quantidade de azoto aplicado na forma de ureia, e tomou os valores de 101,2, 86,6, 46,3, 43,4 e 43,3 % para N50, N100, N150, N200 e N250, respectivamente. Com os fertilizantes orgânicos, a EUN tomou os valores de 62,9, 60,4, 38,2 e 20,8 % para as modalidades BA, AG, BO e FE, respectivamente. O valor superior a 100 % na modalidade N50 pode significar interacção pelo azoto adicionado, sugerindo que o azoto aplicado como fertilizante possa ter promovido o desenvolvimento radicular e estimulado a actividade dos microrganismos que mineralizam a matéria orgânica, aumentando o azoto disponível para as plantas nas modalidades fertilizadas. Nas modalidades constituídas por mais de 100 kg N/ha, e nas modalidades constituídas

pelos fertilizantes orgânicos estrume de bovino e fertor, mais de metade do azoto aplicado não foi recuperado pela cultura

As modalidades testemunha e as constituídas por fertilizantes orgânicos originaram índices de eficiência interna (PC/Nap e MS/Nap) superiores relativamente às doses elevadas de azoto. A utilização dos fertilizantes orgânicos sugere a existência de outros efeitos benéficos, para além do azoto disponibilizado, relativamente à utilização de ureia, e reforça a ideia de que a cultura da batata é prioritária na utilização dos estrumes disponíveis.

Os índices de eficiência externa (MSt/Nf e PC/Nf) decresceram a partir do óptimo económico (100 kg N/ha) com o azoto aplicado na forma de ureia. O facto dos fertilizantes orgânicos apresentarem valores inferiores à modalidade N100 significa que, da mesma quantidade de azoto aplicado, não resultou a mesma quantidade de azoto disponível para as plantas, porque com os fertilizantes orgânicos apenas uma fracção do azoto é disponibilizado no primeiro ano.

O retorno económico do investimento em fertilizante aumentou até ao óptimo económico e decresceu a partir desse ponto. Este índice tomou os valores 11,7, 46,6, 24,5, 15,5 e 18,7 escudos/escudo investido, para as modalidades N50, N100, N150, N200 e N250, respectivamente. Os fertilizantes orgânicos, devido aos elevados custos da unidade de azoto, originaram retornos económicos muito baixos, tomando os valores 4,8, 1,3, 0,8 e 1,0 esc./esc. investido para as modalidades BO, BA, AG e FE, respectivamente. Embora os fertilizantes orgânicos não sejam considerados nas explorações exclusivamente como fertilizantes azotados (até porque os produtos utilizados deveriam ser considerados correctivos orgânicos) e poderem, assim, originar efeitos benéficos em mais do que um ciclo cultural, devido aos elevados preços a que são comercializados não se revelaram como uma boa estratégia quando comparados com a ureia. A utilização de materiais orgânicos compostados na agricultura poderá ser um bom meio de reciclagem de matéria orgânica e nutrientes, de melhorar a produtividade das culturas e mais um meio de luta contra a poluição. Não parece lógico, no entanto, que devam ser os agricultores a pagar a totalidade dos encargos inerentes à recolha e tratamento desses produtos. A sociedade e a indústria que geram os resíduos deveriam pagar maioritariamente o seu tratamento e utilização,

aumentando a atracção económica do seu uso agrícola em circunstâncias de culturas com margens normalmente bastante reduzidas.

6.6 - BALANÇO DO AZOTO

O azoto mineralizado a partir da matéria orgânica nativa do solo e do restolho de centeio foi calculado para a modalidade testemunha, para a qual se assumiu que as perdas de azoto para fora do sistema solo-planta terão sido negligíveis. Estimou-se que, do processo de mineralização, terão resultado 65,2 kg/ha de azoto mineral. O azoto mineralizado mais o azoto mineral no início da estação de crescimento mais o azoto introduzido pela água de rega e precipitação constituíram 124 kg N/ha e originaram uma produção de mais de 22 t/ha de tubérculos na modalidade testemunha.

O azoto mineral no fim da estação de crescimento aumentou com as doses crescentes de azoto na forma de ureia e tomou os valores de 32,2, 35,9, 59,8, 52,2, 92,4 e 98,5 kg N/ha para as modalidades N0, N50, N100, N150, N200 e N250, respectivamente. Para os fertilizantes orgânicos, o azoto mineral, no fim da estação de crescimento, tomou os valores de 30,8, 46,4, 48,4 e 66,8 kg N/ha para as modalidades FE, BA, AG e BO, respectivamente. O azoto mineral, no fim da estação de crescimento, representa azoto potencialmente lixiviável, uma vez que se segue uma estação do ano onde são frequentes precipitações elevadas e o azoto mineral se encontrava predominantemente na forma nítrica. Parte do azoto terá sido perdido por lixiviação, mesmo antes da última amostragem, uma vez que a precipitação que antecedeu a última colheita ultrapassou os 100 mm. As modalidades constituídas por doses excessivas de azoto apresentavam, assim, um potencial de lixiviação mais elevado.

O azoto *perdido* (azoto que não determinamos) aumentou com a fertilização azotada e tomou os valores -3,5, -14,3, 60,6, 53,0 e 75,5 kg N/ha para as modalidades N50, N100, N150, N200 e N250, respectivamente. As modalidades N50 e N100 apresentaram valores negativos, sugerindo que o azoto encontrado na planta e na forma mineral no solo no fim da estação de crescimento excedeu as quantidades de azoto aplicado mais o azoto mineral no início da estação de crescimento mais o azoto mineralizado (com base na testemunha). Este resultado sugere que, devido ao efeito do azoto adicionado que terá promovido o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a actividade dos microrganismos que mineralizam a matéria orgânica, uma quantidade suplementar de azoto, relativamente à testemunha,

terá ficado à disposição das plantas nestas modalidades. O azoto *perdido* para os fertilizantes orgânicos tomou os valores 23,0, 23,5 e 27,2 kg N/ha para as modalidades AG, BA e BO, respectivamente. O fertor demarcou-se completamente dos restantes fertilizantes orgânicos, apresentando o valor de 80,6 kg N/ha. Este resultado foi justificado pela sua maior razão C/N e menores teores em azoto. O azoto *perdido* nas modalidades orgânicas deverá encontrar-se maioritariamente na fracção orgânica do solo, devendo as perdas para fora do sistema solo-planta ter sido reduzidas. Para as modalidades N150, N200 e N250 uma parte importante deverá encontrar-se no solo na fracção orgânica e, em menor quantidade, fixado nos minerais de argila. Perdas importantes para fora do sistema deverão ter ocorrido por lixiviação e, em menor extensão, por volatilização de amoníaco e desnitrificação de nitratos.

BIBLIOGRAFIA

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL (AFRC) (1992). Research on the Nitrogen Cycle. AFRC, Swindon, 20 p.
- ALLEN, E. J.; SCOTT, R. K. (1980). An analysis of growth of the potato crop. *J. Agric. Sci., Camb.*, **94**: 583-606.
- AMARAL, A. J. G. (1993). *Estudo da influência do tipo de material utilizado e da data de levantamento da cobertura directa em batata primor*. Dissertação do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, ISA, Lisboa, 110 p.
- AMBERGER, A. (1993). Efficient management of nitrogen fertilization in modern cropping systems. In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM M. L. VAN (eds). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 619-622 p.
- ARÓZARENA, N. J.; HERNÁNDEZ, J. G.; MUÑIZ, O.; DERONCELE, R. (1991). Relaciones nutrimentales en un sistema suelo-planta bajo condiciones de fertilización organomineral. *Agrotecnia de Cuba*, **23** (1-2): 21 - 27.
- AUFHAMMER, W.; EHMELE, F. P. (1994). Nitrogen use efficiency of different winter crop cultivars in relation to the production technique and cultivation method. In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 54-55.
- BARAK, P.; MOLINA, J. A. E.; HADAS, A.; CLAPP, C. E. (1990). Mineralization of amino acids and evidence of direct assimilation of organic nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 769 - 774.
- BARBER, S. A. (1979) Corn residue management and soil organic matter. *Agronomy J.*, **71**: 625 - 627.
- BARBER, S. A. (1984). Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. John Wiley & Sons, New York, 398 p.
- BAUDER, J. W.; MONTGOMERY, B. R. (1980). N-source and irrigation effects on nitrate leaching. *Agronomy J.*, **72**: 593 - 596.
- BERCHTOLD, A.; BESSON, J.-M.; FELLER, V. (1993). Effects of fertilization levels in two farming systems on senescence and nutrient contents in potato leaves. *Plant and Soil*, **154**: 81 - 88.
- BORIN, M.; MAGRINI, L. (1989). Fertilizzazione azotata ed organica della patata da industria (*Solanum tuberosum* L.): aspetti produttivi ed efficienza dell' azoto. *Riv. di Agron.*, **23**: 43 - 50.
- BOSWELL, F. C.; MEISINGER, J. J.; CASE, N. L. (1985). Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers. In: ENGELSTAD, O. P. (ed.). Fertilizer Technology and Use. 3^a ed., Soil Science Society of America, Wisconsin, 229-292 p.
- BRADY, N. C. (1990). The Nature and Properties of Soils. 10^a ed., MacMillan Publishing Company, New York, 621 p.
- BRELAND, T. A. (1994). Enhanced mineralization and denitrification as a result of heterogeneous distribution of clover residues in soil. *Plant and Soil*, **166**: 1 - 12.

- BROADBENT, F. E. (1986). Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. *Soil Sci.*, **141** (3): 208 - 213.
- BURESH, R. J.; CASTILLO, E. G.; DE DATTA, S. K. (1993). Nitrogen losses in puddled soils as affected by timing of water deficit and nitrogen fertilization. *Plant and soil*, **157**: 197-206.
- BURTON, W. G. (1966). The Potato. 2^a ed., Veenman, Wageningen, 287 p.
- BÁRCIA, M. (1980). Principais Pragas e Doenças da Batateira. ISA, Lisboa, 33 p. (mimeo.)
- CARRANCA, C. F. (1986). *Nitrogen availability and ammonium fixation in some maize cultivated soils of Portugal*. Thesis for M. Sc. (Agric) in " Soil Science", Agric. Univ. of Norway, 89 p.
- CARTER, J. N.; BENNETT, O. L.; PEARSON, R. W. (1967). Recovery of nitrogen under field conditions using nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **31**: 50 - 56.
- CASSMAN, K. G.; KROPFF, M. J.; GAUNT, J., PENG, S. (1993). Nitrogen use efficiency of rice reconsidered: what are the key constraints? *Plant and Soil*, **155/156**: 359 - 362.
- CASTRO, C. (1988). Efeito da adubação azotada e potássica sobre a produtividade e qualidade de duas cultivares de batata. *Anais da UTAD*, **1**: 117 - 123.
- CASTRO, C. (1994). Produtividade e qualidade de duas culturas de batata: resposta à adubação azotada. *Rev. de Ciências Agrárias*, Vol.XVII, n.º 4: 15 - 25.
- CLARKSON, D. T.; WARNER, A. J. (1979). Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by Italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *L. perenne*). *Plant Physiol.*, **64**: 557 - 561.
- COELHO, M. P. (1992). *Influência da nutrição azotada no crescimento, desenvolvimento e produção da batateira*. Dissertação do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, ISA, Lisboa, 120 p.
- COOKE, G. E. (1982). Fertilizing for Maximum Yield. 3rd ed., Granada Publishing, London, 465 p.
- COSTA, J. B. (1973). Caracterização e Constituição do Solo. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 527 p.
- COUTINHO, J. F. (1989). *Acidez dos solos e toxicidade do alumínio. Calibração de métodos de avaliação da necessidade em cal*. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real, 709 p.
- DAGNELIE, P. (1981). Théorie et Méthodes Statistiques - Exercices. Les Presses de Gembloux, Belgique.
- DALLA COSTA, L.; GIOVANARDI, R. (1994). Nitrogen fertility and water regime influence on N use efficiency in sunflower and maize. In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 98-99.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. (1986). Yield Response to Water. FAO Irrigation and drainage paper, n.º 33, Rome.

- DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper, nº 24, Rome.
- EURAGRI WORKSHOP ON NUTRIENT LOSSES FROM AGRICULTURE (1992). Nutrient Losses from Agriculture. EURAGRI (ocasional publication), Hoofddorp, Netherlands.
- FAUCI, M. F.; DICK, R. P. (1994). Plant response to organic amendements and decreasing inorganic nitrogen rates in soils from a long-term experiment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **58**: 134 - 138.
- FINCK, A. (1982). Fertilizers and Fertilization. Introduction and Practical Guide to Crop Fertilizations. Verlag Chemie, Weinheim.
- FIRESTONE, M. K. (1982). Biological denitrification. *In*: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy, nº 22, 289-318 p.
- FOLLETT, R.; MURPHY, L.S.; DONAHUE, R. L. (1981). Fertilizers and Soil Amendements. Prentice-Hall, New Jersey, 557 p.
- FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. (1988). Soil Fertility. John Wiley & Sons. New York.
- FOTYMA, E.; FOTYMA, M.; BEZDUSZNAK, D. (1994). The external and internal efficiency of nitrogen utilization by cereals. *In*: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*, Abano-Padova: 482-483.
- GAMA, M. V. (1986a). Formas do azoto no solo e seu dinamismo. *Pedon*, **6**: 129-141
- GAMA, M. V. (1986b). Taxas de mineralização do azoto orgânico do solo. *Pedon*, **6**: 143-149
- GHAROUS, M.; WESTERMAN, R. L.; SOLTANPOUR, P. N. (1990). Nitrogen mineralization potential of arid and semiarid soil of marocco. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 438 - 443.
- GILLIAN, J. W.; LOGAN, T. J. ; BROADBENT, F. E. (1985). Fertilizer use in relation to the environment. *In*: ENGELSTAD, O. P. (ed.). Fertilizer Technology and Use. 3ª ed., Soil Science Society of America, Wisconsin, 561-578 p.
- GIRARDIN, P. H.; TRENDEL, R.; MEYER, J - L.; BIRGAENTZLE, M.; FREYSS, P. (1993). Effects of conventional and multiple N application by fertigation on maize grain yields and NO₃⁻-N residues. *In*: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. VAN (eds). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 411-415 p.
- GOFFART, J. P.; GUIOT, J. (1993). Nitrogen fertilization of potato and maize in relation to yield, quality of the production and risks to the environment. *In*: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L.VAN (eds). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 641-649 p.
- GRANLI, T.; BØCKMAN, O. C. (1994). Nitrous oxide (N₂O) from agriculture. *In*: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 800-801.
- GREENWOOD, D. J.; NEETESON, J. J.; DRAYCOTT, A. (1985). Response of potato to N fertilizer: Quantitative relations for components of growth. *Plant and Soil*, **85**: 163 - 183.

- GRIGNANI, C.; ACUTIS, M. (1994). Organic fertilization efficiency and nitrogen leaching in maize based forage systems. *In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 804-805.
- GUERRERO, A. (1987). *Cultivos Herbaceos Extensivos*. 4^a ed., Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- GÜNTHER-BORSTEL, O.; SIELING, K.; CHRISTEN, O. (1994). Effect of mineral fertilizer treatment and slurry application on nitrogen leaching after oilseed rape (SFB 192). *In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 808-809.
- HANLEY, N. (1990). The economics of nitrate pollution. *Euro. R. Agri. Eco.*, **17**: 129-151.
- HARRIS, P. J. (1988). Microbial transformations of nitrogen. *In: WILD, A. (ed.). Russell's Soil Conditions & Plant Growth*. 11^a ed., Longman Scientific & Technical, New York, 608-651 p.
- HARRIS, P. M. (1992). Mineral nutrition. *In: HARRIS, P. M. (ed.). The Potato Crop - The Scientific Basis for Improvement*. 2^a ed., Chapman & Hall, 163 - 213 p.
- HAUCK, R. D. (1985). Slow-release and bioinhibitor-amended nitrogen fertilizers. *In: ENGELSTAD, O. P. (ed). Fertilizer Technology and Use*, 3^a ed., Madison, Wisconsin, 293 - 322 p.
- HELLER, R. (1990). *Physiologie Végétale: 2 - Développement*. 4^a ed., Masson, Paris.
- HOFMAN, G. ; VERSTEGEN, P.; DEMYTTENAERE, P.; MEIRVENNE, M VAN; DELANOTE, P.; AMPE, G. (1993). Comparasion of row and broadcast N application on N efficiency and yield of potatoes. *In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. VAN (eds). Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 359-365 p.
- HOLLIDAY, R. (1963). Effects of fertilizers upon potato yields and quality. *In: IVINS, J. D. and MILTHORPE, F. L. (eds). The Growth of the Potato*. Butterworths, London, 248 - 264 p.
- HOUBA, V. J.; VAN DER LEE, J. J.; NOVOZAMSKY, I.; WALINGA, I. (1989). *Soil and Plant Analysis. Part 5 - Soil Analysis Procedures*. Wageningen,
- HUANG, Z.-W.; BROADBENT, F. E. (1988). The efficiency of potassium nitrate and urea fertilizers on rice in flooded soil. *Soil Sci.*, **146** (6): 461 - 465.
- HUNT, R. (1978). *Plant Growth Analysis. Studies in biology* n° 96, Edward Arnold, 67 p.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (IFA) (1992a). *Sustainable Agricultural Systems for the Twenty-first Century - The Role of Mineral Fertilizers*. IFA, Paris.
- INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (IFA) (1992b). *The World Fertilizer Industry Working for an Economically & Environmentally Sustainable Agricultural System*. IFA, Paris.
- JANSSON, S. L.; PERSSON, J. (1982). Mineralization and immobilization of soil nitrogen. *In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy, n° 22, 229-252 p.

- JARVIS, S. C.; HATCH, B. F.; PAIN, B. F.; KLARENBECK, J. V. (1994). Denitrification and the evolution of nitrous oxide after the application of cattle slurry to a peat soil. *Plant and Soil*, **166**: 231-241.
- JENKINSON, D. S.; FOX, R. H.; RAYNER, J. H. (1985). Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called "priming" effect. *J. of Soil Sci.*, **36**: 425 - 444.
- JUNG, P. E.; PETERSON, L. A.; SCHRADER, L. E. (1972). Response of irrigated corn to time, rate and source of applied N on sandy soils. *Agronomy J.*, **64**: 668 - 671.
- KEENEY, D. R. (1982). Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. *In*: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, nº 22, p. 605-649.
- KISSEL, D. E.; SANDER, D. H.; ELLIS, R. (1985). Fertilizer-plant interactions in alkaline soils. *In*: ENGELSTAD, O. P. (ed). Fertilizer Technology and Use, 3^a ed., Madison, Wisconsin, 153 - 196 p.
- KWONG, K. F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P. C.; RIVIERE, V. (1986). Biological immobilization of fertilizers nitrogen in humid tropical soils of Mauritius. *Soil Sci.*, **141** (3): 195 - 199.
- LARSON, W. E.; CLAPP, C. E.; PIERRE, W. H.; MORACHAN, Y. B. (1972). Effects of increasing amount of organic residue on continuous corn: II. Organic carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur. *Agronomy J.*, **64**: 204 - 208.
- LAUER, D. A. (1985). Nitrogen uptake patterns of potatoes with high-frequency sprinkler-applied N fertilizer. *Agronomy J.*, **77**: 193 - 197.
- LEFFELAAR, P. A.; WESSEL, W. W. (1988). Denitrification in a homogeneous, closed system: experiment and simulation. *Soil Sci.*, **146** (5): 335 - 349.
- LEGG, J. O.; MEISINGER, J. J. (1982). Soil Nitrogen Budgets. *In*: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, nº 22, 503-566 p.
- LEMA GESTO, M. J.; CORTIZAS, A. M. (1990). Respuesta de la planta de patata al abonado N/K: exportaciones efectuadas por los tuberculos. *I Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas*, Lisboa, 289 - 294 p.
- LEMON, E.; HOUTTE, R. van (1980). Ammonia exchange at the land surface. *Agronomy J.*, **72**: 876 - 883.
- LEWAN, L. (1994) Effects of catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: Simulations and measurements. *Plant and Soil*, **166**: 137 - 152.
- LEWIS, O. A. M. (1986). Plants and Nitrogen. *Studies in Biology*, nº 166. Edward Arnold, 104 p.
- LIEGEL, E. A.; WALSH, L. M. (1976). Evaluation of sulfur-coated urea (SCU) applied to irrigated potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Agronomy J.*, **68**: 457 - 463.
- LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. (1978). Agricultural Experimentation - Design and Analysis. John Wiley & Sons, New York, 350 p.

- LOPES, C. M. (1989). *Análise da influência da densidade de plantação no crescimento e produção de batata primor (Solanum tuberosum L.) e validação do modelo Potato 2*. Dissertação do curso de Mestrado em Produção Vegetal, ISA, Lisboa, 116 p.
- LOPES, C. M.; PINTO, P.A. (1990). Crescimento e produção de batata primor na região do Oeste. I - Análise comparativa do crescimento e produção em três densidades de plantação. *I Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas*, Lisboa, 266 - 272 p.
- MACKERRON, D. K. L.; YOUNG, M. W.; DAVIES, H. V. (1993). A method to optimize N-application in relation to soil supply of N, and yield of potato. *Plant and Soil*, **154**: 139 - 144.
- MAMBELLI, S.; GRANDI, S. (1994). Sugarbeet nitrogen uptake in relation to fertilizer N rate and distribution method. *In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 174-175.
- MARSCHNER, H. (1986). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, 674 p.
- MARTINOIA, E.; HECK, U.; WIEMKEN, A. (1981). Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. *Nature*, **289**: 292 - 293.
- MARTINS, F. M. (1990). *Estudos de crescimento de batata em condições mediterrânicas*. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 354 p.
- MARTINS, M. I. M. (1994). *A fertilização azotada no milho em solos do Baixo Mondego. Contribuição para o seu estudo*. Dissertação do curso de mestrado em Nutrição Vegetal, Fertilidade dos Solos e Fertilização. ISA, Lisboa, 177 p.
- MCCOLLUM, R. E. (1978). Analysis of potato growth under differing P regimes. I. Tuber yields and allocation of dry matter and P. *Agronomy J.*, **70**: 51 - 57.
- MCCOLLUM, R. E. (1978). Analysis of potato growth under differing P regimes. II. Time by P-status interactions for growth and leaf efficiency. *Agronomy J.*, **70**: 58 - 66.
- MCTAGGART, I. P.; SMITH, K. A. (1993). Estimation of potentially mineralisable nitrogen in soil by KCl extraction. II. Comparison with soil N uptake in the field. *Plant and Soil*, **157**: 175 - 184.
- MEHOUACHI, T.; LEMEUR, R. (1993). Effect of nutritional stress on photosynthesis rate of potato (Solanum tuberosum L.). *In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. VAN (eds). Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 541-546 p.
- MENDES, J. C.; BETTENCOURT, M. L. (1980). Contribuição para o estudo do balanço de água no solo e classificação climática de Portugal Continental. *In: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (ed.). O Clima de Portugal*. Fasc. XXIV, Lisboa.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. (1987). *Principles of Plant Nutrition*. 4^a ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- MOORBY, J.; MILTHORPE, F. L. (1978). Potato. *In: EVANS, L. T. (ed). Crop Physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 225 - 257 p.

- MORENA, I.; GUILLÉN, A.; MONTOSA, J. M. (1990). Efectos de la dosis y la fecha de aplicación del nitrógeno sobre la producción del cultivo de Patata. *I Congreso Ibérico de Ciências Hortícolas*, Lisboa, 284 - 288 p.
- MÜHLING, K. H.; KUTZMUTZ, E.; SATTELMACHER, B. (1994). Influence of nitrogen nutrition on nitrate concentration in potato tubers. *In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 504-505
- NELSON, D. W. (1982). Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. *In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy, nº 22, 327-363 p.
- NOMMIK, H.; VAHTRAS, K. (1982). Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. *In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy, nº 22, 123-171 p.
- NORMANN, R. J.; GILMOUR, J. T.; WELLS, B. R. (1990). Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues and utilization by rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 1351 - 1356.
- O'BEIRNE, D.; CASSIDY, J. C. (1990). Effects of nitrogen fertilizer on yield, dry matter content and flouriness of potatoes. *J. Sci. Food Agri.*, **52**: 351 - 363.
- OLIVEIRA, A. A. R. (1990). *Cálculo das necessidades úteis de água de rega para o vale de França*. Relatório final de estágio da licenciatura em Engenharia Agrícola. UTAD, Vila Real.
- OLSON, R. A.; KURTZ, L. T. (1982). Crop Nitrogen requirements, utilization, and fertilization. *In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy, nº 22, 567-604 p.
- OLSON, R. V.; MURPHY, L. S.; MOSER, H. C.; SWALLOW, C. W. (1979). Fate of tagged fertilizer nitrogen applied to winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **43**: 973 - 975.
- OLSON, R. V.; SWALLOW, C. W. (1984). Fate of labeled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**: 583 - 587.
- OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. (1967). Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **31**: 57 - 61.
- PATRICK, W. H.; REDDY, K. R. (1976). Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **40**: 678 - 681.
- PAVLÍKOVÁ, D.; BALIK, J.; VANEK, V.; VOSTAL, J. (1994). Influence of different forms of N fertilizers on N uptake by poppy (*Papaver somniferum* L.). *In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 204-205.
- PEREIRA, J. M. S. (1982). Os Ciclos Biogeoquímicos nos Ecossistemas Florestais e Agrícolas. ISA, Lisboa, (mimeo.).
- PETERSEN, R. G. (1985). Design and Analysis of Experiments. Macel Dekker Inc., New York.

- PINTO, P.A.; LOPES, C.M. (1990). Crescimento e produção da cultura da batata na região do Oeste. 2 - Validação de campo do modelo Potato.2. *I Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas*, Lisboa, 273 - 279 p.
- POOVARODOM, S.; TATE, R. L. (1988). Nitrogen mineralization rates of the acidic, xeric soils of the New Jersey pinelands: Laboratory Studies. *Soil Sci.*, **145** (5): 337 - 344.
- PORTAS, C. A. M. (1987). Quadros e Tabelas da Disciplina de Sistemas de Agricultura I. Curso de Mestrado em Produção Vegetal. I. S. A., Lisboa (mimeo.).
- PORTAS, C. A. M. (1988). Tabelas Fitotécnicas. Cadeira de Horticultura e Arboricultura. 2ª edição revista. I. S. A., Lisboa (mimeo.).
- PORTAS, C. A. M.; MARTINS, F. M. (1981). Aptidão climática para a cultura da batata em Portugal Continental, com referência a um modelo de simulação. *Associação Portuguesa de Horticultura*. II Colóquio Nacional Sobre a Produção de Batata. Vila Real, 115 - 141 p.
- RADLEY, R. W. (1963). The effect of season on growth and development of the potato. In: IVINS, J. D. e MILTHORPE, F. L. (eds). *The Growth of the Potato*. Butterworths, London, 211-220 p.
- RAO, A. C. S.; SMITH, J. L.; PAPENDICK, R. I.; PARR, J. F. (1991). Influence of added nitrogen interactions in estimating recovery efficiency of labeled nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **55**: 1616 - 1621.
- RAPOSO, J. R. (1994). A Rega por Aspersão. 2ª ed., Clássica Editora, Lisboa.
- REDDY, G.B.; REDDY, K. R. (1993). Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **57**: 111 - 115.
- RÉFEGA, A. G.; MARTINS, A. A. (1984). Esboço da Carta de Solos da Quinta de Santa Apolónia. E.S.A., Bragança (não publicado).
- RELUY, M.; GUTIÉRREZ, M. A.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. (1994). Response to nitrogen fertilization of two barley cultivars in a semiarid environment in the northeast of Spain. In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 222-223.
- RODRIGUES, M. A. R. (1992). *Sementeiras antecipadas na cultura do girassol. Efeito da data de sementeira, da densidade populacional e cultivares nos componentes da produção*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica, ISA, Lisboa 107 p.
- RUFTY, T. W.; VOLK, R. J.; MCCLURE, R. R.; ISRAEL, D. W.; RAPER, C. D. (1982). Relative content of NO₃⁻ and reduced N in xylem exudate as an indicator of root reduction of concurrently absorbed ¹⁵NO₃⁻. *Plant Physiol.*, **69**: 166 - 170.
- RUITER, P. C.; VEEN, J. A. VAN; MOORE, J. C.; BRUSSAARD, L.; HUNT, H. W. (1993). Calculation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant and soil*, **157**: 263 - 273.
- SAFFIGNA, P. G.; KEENEY, D. R. (1977). Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy J.*, **69**: 258 - 263.

- SAFFIGNA, P. G.; KEENEY, D. R. ; TANNER, C. B. (1977). Nitrogen, chloride, and water balance whit irrigated Russet Burbank potatoes in a sandy soil. *Agronomy J.*, **69**: 251 - 257.
- SANTOS, J. Q. (1983). Fertilizantes. Fundamentos e Aspectos Práticos da sua Aplicação. Publicações Europa-América, Mem Martins, 246 p.
- SANTOS, J. Q. (1991). Fertilização - Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos. Publicações Europa-América, Mem Martins, 442 P.
- SANTOS, J. Q. (1992). A Poluição Causada pelos Fertilizantes. ISA, Lisboa, (mimeo.).
- SANTOS, L. M. C. (1993). *Resíduos com interesse agrícola. Evolução de parâmetros da sua compostagem*. Dissertação do Curso de Mestrado Nutrição Vegetal, Fertilidade dos solos e Fertilização, ISA, Lisboa, 166 p.
- SCHNIER, H. F. (1994). Nitrogen-15 recovery fraction in flooded tropical rice as affected by Added Nitrogen Interaction. *Eur. J. Agron.* **3** (2): 161-167.
- SCHRADER, L. E.; DOMSKA, D.; JUNG, P. E.; PETERSON, L. A. (1972). Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy J.*, **64**: 690 - 695.
- SHAVIV, A. (1993). Controlled supply of fertilizers for increasing use efficiency and reducing environmental damage. In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. VAN (eds). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, 651-656 p.
- SHOJI, S.; GANDEZA, A. T.; KIMURA, K. (1991). Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: II. Nitrogen uptake by corn. *Soil Sci. Am. J.*, **55**: 1468 - 1473.
- SIMPSON, K. (1986). Fertilizers and Manures. Longman Scientific & Technical, England, 254 p.
- SMIKA, D. E.; HEERMANN, D. F.; DUKE, H. R.; BATHCHOLDER, A. R. (1977). Nitrate-N percolation through irrigated sandy soil as affected by water management. *Agronomy J.*, **69**: 623 - 626.
- SMITH, J. H.; PETERSON, J. R. (1982). Recycling of nitrogen through land application of agricultural, food processing, and municipal wastes. In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, nº 22, 791-831 p.
- SMITH, K. A.; LI, S. (1993). Estimation of potentially mineralisable nitrogen in soil by KCl extraction. I. Comparison with pot experiments. *Plant and Soil*, **157**: 167 - 174.
- STALEY, T. E.; CASKEY, W. H.; BOYER, D. G. (1990). Soil denitrification and nitrification potentials during the growing season relative. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 1602 - 1608.
- STANFORD, G. (1982). Assessment of soil nitrogen availability. In: STEVENSON, F. J. (ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, nº 22, 651-688 p.

- STANFORD, G.; VANDER POL, R. A.; DZIENIA, S. (1975). Denitrification rates in relation to total and extractable soil carbon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **39** : 284 - 289.
- STEVENSON, F. J. (1986). *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley & Sons, New York, 380 p.
- SULÇE, S.; VONG, P. C.; JACQUIN, F. (1994). Immobilization and remineralization of organic nitrogen in three cultivated soils of Albania. In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 540-541.
- SWANSON, E. R. (1982). Economic implication of controls on nitrogen fertilizer use. In: STEVENSON, F. J. (ed.). *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy, nº 22, 773-790 p.
- TAVARES, P. M. T. (1993). *Efeito da aplicação fraccionada de azoto na produção da batata*. Relatório final de estágio da licenciatura em Engenharia Agrícola, UTAD, Vila Real.
- THOMSEN, I. K. (1993). Nitrogen uptake in barley after spring incorporation of ^{15}N - labeled italian ryegrass into sandy soils. *Plant and Soil*, **150**: 193 - 201.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. (1985). *Soil Fertility and Fertilizers*. 4^a ed., Macmillan Publishing Company, New York, 754 p.
- TREHAN, S. P.; WILD, A. (1993). Effects of an organic manure on the transformations of ammonium nitrogen in planted and unplanted soil. *Plant and Soil*, **151**: 287 - 294.
- TYLER, K. B.; BROADBENT, F. E.; BISHOP, J. C. (1983). Efficiency of Nitrogen uptake by potatoes. *Am. Potato J.*, **60**: 261 - 269.
- VALE, A. P. (1993). *Influência da acção de correctivos orgânicos em dois solos do Noroeste*. Dissertação do Curso de Mestrado em Nutrição Vegetal, Fertilidade dos Solos e Fertilização. ISA, Lisboa, 158 p.
- VASCONCELOS, E. P. (1992). Adubos de Libertação Lenta, de Acção Controlada ou de Libertação Gradual de Nutrientes. ISA, Lisboa, (mimeo.).
- VIGIL, M. F.; KISSEL, D. E.; SMITH, S.J. (1991). Field crop recovery and modeling of nitrogen mineralized from labeled sorghum residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **55**: 1031-1037.
- VIVANCOS, A. D. (1989). *Tratado de Fertilization*. Ediciones Mundi-Prensa, 2^a ed., Madrid.
- VOS, J.; PUTTEN, P. (1994). Nitrogen accumulation in catch crops. In: BORIN, M.; SATTIN, M. (eds). *Third Congress of the European Society for Agronomy*. Abano-Padova: 846-847.
- WALTERS, D. T.; MALZER, G. L. (1990a). Management and nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: I. Yield and fertilizer use efficiency. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 115 - 122.

- WALTERS, D. T.; MALZER, G. L. (1990b). Management and nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: II. Nitrogen leaching and balance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **54**: 122 - 130.
- WATSON, D. J. (1963). Some features of crop nutrition. *In*: IVINS, J. D. and MILTHORPE, F. L. (eds). *The Growth of the Potato*. Butterworths, London, 233 - 247 p.
- WESTERMAN, R. L.; KURTZ, L. T. (1973). Priming effect of ¹⁵N labeled fertilizers on soil nitrogen in field experiments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **37**: 725 - 727.
- WESTERMANN, D. T.; KLEINKOPF, G. E. (1985). Nitrogen Requirements of potatoes. *Agronomy J.*, **77**: 616 - 621.
- WESTERMANN, D. T.; KLEINKOPF, G. E.; PORTER, L. K. (1988). Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *Am. Potato J.*, **65**: 377 - 386.
- WILD, A. (1988). Plant nutrients in soil: Nitrogen. *In*: WILD, A. (ed.). *Russell's Soil Conditions & Plant Growth*. 11^a ed., Longman Scientific & Technical, New York, 652 - 694 p.
- XU, Z. H.; SAFFIGNA, P. G.; MYERS, R. J. K.; CHAPMAN, A. L. (1993a). Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics: I. Mineralization of nitrogen from leucaena residues. *Plant and Soil*, **148**: 63 - 72.
- XU, Z. H.; SAFFIGNA, P. G.; MYERS, R. J. K.; CHAPMAN, A. L. (1993b). Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics: II. Response of maize growth to addition of nitrogen fertilizer and plant residues. *Plant and Soil*, **148**: 73 - 82.
- YOUNG, M. W., DAVIES, H. V.; MACKERRON, D. K. L. (1993). Comparison of techniques for nitrogen analysis in potato crops. *In*: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. VAN (eds). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers. 7-11 p.
- ZACCHEO, P.; CRIPPA, L.; GENEVINI, P. L. (1993). Nitrogen transformation in soil treated with ¹⁵N labelled dried or composted regrass. *Plant and Soil*, **148**: 193 - 201.

ANEXOS

ANEXO 1 - Dados climáticos

Quadro A1 - Registos meteorológicos na Estação da Q.ta de S.ta Apolónia, no ano do ensaio (1994)

| Quinzenas | Temp. do ar (°C) | | | | Precipitação | | | T. relva (°C) | | T. solo (°C) | Hum. relat. (%) | Evap. tina (mm) | Insolação (horas) |
|-----------|------------------|-----------|-------|-----------|--------------|------------|---------------|----------------|-----------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | Mín. abs. | Méd. mín. | Média | Méd. máx. | Máx. abs. | Acum. (mm) | R ≥ 10 (dias) | R ≥ 0,1 (dias) | Mín. abs. | | | | |
| 1ª Mai | 2,6 | 6,4 | 13,0 | 19,5 | 28,0 | 47,4 | 3 | 5 | -2,0 | 15,3 | 68,9 | 70,4 | 124,6 |
| 2ª Mai | 4,0 | 7,0 | 12,7 | 18,4 | 25,0 | 99,0 | 3 | 10 | 1,5 | 14,1 | 74,5 | 54,8 | 111,0 |
| 1ª Jun | 5,0 | 8,4 | 16,6 | 24,7 | 30,0 | 0,6 | 0 | 2 | -0,5 | 17,2 | 61,0 | 96,3 | 168,1 |
| 2ª Jun | 5,4 | 10,9 | 18,9 | 26,9 | 33,3 | 11,2 | 0 | 3 | 2,0 | 19,6 | 63,0 | 93,1 | 154,2 |
| 1ª Jul | 8,7 | 12,6 | 21,2 | 29,8 | 33,0 | 0,0 | 0 | 0 | 5 * | 23,3* | 59,0 | 41* | 48,9** |
| 2ª Jul | 10,5 | 13,8 | 21,8 | 29,7 | 33,4 | 2,1 | 0 | 2 | - | - | 60,3 | - | - |
| 1ª Ago | 9,8 | 12,2 | 19,5 | 26,8 | 31,2 | 12,0 | 1 | 2 | 10,2*** | 20,4*** | 66,3 | 44,7*** | 80,6*** |
| 2ª Ago | 9,4 | 12,5 | 21,3 | 30,0 | 34,6 | 0,3 | 0 | 1 | 10,4 | 21,4 | 58,5 | 101,9 | 175,0 |
| 1ª Set | 7,0 | 10,9 | 16,9 | 22,9 | 30,0 | 10,7 | 0 | 3 | 3,4 | 18,6 | 66,5 | 63,5 | 113,0 |
| 2ª Set | 2,0 | 6,4 | 13,0 | 19,6 | 26,6 | 6,0 | 0 | 4 | 0,0 | 13,9 | 67,9 | 39,1 | 97,3 |
| 1ª Out | 5,0 | 8,8 | 15,4 | 21,9 | 25,5 | 13,9 | 0 | 6 | 3,0 | 14,7 | 67,9 | 39,6 | 96,3 |
| 2ª Out | 1,0 | 6,0 | 11,3 | 16,5 | 20,5 | 52,0 | 2 | 10 | -0,8 | 12,2 | 76,9 | 22,3 | 78,4 |
| 1ª Nov | 0,0 | 6,2 | 10,1 | 14,0 | 18,5 | 96,3 | 3 | 12 | -1,5 | 10,7 | 82,2 | 17,3 | 43,4 |
| 2ª Nov | -1,4 | 1,7 | 8,5 | 15,2 | 19,5 | 7,8 | 0 | 2 | -3,0 | 8,2 | 77,1 | 11,6 | 76,2 |

* - Valores dos primeiros 5 dias da quinzena

** - Valores dos primeiros 4 dias da quinzena

*** - Valores dos últimos 9 dias da quinzena

ANEXO 2 - Dados dos solos da parcela onde decorreu o ensaio

2.1 - Recomendação de fertilização (pag. seguinte)

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

ESCOLA SUPERIOR AGRARIA

TECNICO Haruel Anselmo Rodrigues

BRIGADA CONCELHIA _____

PROPRIETÁRIO _____

MORADA _____

RESULTADOS DAS ANÁLISES ÀS AMOSTRAS ENVIADAS EM _____

| Nº AMOSTRA | PROF. cm | LOCALIZAÇÃO | TEXTURA | % M.O. | pH | | P ₂₀₅ FÓSFORO ppm | K ₂₀ POTÁSSIO ppm |
|------------|----------|---------------|-----------------|--------|------------------|-----|------------------------------|------------------------------|
| | | | | | H ₂ O | KCl | | |
| 3540 | 0-20 | Qta de Apónia | Franco-Argilosa | 2.3 | 6.2 | 5.6 | 100 A | 153 A |
| | | CSAD | | | | | | |
| | | | | | | | | |

RECOMENDAÇÃO

| Nº AMOSTRA | CULTURA | CALCÁRIO | ESTRUME | N kg/ha | P ₂₀₅ kg/ha | K ₂₀ kg/ha |
|------------|---------------------|----------|---------|-----------|------------------------|-----------------------|
| 3540 | Batata | | | 120 - 150 | 40 - 50 | 120 - 150 |
| | (Prod. Esp. 25 ton) | | | | | |
| | | | | | | |

OBSERVAÇÕES

Da próxima vez que envie amostras destas parcelas, indique a fertilidade realmente efectuada, as produções obtidas e qualquer outro elemento que julgue útil sobre a cultura

DATA: 4 / 5 / 84

O RESPONSÁVEL
[Assinatura]

A - Alto
TEXTURA

Grosseira-arenosa; areno-franco; franco arenosa
Média - franca; franco limosa

2.2 - Representação esquemática, descrição do perfil e resultados das análises físico-químicas (Réfega e Martins, 1984)

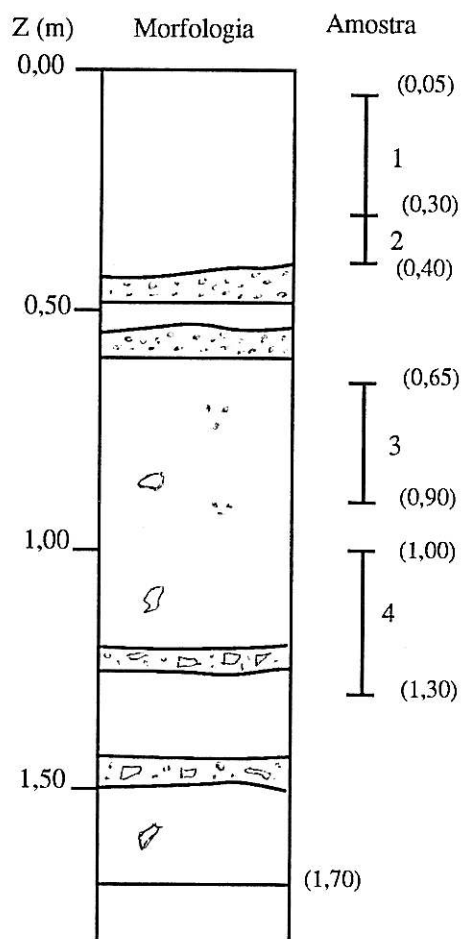


Fig. A2 - Representação esquemática do perfil

Descrição do perfil

1. Pardo amarelo 10 YR 5/4 (s), pardo a pardo escuro 7,5 YR 4/4 (h), com algumas manchas pequenas evidentes, ferrugíneas laranga 5 YR 5/6 e algumas manchas acinzentadas pouco evidentes, pequenas; franco limoso, com pouco saibro cascalho e pedra subangulosa e angulosa; agregação anisoforme subangulosa, fina, média grosseira e muito grosseira, forte e granulosa fina e média, moderada junto às raízes; compactidade pequena; duro ou muito duro; fechado a pouco poroso, muito fino; muitas raízes finas e algumas médias; seco.

2. Pardo forte 7,5 YR 5/6 (h), com muitas manchas ferrugíneas laranga 5 YR 4/6 e 5/6 distintas pequenas e grandes e algumas manchas acinzentadas distintas pequenas e médias; franco argilo-limoso, com duas camadas assinaladas constituídas

por areia, saibro subanguloso e algum cascalho de material diverso de origem aluvionar. Na parte envolvente destas camadas, o solo apresenta pouco saibro; sem agregação; compactidade média a grande; ligeiramente duro e friável; pouco poroso, muito fino; algumas raízes finas; seco e fresco

3. Pardo escuro 7,5 YR 3/2 (h) com muitas manchas ferrugíneas pardo avermelhadas 5 YR 4/4 pequenas e médias, proeminentes e muitas manchas acinzentadas médias, distintas pardo acinzentado escuro 2,5 YR 4/2; franco-argiloso, com pouco saibro em bolsas; sem agregação; compactidade pequena; friável; pouco poroso, muito fino e médio de origem biótica; algumas raízes finas; fresco

4. Mistura de: pardo acinzentado escuro a pardo amarelo muito escuro 2,5 YR 3,5/2, com pardo avermelhado escuro 5 YR 3/3, destacando-se esta última em manchas médias e proeminentes; franco a franco-argilo-arenoso; com algum a bastante saibro, cascalho e pedras subangulosas e boleados, dispostos preferencialmente em camada; sem agregação; compactidade pequena a média; friável; pouco poroso, muito fino, fino e média de origem biótica; raras raízes finas; húmido.

Existe também material manganífero com dimensão saibro e mesmo cascalho ao longo do perfil com maior incidência na última camada

Quadro A2 - Registos das análises físico-químicas

| Profundidade (cm) | 05 - 30 | 30 - 40 | 65 - 90 | 100 - 130 |
|------------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| El. gross. (%) | 1,85 | 2,35 | 1,58 | 14,57 |
| Ar. grossa (%) | 1,6 | 9,4 | 2,6 | 13,3 |
| Ar. fina (%) | 50,3 | 51,4 | 59,7 | 59,6 |
| Limo (%) | 32,7 | 24,0 | 22,5 | 16,1 |
| Argila (%) | 24,4 | 15,2 | 15,2 | 11,0 |
| Textura | Fr. limosa | Franca | Franca | Fr. arenosa |
| Perm. inicial (cm/h) | 0,16 (lenta) | 0,77 (mod. lenta) | 0,76 (mod. lenta) | 0,93 (mod. lenta) |
| Perm. constan. (cm/h) | 0,16 (lenta) | 0,94 (mod. lenta) | 1,45 (mod. lenta) | 1,00 (mod. lenta) |
| % a pF 2,0 | 39,72 | 32,62 | 31,97 | 24,42 |
| % a pF 2,7 | 31,79 | 24,02 | 21,95 | 16,69 |
| % a pF 4,2 | 25,00 | 16,50 | 12,95 | 10,56 |
| Densid. real | 2,41 | 2,09 | 2,44 | 2,46 |
| Densid. aparente | 1,19 | 1,25 | 1,29 | 1,37 |
| Poros. total (%) | 51,99 | 42,41 | 49,86 | 46,26 |
| Cap. máx. p. água (%) | 44,97 | 35,17 | 40,72 | 35,02 |
| Expansibilidade (%) | 4,32 | 5,84 | 9,87 | 7,04 |
| Índ. exp. (%) | 28,80 | 31,74 | 66,69 | 90,26 |
| pH (H ₂ O) | 6,2 | 6,9 | 7,1 | 6,8 |
| pH (KCl) | 5,5 | 5,1 | 5,1 | 5,5 |
| Mat. orgânica (%) | 2,78 | 0,95 | 0,79 | ----- |
| C orgânico (%) | 1,61 | 0,55 | 0,46 | ----- |
| N total (%) | 0,188 | 0,092 | 0,084 | ----- |
| Ca de troca (me/100 g) | 14,25 | 7,68 | 6,16 | 7,25 |
| Mg " | 9,06 | 9,06 | 11,54 | 7,42 |
| K " | 0,11 | 0,13 | 0,23 | 0,08 |
| Na " | 0,07 | 0,13 | 0,14 | 0,15 |
| H " | 10,86 | 17,02 | 18,07 | 14,87 |
| Acidez | 0,16 | 0,09 | 0,09 | 0,12 |
| Cat. troca (me/100g) | 23,49 | 17,00 | 18,07 | 14,87 |
| Cap. troca (me/ 100g) | 23,65 | 19,09 | 18,16 | 14,99 |
| Grau de sat. (%) | 99,32 | 99,47 | 99,50 | 99,20 |
| P extraível (ppm) | 27 (B) | 162 (A) | 147 (A) | ----- |
| K " " | 80 (M) | 42 (B) | 36 (B) | ----- |
| P total | 100 | 159 | 100 | |

ANEXO 3 - Registos do número de tubérculos e matéria seca dos diferentes componentes da planta ao longo da estação de crescimento

Quadro A3.1 - Data 1 (50 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 1 | 4 | 3,6 | 27,1 | 70,5 |
| | 2 | 0 | 0 | 0,0 | 16,0 | 54,0 |
| | 3 | 4 | 3 | 1,9 | 22,4 | 76,2 |
| N50 | 1 | 0 | 0 | 0,0 | 24,7 | 64,8 |
| | 2 | 3 | 4 | 2,2 | 29,2 | 79,0 |
| | 3 | 2 | 2 | 1,3 | 36,0 | 82,9 |
| N100 | 1 | 3 | 1 | 0,9 | 21,8 | 62,0 |
| | 2 | 6 | 5 | 7,7 | 44,4 | 109,1 |
| | 3 | 7 | 9 | 17,6 | 49,9 | 110,6 |
| N150 | 1 | 4 | 1 | 0,4 | 35,2 | 50,3 |
| | 2 | 0 | 2 | 0,6 | 39,0 | 116,6 |
| | 3 | 1 | 4 | 6,4 | 54,4 | 135,0 |
| N200 | 1 | 2 | 8 | 20,0 | 42,2 | 102,3 |
| | 2 | 1 | 4 | 5,8 | 41,2 | 110,2 |
| | 3 | 1 | 7 | 32,0 | 47,7 | 107,5 |
| N250 | 1 | 6 | 3 | 1,6 | 40,0 | 107,8 |
| | 2 | 2 | 1 | 0,4 | 36,3 | 94,5 |
| | 3 | 2 | 5 | 4,8 | 73,3 | 146,7 |
| 100 (BO) | 1 | 5 | 4 | 4,6 | 34,2 | 82,5 |
| | 2 | 0 | 4 | 7,7 | 31,8 | 85,3 |
| | 3 | 6 | 6 | 9,4 | 37,4 | 81,6 |
| 100 (BA) | 1 | 3 | 0 | 0,2 | 28,9 | 76,2 |
| | 2 | 2 | 8 | 7,4 | 49,9 | 109,0 |
| | 3 | 0 | 0 | 0,0 | 16,0 | 41,4 |
| AG (100) | 1 | 0 | 0 | 0,0 | 16,9 | 61,8 |
| | 2 | 5 | 0 | 0,3 | 26,7 | 72,2 |
| | 3 | 2 | 0 | 0,1 | 22,3 | 71,7 |
| FE (100) | 1 | 9 | 9 | 3,2 | 18,7 | 70,4 |
| | 2 | 4 | 4 | 1,0 | 36,0 | 86,2 |
| | 3 | 4 | 6 | 3,1 | 23,2 | 80,1 |

Quadro A3.2 - Data 2 (64 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 5 | 17 | 96,9 | 100,3 | 133,7 |
| | 2 | 1 | 19 | 134,5 | 93,5 | 124,6 |
| | 3 | 0 | 11 | 180,0 | 142,9 | 190,6 |
| N50 | 1 | 0 | 8 | 77,6 | 102,4 | 136,5 |
| | 2 | 1 | 20 | 87,3 | 125,9 | 167,6 |
| | 3 | 1 | 9 | 70,7 | 91,9 | 122,5 |
| N100 | 1 | 8 | 15 | 55,5 | 178,0 | 237,3 |
| | 2 | 0 | 12 | 144,0 | 145,5 | 194,0 |
| | 3 | 1 | 17 | 50,7 | 106,7 | 142,2 |
| N150 | 1 | 3 | 17 | 68,8 | 121,7 | 162,3 |
| | 2 | 1 | 16 | 53,3 | 106,5 | 142,0 |
| | 3 | 5 | 16 | 123,1 | 173,1 | 230,8 |
| N200 | 1 | 7 | 11 | 109,3 | 152,8 | 203,7 |
| | 2 | 1 | 15 | 160,0 | 155,1 | 206,8 |
| | 3 | 8 | 8 | 53,5 | 110,1 | 146,8 |
| N250 | 1 | 1 | 15 | 66,3 | 195,5 | 260,6 |
| | 2 | 0 | 8 | 53,1 | 112,3 | 149,7 |
| | 3 | 0 | 8 | 110,1 | 156,8 | 209,1 |
| 100 (BO) | 1 | 4 | 11 | 90,9 | 105,3 | 140,4 |
| | 2 | 4 | 16 | 94,5 | 132,0 | 176,0 |
| | 3 | 3 | 12 | 67,6 | 85,5 | 114,0 |
| 100 (BA) | 1 | 9 | 23 | 73,2 | 106,4 | 141,9 |
| | 2 | 5 | 15 | 73,1 | 98,1 | 130,8 |
| | 3 | 1 | 16 | 86,9 | 91,9 | 122,5 |
| AG (100) | 1 | 5 | 8 | 18,1 | 59,7 | 79,6 |
| | 2 | 3 | 13 | 100,5 | 82,1 | 109,5 |
| | 3 | 7 | 16 | 50,5 | 116,3 | 155,0 |
| FE (100) | 1 | 9 | 21 | 47,1 | 91,9 | 122,5 |
| | 2 | 1 | 5 | 6,1 | 93,2 | 124,3 |
| | 3 | 1 | 11 | 114,0 | 108,5 | 144,7 |

Quadro A3.3 - Data 3 (78 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 4,0 | 15,0 | 83,5 | 76,5 | 102,9 |
| | 2 | 7,0 | 16,0 | 79,7 | 90,8 | 137,6 |
| | 3 | 1,0 | 19,0 | 340,2 | 148,5 | 191,5 |
| N50 | 1 | 0,0 | 12,0 | 335,4 | 168,7 | 249,5 |
| | 2 | 5,0 | 21,0 | 221,2 | 127,7 | 173,5 |
| | 3 | 3,0 | 20,0 | 175,6 | 130,8 | 171,6 |
| N100 | 1 | 3,0 | 19,0 | 166,9 | 96,7 | 142,3 |
| | 2 | 7,0 | 19,0 | 200,6 | 142,8 | 233,7 |
| | 3 | 7,0 | 29,0 | 219,0 | 192,5 | 254,7 |
| N150 | 1 | 13,0 | 12,0 | 95,0 | 119,3 | 220,5 |
| | 2 | 1,0 | 12,0 | 180,2 | 176,4 | 232,5 |
| | 3 | 1,0 | 17,0 | 166,7 | 148,0 | 226,4 |
| N200 | 1 | 3,0 | 11,0 | 229,1 | 205,3 | 211,7 |
| | 2 | 3,0 | 12,0 | 189,3 | 170,5 | 226,1 |
| | 3 | 1,0 | 13,0 | 181,8 | 157,1 | 225,5 |
| N250 | 1 | 1,0 | 13,0 | 255,3 | 227,6 | 243,6 |
| | 2 | 3,0 | 11,0 | 110,9 | 152,9 | 284,0 |
| | 3 | 3,0 | 21,0 | 307,5 | 198,7 | 233,7 |
| 100 (BO) | 1 | 3,0 | 25,0 | 344,0 | 149,3 | 176,9 |
| | 2 | 5,0 | 20,0 | 300,0 | 134,0 | 150,7 |
| | 3 | 1,0 | 23,0 | 142,0 | 82,0 | 127,7 |
| 100 (BA) | 1 | 3,0 | 33,0 | 192,0 | 126,8 | 198,4 |
| | 2 | 5,0 | 12,0 | 253,3 | 149,5 | 191,7 |
| | 3 | 3,0 | 17,0 | 154,8 | 141,6 | 209,6 |
| AG (100) | 1 | 3,0 | 11,0 | 141,5 | 74,3 | 118,5 |
| | 2 | 0,0 | 15,0 | 326,7 | 136,1 | 190,0 |
| | 3 | 4,0 | 28,0 | 249,2 | 172,7 | 217,7 |
| FE (100) | 1 | 7,0 | 27,0 | 229,2 | 128,1 | 182,0 |
| | 2 | 5,0 | 21,0 | 125,0 | 128,5 | 172,9 |
| | 3 | 1,0 | 21,0 | 267,6 | 145,2 | 168,9 |

Quadro A3.4 - Data 4 (92 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 8 | 39 | 416,8 | 111,7 | 129,3 |
| | 2 | 5 | 21 | 507,2 | 116,3 | 134,9 |
| | 3 | 4 | 13 | 337,9 | 84,5 | 98,9 |
| N50 | 1 | 5 | 29 | 682,9 | 196,8 | 208,7 |
| | 2 | 0 | 23 | 597,1 | 149,5 | 196,4 |
| | 3 | 0 | 19 | 491,6 | 176,4 | 129,9 |
| N100 | 1 | 5 | 29 | 383,5 | 191,1 | 171,6 |
| | 2 | 7 | 24 | 225,1 | 218,8 | 220,8 |
| | 3 | 3 | 17 | 443,9 | 209,2 | 262,4 |
| N150 | 1 | 1 | 20 | 446,0 | 201,1 | 228,5 |
| | 2 | 5 | 32 | 403,7 | 214,0 | 212,9 |
| | 3 | 4 | 20 | 331,8 | 171,6 | 178,3 |
| N200 | 1 | 1 | 12 | 500,1 | 239,6 | 181,2 |
| | 2 | 0 | 21 | 409,7 | 414,9 | 333,1 |
| | 3 | 4 | 16 | 217,2 | 164,1 | 203,1 |
| N250 | 1 | 1 | 17 | 246,1 | 259,6 | 192,4 |
| | 2 | 3 | 23 | 499,1 | 262,8 | 309,5 |
| | 3 | 1 | 24 | 295,0 | 211,1 | 156,0 |
| 100 (BO) | 1 | 11 | 31 | 492,9 | 200,0 | 204,9 |
| | 2 | 7 | 25 | 580,1 | 148,9 | 183,9 |
| | 3 | 0 | 16 | 403,6 | 114,4 | 158,0 |
| 100 (BA) | 1 | 4 | 33 | 469,1 | 130,8 | 172,1 |
| | 2 | 3 | 16 | 693,9 | 187,2 | 155,3 |
| | 3 | 3 | 17 | 348,8 | 113,6 | 206,9 |
| AG (100) | 1 | 4 | 17 | 425,8 | 197,6 | 240,8 |
| | 2 | 0 | 16 | 445,2 | 131,5 | 101,7 |
| | 3 | 0 | 15 | 516,5 | 158,1 | 170,5 |
| FE (100) | 1 | 3 | 28 | 472,4 | 115,1 | 158,0 |
| | 2 | 1 | 23 | 593,6 | 189,9 | 180,3 |
| | 3 | 5 | 27 | 548,4 | 133,7 | 135,6 |

Quadro A3.5 - Data 5 (106 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 0 | 19 | 774,9 | 131,1 | 119,2 |
| | 2 | 0 | 25 | 752,8 | 91,1 | 44,8 |
| | 3 | 1 | 24 | 516,5 | 102,1 | 73,3 |
| N50 | 1 | 0 | 15 | 638,4 | 157,9 | 226,5 |
| | 2 | 0 | 19 | 702,6 | 109,9 | 77,6 |
| | 3 | 4 | 31 | 430,7 | 98,0 | 150,7 |
| N100 | 1 | 4 | 31 | 514,0 | 184,7 | 196,0 |
| | 2 | 0 | 20 | 741,4 | 162,9 | 138,5 |
| | 3 | 3 | 20 | 667,2 | 200,7 | 184,8 |
| N150 | 1 | 0 | 41 | 593,1 | 209,6 | 172,4 |
| | 2 | 5 | 28 | 345,9 | 133,9 | 199,2 |
| | 3 | 4 | 31 | 641,1 | 232,7 | 222,7 |
| N200 | 1 | 5 | 23 | 441,5 | 244,7 | 252,7 |
| | 2 | 3 | 20 | 440,8 | 226,0 | 183,3 |
| | 3 | 4 | 32 | 541,3 | 223,5 | 277,2 |
| N250 | 1 | 5 | 12 | 319,7 | 212,3 | 166,7 |
| | 2 | 3 | 11 | 452,7 | 201,3 | 292,8 |
| | 3 | 1 | 17 | 562,2 | 215,1 | 185,2 |
| 100 (BO) | 1 | 0 | 15 | 701,6 | 127,3 | 75,7 |
| | 2 | 1 | 19 | 632,7 | 153,6 | 123,3 |
| | 3 | 4 | 27 | 512,5 | 122,5 | 140,1 |
| 100 (BA) | 1 | 0 | 23 | 503,7 | 139,5 | 127,3 |
| | 2 | 0 | 20 | 604,3 | 115,7 | 27,5 |
| | 3 | 1 | 13 | 539,0 | 147,1 | 157,7 |
| AG (100) | 1 | 1 | 36 | 623,7 | 116,8 | 128,3 |
| | 2 | 1 | 19 | 607,2 | 122,3 | 86,7 |
| | 3 | 0 | 31 | 639,5 | 215,9 | 164,7 |
| FE (100) | 1 | 0 | 20 | 667,4 | 129,1 | 147,5 |
| | 2 | 1 | 36 | 478,6 | 157,2 | 85,2 |
| | 3 | 0 | 37 | 718,8 | 160,9 | 66,8 |

Quadro A3.6 - Data 6 (120 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|----------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N0 | 1 | 0 | 21 | 650,4 | 78,7 | 14,0 |
| | 2 | 0 | 21 | 537,4 | 69,1 | 4,1 |
| | 3 | 0 | 17 | 472,8 | 64,0 | 14,3 |
| N50 | 1 | 0 | 15 | 649,8 | 102,9 | 36,0 |
| | 2 | 0 | 20 | 487,4 | 57,2 | 0,0 |
| | 3 | 0 | 23 | 650,4 | 144,1 | 93,6 |
| N100 | 1 | 0 | 20 | 880,3 | 148,3 | 32,7 |
| | 2 | 0 | 25 | 703,9 | 164,4 | 71,6 |
| | 3 | 0 | 24 | 751,3 | 151,3 | 60,8 |
| N150 | 1 | 0 | 15 | 629,8 | 138,1 | 74,4 |
| | 2 | 0 | 19 | 440,4 | 144,1 | 77,1 |
| | 3 | 0 | 36 | 541,1 | 196,9 | 100,0 |
| N200 | 1 | 0 | 27 | 672,3 | 278,9 | 174,7 |
| | 2 | 0 | 16 | 584,7 | 217,2 | 120,7 |
| | 3 | 0 | 32 | 572,5 | 165,6 | 154,7 |
| N250 | 1 | 0 | 25 | 637,9 | 246,0 | 140,4 |
| | 2 | 0 | 17 | 636,2 | 205,6 | 123,3 |
| | 3 | 0 | 29 | 703,0 | 183,7 | 108,4 |
| 100 (BO) | 1 | 0 | 23 | 751,3 | 105,5 | 9,3 |
| | 2 | 0 | 13 | 740,7 | 116,7 | 39,9 |
| | 3 | 0 | 25 | 708,2 | 95,3 | 75,3 |
| 100 (BA) | 1 | 0 | 19 | 729,4 | 95,1 | 22,7 |
| | 2 | 0 | 16 | 701,8 | 158,5 | 58,0 |
| | 3 | 0 | 23 | 679,1 | 138,5 | 78,7 |
| AG (100) | 1 | 0 | 20 | 722,3 | 120,5 | 18,7 |
| | 2 | 0 | 47 | 834,1 | 121,2 | 50,9 |
| | 3 | 0 | 12 | 656,4 | 109,9 | 45,9 |
| FE (100) | 1 | 0 | 23 | 642,2 | 149,5 | 16,7 |
| | 2 | 0 | 19 | 675,7 | 105,3 | 38,5 |
| | 3 | 0 | 44 | 603,4 | 99,6 | 22,4 |

Quadro A3.7 - Data 7 (134 DAP)

| TRATAM | BLOCO | NTub<10mm | NTub>10mm | MS tub (g/4 pl.) | MS caul. (g/4 pl.) | MS folh. (g/4 pl.) |
|--------|-------|-----------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| N150 | 1 | 0 | 16 | 815,3 | 114,4 | 8,3 |
| | 2 | 0 | 20 | 572,3 | 102,3 | 21,2 |
| | 3 | 0 | 23 | 622,3 | 93,1 | 19,7 |
| N200 | 1 | 0 | 19 | 810,6 | 140,8 | 7,1 |
| | 2 | 0 | 24 | 753,7 | 199,7 | 74,7 |
| | 3 | 0 | 20 | 550,4 | 128,8 | 51,3 |
| N250 | 1 | 0 | 12 | 703,3 | 146,9 | 56,5 |
| | 2 | 0 | 31 | 737,3 | 139,9 | 14,3 |
| | 3 | 0 | 29 | 788,6 | 85,2 | 0,0 |

ANEXO 4. Análise de variância aos valores de MS dos diferentes componentes da planta

4.1 - Matéria seca dos caules

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.771 SQUARED MULTIPLE R: 0.594

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 445.2487 | 2 | 222.6243 | 2.0061 | 0.1635 |
| TRATAM | 2478.2120 | 9 | 275.3569 | 2.4813 | 0.0482 |
| ERROR | 1997.5180 | 18 | 110.9732 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.708 SQUARED MULTIPLE R: 0.501

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 246.4727 | 2 | 123.2363 | 0.1529 | 0.8594 |
| TRATAM | 14321.0870 | 9 | 1591.2319 | 1.9737 | 0.1050 |
| ERROR | 14512.0940 | 18 | 806.2274 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.689 SQUARED MULTIPLE R: 0.475

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1111.9807 | 2 | 555.9903 | 0.4780 | 0.6277 |
| TRATAM | 17837.3097 | 9 | 1981.9233 | 1.7040 | 0.1605 |
| ERROR | 20936.0593 | 18 | 1163.1144 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.828 SQUARED MULTIPLE R: 0.686

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 12580.8487 | 2 | 6290.4243 | 3.0450 | 0.0726 |
| TRATAM | 68739.0363 | 9 | 7637.6707 | 3.6972 | 0.0088 |
| ERROR | 37184.5447 | 18 | 2065.8080 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.879 SQUARED MULTIPLE R: 0.772

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 3206.5407 | 2 | 1603.2703 | 2.0611 | 0.1563 |
| TRATAM | 44198.7880 | 9 | 4910.9764 | 6.3134 | 0.0005 |
| ERROR | 14001.6460 | 18 | 777.8692 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.884 SQUARED MULTIPLE R: 0.782

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 803.2987 | 2 | 401.6493 | 0.4093 | 0.6701 |
| TRATAM | 62381.7203 | 9 | 6931.3023 | 7.0635 | 0.0002 |
| ERROR | 17663.2147 | 18 | 981.2897 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.880 SQUARED MULTIPLE R: 0.774

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 3197.7867 | 2 | 1598.8933 | 2.9162 | 0.1655 |
| TRATAM | 4308.4867 | 2 | 2154.2433 | 3.9291 | 0.1138 |
| ERROR | 2193.1267 | 4 | 548.2817 | | |

4.2 - Matéria seca das folhas

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.745 SQUARED MULTIPLE R: 0.555

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2087.6007 | 2 | 1043.8003 | 2.3936 | 0.1197 |
| TRATAM | 7697.3080 | 9 | 855.2564 | 1.9612 | 0.1070 |
| ERROR | 7849.4060 | 18 | 436.0781 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.708 SQUARED MULTIPLE R: 0.501

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 436.9580 | 2 | 218.4790 | 0.1524 | 0.8598 |
| TRATAM | 25449.5133 | 9 | 2827.7237 | 1.9723 | 0.1052 |
| ERROR | 25806.5887 | 18 | 1433.6994 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.781 SQUARED MULTIPLE R: 0.611

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1846.3707 | 2 | 923.1853 | 0.7706 | 0.4774 |
| TRATAM | 31976.0270 | 9 | 3552.8919 | 2.9658 | 0.0237 |
| ERROR | 21562.9160 | 18 | 1197.9398 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.795 SQUARED MULTIPLE R: 0.632

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2800.4447 | 2 | 1400.2223 | 1.2364 | 0.3139 |
| TRATAM | 32245.5230 | 9 | 3582.8359 | 3.1637 | 0.0180 |
| ERROR | 20384.9820 | 18 | 1132.4990 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.827 SQUARED MULTIPLE R: 0.683

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 8590.8287 | 2 | 4295.4143 | 1.9047 | 0.1777 |
| TRATAM | 78955.3013 | 9 | 8772.8113 | 3.8902 | 0.0068 |
| ERROR | 40592.2847 | 18 | 2255.1269 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.921 SQUARED MULTIPLE R: 0.848

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2564.7440 | 2 | 1282.3720 | 2.3522 | 0.1237 |
| TRATAM | 52364.3800 | 9 | 5818.2644 | 10.6724 | 0.0000 |
| ERROR | 9813.0760 | 18 | 545.1709 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.542 SQUARED MULTIPLE R: 0.293

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 334.7089 | 2 | 167.3544 | 0.1740 | 0.8463 |
| TRATAM | 1261.9822 | 2 | 630.9911 | 0.6562 | 0.5669 |
| ERROR | 3846.2978 | 4 | 961.5744 | | |

4.3 - Matéria seca da parte aérea (folhas + caules)

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.766 SQUARED MULTIPLE R: 0.587

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 4408.1520 | 2 | 2204.0760 | 2.4422 | 0.1152 |
| TRATAM | 18675.3470 | 9 | 2075.0386 | 2.2992 | 0.0634 |
| ERROR | 16244.9680 | 18 | 902.4982 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.708 SQUARED MULTIPLE R: 0.501

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1346.0240 | 2 | 673.0120 | 0.1533 | 0.8589 |
| TRATAM | 77887.8253 | 9 | 8654.2028 | 1.9719 | 0.1053 |
| ERROR | 78998.3427 | 18 | 4388.7968 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.762 SQUARED MULTIPLE R: 0.581

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 5315.4960 | 2 | 2657.7480 | 0.6710 | 0.5235 |
| TRATAM | 93687.4817 | 9 | 10409.7202 | 2.6283 | 0.0387 |
| ERROR | 71291.2773 | 18 | 3960.6265 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.799 SQUARED MULTIPLE R: 0.639

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 34556.6167 | 2 | 17278.3083 | 2.4507 | 0.1145 |
| TRATAM | 189792.7400 | 9 | 21088.0822 | 2.9911 | 0.0229 |
| ERROR | 126906.0500 | 18 | 7050.3361 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.892 SQUARED MULTIPLE R: 0.796

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 21999.0020 | 2 | 10999.5010 | 3.0498 | 0.0723 |
| TRATAM | 231342.7347 | 9 | 25704.7483 | 7.1272 | 0.0002 |
| ERROR | 64918.3113 | 18 | 3606.5729 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.912 SQUARED MULTIPLE R: 0.831

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1301.3520 | 2 | 650.6760 | 0.2555 | 0.7773 |
| TRATAM | 224341.4453 | 9 | 24926.8273 | 9.7878 | 0.0000 |
| ERROR | 45840.9547 | 18 | 2546.7197 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.766 SQUARED MULTIPLE R: 0.587

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 5058.4022 | 2 | 2529.2011 | 0.9440 | 0.4615 |
| TRATAM | 10193.1289 | 2 | 5096.5644 | 1.9022 | 0.2627 |
| ERROR | 10717.3244 | 4 | 2679.3311 | | |

4.4 - Matéria seca dos tubérculos

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.830 SQUARED MULTIPLE R: 0.690

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 122.2207 | 2 | 61.1103 | 2.4129 | 0.1179 |
| TRATAM | 891.1720 | 9 | 99.0191 | 3.9096 | 0.0067 |
| ERROR | 455.8860 | 18 | 25.3270 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.636 SQUARED MULTIPLE R: 0.405

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2748.6447 | 2 | 1374.3223 | 0.9353 | 0.4107 |
| TRATAM | 15220.9320 | 9 | 1691.2147 | 1.1510 | 0.3800 |
| ERROR | 26448.7020 | 18 | 1469.3723 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.451 SQUARED MULTIPLE R: 0.203

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2402.9167 | 2 | 1201.4583 | 0.1555 | 0.8571 |
| TRATAM | 33114.8587 | 9 | 3679.4287 | 0.4762 | 0.8719 |
| ERROR | 139071.1233 | 18 | 7726.1735 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.756 SQUARED MULTIPLE R: 0.572

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 52570.8540 | 2 | 26285.4270 | 2.6413 | 0.0987 |
| TRATAM | 187023.2067 | 9 | 20780.3563 | 2.0881 | 0.0878 |
| ERROR | 179130.7193 | 18 | 9951.7066 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.620 SQUARED MULTIPLE R: 0.384

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 18.0560 | 2 | 9.0280 | 0.0006 | 0.9994 |
| TRATAM | 156219.4987 | 9 | 17357.7221 | 1.2462 | 0.3289 |
| ERROR | 250718.0173 | 18 | 13928.7787 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.863 SQUARED MULTIPLE R: 0.745

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 22549.0207 | 2 | 11274.5103 | 3.2222 | 0.0637 |
| TRATAM | 161142.7670 | 9 | 17904.7519 | 5.1170 | 0.0016 |
| ERROR | 62983.0260 | 18 | 3499.0570 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.625 SQUARED MULTIPLE R: 0.391

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 24050.8022 | 2 | 12025.4011 | 0.9621 | 0.4559 |
| TRATAM | 8020.6422 | 2 | 4010.3211 | 0.3209 | 0.7426 |
| ERROR | 49993.9711 | 4 | 12498.4928 | | |

Matéria seca dos tubérculos (cont.)

Data de colheita

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.791 SQUARED MULTIPLE R: 0.626

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 40053.8727 | 2 | 20026.9363 | 3.4167 | 0.0552 |
| TRATAM | 136190.7533 | 9 | 15132.3059 | 2.5816 | 0.0415 |
| ERROR | 105507.2807 | 18 | 5861.5156 | | |

ANEXO 5 - Tuberização e desenvolvimento dos tubérculos (Análise de variância)

Nº de tubérculos < 10 mm (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.670 SQUARED MULTIPLE R: 0.449

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 5.0667 | 2 | 2.5333 | 0.4978 | 0.6160 |
| TRATAM | 69.5000 | 9 | 7.7222 | 1.5175 | 0.2155 |
| ERROR | 91.6000 | 18 | 5.0889 | | |

Nº de tubérculos > 10 mm (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.710 SQUARED MULTIPLE R: 0.504

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 8.2667 | 2 | 4.1333 | 0.6214 | 0.5483 |
| TRATAM | 113.4667 | 9 | 12.6074 | 1.8953 | 0.1187 |
| ERROR | 119.7333 | 18 | 6.6519 | | |

Nº total de tubérculos (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.699 SQUARED MULTIPLE R: 0.489

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 12.8000 | 2 | 6.4000 | 0.3816 | 0.6881 |
| TRATAM | 275.6333 | 9 | 30.6259 | 1.8262 | 0.1323 |
| ERROR | 301.8667 | 18 | 16.7704 | | |

Nº de tubérculos < 10 mm (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.749 SQUARED MULTIPLE R: 0.562

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 61.0667 | 2 | 30.5333 | 4.8955 | 0.0201 |
| TRATAM | 82.8333 | 9 | 9.2037 | 1.4757 | 0.2302 |
| ERROR | 112.2667 | 18 | 6.2370 | | |

Nº de tubérculos > 10 mm (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.570 SQUARED MULTIPLE R: 0.325

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 25.2667 | 2 | 12.6333 | 0.5921 | 0.5636 |
| TRATAM | 159.6333 | 9 | 17.7370 | 0.8313 | 0.5970 |
| ERROR | 384.0667 | 18 | 21.3370 | | |

Anexo 5 (Cont.)

Nº total de tubérculos (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.626 SQUARED MULTIPLE R: 0.392

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 127.4000 | 2 | 63.7000 | 1.7339 | 0.2048 |
| TRATAM | 298.1333 | 9 | 33.1259 | 0.9017 | 0.5438 |
| ERROR | 661.2667 | 18 | 36.7370 | | |

Nº total de tubérculos (data de colheita)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.512 SQUARED MULTIPLE R: 0.263

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 167.4667 | 2 | 83.7333 | 1.1709 | 0.3326 |
| TRATAM | 290.8000 | 9 | 32.3111 | 0.4518 | 0.8879 |
| ERROR | 1287.2000 | 18 | 71.5111 | | |

ANEXO 6 - Registos da produção por calibres e produção comerciável

Quadro A6 - Produção por calibres e produção comerciável

| TRATAM | BLOCO | P. fresco tub. (g/4 plantas) | | | |
|----------|-------|------------------------------|-----------------|---------------|------------------------|
| | | Calibre<30mm | Calibre 30-60mm | Calibre >60mm | P. comerc. (cal.>30mm) |
| N0 | 1 | 13,2 | 1483,2 | 894,6 | 2377,8 |
| | 2 | 0,0 | 884,0 | 1256,0 | 2140,0 |
| | 3 | 18,3 | 230,0 | 1453,8 | 1683,7 |
| N50 | 1 | 4,4 | 482,9 | 1986,6 | 2469,6 |
| | 2 | 17,4 | 649,6 | 1326,9 | 1976,6 |
| | 3 | 24,0 | 733,3 | 1369,6 | 2103,0 |
| N100 | 1 | 0,0 | 958,8 | 2381,2 | 3340,0 |
| | 2 | 21,2 | 652,7 | 2124,1 | 2776,8 |
| | 3 | 18,3 | 1274,5 | 1577,2 | 2851,7 |
| N150 | 1 | 15,1 | 426,6 | 3079,2 | 3505,9 |
| | 2 | 11,0 | 950,4 | 1321,6 | 2272,0 |
| | 3 | 17,1 | 713,9 | 1891,0 | 2604,9 |
| N200 | 1 | 0,0 | 423,2 | 2566,8 | 2990,0 |
| | 2 | 25,4 | 943,6 | 2022,1 | 2965,6 |
| | 3 | 4,1 | 576,2 | 1511,7 | 2087,9 |
| N250 | 1 | 4,2 | 135,1 | 2656,7 | 2791,8 |
| | 2 | 10,9 | 686,2 | 2302,9 | 2989,1 |
| | 3 | 24,1 | 1080,3 | 2121,6 | 3201,9 |
| 100 (BO) | 1 | 0,0 | 953,6 | 1755,4 | 2709,0 |
| | 2 | 0,0 | 409,2 | 2096,8 | 2506,0 |
| | 3 | 34,0 | 902,4 | 1526,6 | 2429,0 |
| 100 (BA) | 1 | 7,2 | 571,8 | 1919,0 | 2490,8 |
| | 2 | 28,7 | 1027,7 | 1588,6 | 2616,3 |
| | 3 | 0,0 | 570,8 | 1751,2 | 2322,0 |
| AG (100) | 1 | 0,0 | 646,3 | 2057,7 | 2704,0 |
| | 2 | 3,9 | 538,1 | 2319,0 | 2857,1 |
| | 3 | 0,0 | 643,5 | 1719,5 | 2363,0 |
| FE (100) | 1 | 0,0 | 393,2 | 1885,8 | 2279,0 |
| | 2 | 19,7 | 918,4 | 1639,0 | 2557,3 |
| | 3 | 0,0 | 1180,6 | 1455,4 | 2636,0 |

ANEXO 7 - Análise de variância aos componentes da produção e produção comercialável

Peso fresco dos tubérculos (calibre < 30 mm)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.578 SQUARED MULTIPLE R: 0.334

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 601.1780 | 2 | 300.5890 | 2.5497 | 0.1059 |
| TRATAM | 463.3653 | 9 | 51.4850 | 0.4367 | 0.8974 |
| ERROR | 2122.0887 | 18 | 11 | | |

Peso fresco dos tubérculos (calibre 30 - 60 mm)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.423 SQUARED MULTIPLE R: 0.179

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 117073.5680 | 2 | 58536.7840 | 0.4632 | 0.6366 |
| TRATAM | 378619.8097 | 9 | 42068.8677 | 0.3329 | 0.9521 |
| ERROR | .227476E+07 | 18 | 126375.2992 | | |

Peso fresco dos tubérculos (calibre > 60 mm)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.796 SQUARED MULTIPLE R: 0.633

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | .119550E+07 | 2 | 597748.6920 | 4.5176 | 0.0257 |
| TRATAM | .291840E+07 | 9 | 324267.1794 | 2.4507 | 0.0504 |
| ERROR | .238167E+07 | 18 | 132314.8739 | | |

Produção comercialável (calibre > 30 mm)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.803 SQUARED MULTIPLE R: 0.645

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 576095.9460 | 2 | 288047.9730 | 3.0458 | 0.0726 |
| TRATAM | .251701E+07 | 9 | 279667.3978 | 2.9572 | 0.0240 |
| ERROR | .170229E+07 | 18 | 94571.7130 | | |

ANEXO 8 - Registos da percentagem de terra fina nas diferentes unidades experimentais

Quadro A8 - Percentagem de terra fina nas unidades experimentais

| TRATAM | BLOCO | Terra fina (%) | |
|-----------|-------|----------------|----------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40 cm |
| N0 | 1 | 0,90 | 0,85 |
| | 2 | 0,80 | 0,78 |
| | 3 | 0,91 | 0,87 |
| N50 | 1 | 0,93 | 0,88 |
| | 2 | 0,82 | 0,81 |
| | 3 | 0,86 | 0,86 |
| N100 | 1 | 0,87 | 0,89 |
| | 2 | 0,81 | 0,82 |
| | 3 | 0,86 | 0,86 |
| N150 | 1 | 0,89 | 0,90 |
| | 2 | 0,81 | 0,90 |
| | 3 | 0,83 | 0,86 |
| N200 | 1 | 0,92 | 0,88 |
| | 2 | 0,81 | 0,78 |
| | 3 | 0,86 | 0,84 |
| N250 | 1 | 0,84 | 0,84 |
| | 2 | 0,83 | 0,78 |
| | 3 | 0,85 | 0,83 |
| N100 (BO) | 1 | 0,95 | 0,86 |
| | 2 | 0,83 | 0,76 |
| | 3 | 0,87 | 0,86 |
| N100 (BA) | 1 | 0,89 | 0,89 |
| | 2 | 0,82 | 0,80 |
| | 3 | 0,88 | 0,85 |
| N100 (AG) | 1 | 0,86 | 0,88 |
| | 2 | 0,81 | 0,83 |
| | 3 | 0,82 | 0,82 |
| N100 (FE) | 1 | 0,93 | 0,88 |
| | 2 | 0,82 | 0,91 |
| | 3 | 0,85 | 0,86 |

ANEXO 9 - Registos do azoto mineral no solo no início da estação de crescimento

Quadro A9 - Azoto mineral no solo em no início da estação de crescimento (-6 DAP)

| BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH ₄ ⁺ (mg N/kg terra seca) | | N-NO ₃ ⁻ (mg N/kg terra seca) | |
|-------|----------------------|---------------|---|---------------|---|---------------|
| | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| 1 | 0,16 | 0,12 | 5,86 | 2,46 | 17,08 | 3,02 |
| 2 | 0,18 | 0,12 | 1,79 | 1,54 | 1,81 | 1,95 |
| 3 | 0,17 | 0,14 | 1,80 | 3,08 | 5,31 | 7,04 |

ANEXO 10 - Registos dos valores de humidade e azoto mineral no solo ao longo da estação de crescimento

Quadro A10.1 - Data 1 (51 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,20 | 0,20 | 0,79 | 0,81 | 9,90 | 8,72 |
| | 2 | 0,39 | 0,40 | 0,47 | 0,60 | 15,50 | 8,38 |
| | 3 | 0,18 | 0,19 | 0,93 | 0,90 | 8,51 | 10,70 |
| N50 | 1 | 0,15 | 0,15 | 1,02 | 1,18 | 12,71 | 17,65 |
| | 2 | 0,36 | 0,39 | 0,81 | 1,00 | 12,16 | 12,33 |
| | 3 | 0,16 | 0,17 | 1,72 | 1,82 | 27,52 | 22,28 |
| N100 | 1 | 0,18 | 0,19 | 1,91 | 0,58 | 14,77 | 19,62 |
| | 2 | 0,39 | 0,39 | 0,94 | 1,00 | 25,28 | 25,72 |
| | 3 | 0,18 | 0,17 | 1,62 | 2,30 | 23,53 | 24,94 |
| N150 | 1 | 0,18 | 0,18 | 1,04 | 0,65 | 6,88 | 15,83 |
| | 2 | 0,38 | 0,40 | 1,51 | 1,33 | 19,32 | 32,37 |
| | 3 | 0,20 | 0,20 | 0,83 | 0,86 | 18,80 | 46,53 |
| N200 | 1 | 0,15 | 0,14 | 1,27 | 1,59 | 15,06 | 29,94 |
| | 2 | 0,41 | 0,42 | 0,83 | 1,18 | 21,26 | 38,08 |
| | 3 | 0,18 | 0,18 | 1,16 | 2,66 | 48,79 | 29,56 |
| N250 | 1 | 0,18 | 0,17 | 1,81 | 1,55 | 23,83 | 26,67 |
| | 2 | 0,41 | 0,41 | 1,33 | 1,43 | 33,38 | 75,92 |
| | 3 | 0,20 | 0,19 | 0,84 | 1,68 | 15,72 | 32,94 |
| N100 (BO) | 1 | 0,17 | 0,16 | 0,95 | 0,53 | 13,04 | 10,62 |
| | 2 | 0,40 | 0,40 | 1,30 | 0,89 | 11,16 | 11,93 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 0,75 | 1,06 | 9,47 | 12,37 |
| N100 (BA) | 1 | 0,17 | 0,18 | 1,10 | 1,34 | 12,05 | 16,65 |
| | 2 | 0,41 | 0,38 | 1,24 | 0,96 | 10,55 | 12,37 |
| | 3 | 0,16 | 0,16 | 1,16 | 2,06 | 9,50 | 17,46 |
| N100 (AG) | 1 | 0,19 | 0,18 | 0,86 | 0,66 | 9,01 | 15,39 |
| | 2 | 0,42 | 0,42 | 0,71 | 1,00 | 11,31 | 13,38 |
| | 3 | 0,16 | 0,17 | 0,86 | 1,24 | 13,41 | 18,99 |
| N100 (FE) | 1 | 0,17 | 0,18 | 1,77 | 1,69 | 6,46 | 9,08 |
| | 2 | 0,42 | 0,39 | 1,19 | 1,33 | 17,06 | 13,73 |
| | 3 | 0,20 | 0,20 | 0,95 | 0,89 | 4,23 | 10,98 |

Quadro A10.2 - Data 2 (65 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,20 | 0,20 | 0,65 | 1,25 | 3,44 | 3,81 |
| | 2 | 0,19 | 0,19 | 0,24 | 0,56 | 4,09 | 4,21 |
| | 3 | 0,18 | 0,17 | 1,05 | 1,27 | 3,44 | 7,32 |
| N50 | 1 | 0,14 | 0,13 | 0,57 | 1,51 | 5,58 | 5,51 |
| | 2 | 0,19 | 0,19 | 0,85 | 0,41 | 3,66 | 5,43 |
| | 3 | 0,15 | 0,15 | 0,89 | 1,67 | 15,39 | 16,61 |
| N100 | 1 | 0,16 | 0,17 | 0,83 | 2,85 | 8,16 | 8,33 |
| | 2 | 0,18 | 0,17 | 0,64 | 0,81 | 11,52 | 11,85 |
| | 3 | 0,18 | 0,17 | 1,55 | 1,75 | 7,03 | 11,82 |
| N150 | 1 | 0,18 | 0,17 | 0,78 | 1,73 | 8,22 | 13,03 |
| | 2 | 0,17 | 0,17 | 1,85 | 1,53 | 13,56 | 8,86 |
| | 3 | 0,21 | 0,20 | 0,94 | 0,06 | 8,67 | 13,67 |
| N200 | 1 | 0,16 | 0,15 | 0,85 | 2,57 | 18,49 | 36,18 |
| | 2 | 0,20 | 0,18 | 0,57 | 0,74 | 16,74 | 34,82 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 1,88 | 1,10 | 14,59 | 13,96 |
| N250 | 1 | 0,18 | 0,16 | 0,69 | 1,73 | 10,11 | 14,17 |
| | 2 | 0,20 | 0,19 | 0,83 | 1,27 | 33,58 | 29,38 |
| | 3 | 0,20 | 0,18 | 0,30 | 0,47 | 18,87 | 41,85 |
| N100 (BO) | 1 | 0,16 | 0,15 | 0,70 | 1,56 | 3,13 | 3,52 |
| | 2 | 0,17 | 0,18 | 0,52 | 0,94 | 4,38 | 11,49 |
| | 3 | 0,17 | 0,16 | 0,42 | 0,87 | 5,34 | 5,54 |
| N100 (BA) | 1 | 0,16 | 0,17 | 0,91 | 1,95 | 5,54 | 6,82 |
| | 2 | 0,19 | 0,16 | 1,13 | 0,60 | 7,50 | 6,53 |
| | 3 | 0,15 | 0,15 | 0,96 | 1,11 | 10,82 | 9,64 |
| N100 (AG) | 1 | 0,20 | 0,19 | 0,69 | 1,07 | 5,79 | 5,21 |
| | 2 | 0,17 | 0,17 | 1,50 | 0,87 | 11,65 | 5,64 |
| | 3 | 0,17 | 0,16 | 0,42 | 0,46 | 6,62 | 6,84 |
| N100 (FE) | 1 | 0,16 | 0,17 | 1,73 | 2,94 | 3,81 | 5,04 |
| | 2 | 0,17 | 0,18 | 1,33 | 1,43 | 7,02 | 6,39 |
| | 3 | 0,20 | 0,19 | 0,46 | 0,14 | 4,14 | 3,58 |

Quadro A10.3 - Data 3 (79 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,20 | 0,20 | 1,36 | 0,90 | 4,20 | 3,76 |
| | 2 | 0,20 | 0,18 | 2,05 | 2,46 | 5,31 | 4,07 |
| | 3 | 0,18 | 0,16 | 0,54 | 4,79 | 4,09 | 3,63 |
| N50 | 1 | 0,13 | 0,13 | 0,49 | 0,72 | 3,74 | 4,69 |
| | 2 | 0,19 | 0,18 | 1,78 | 1,82 | 5,98 | 6,03 |
| | 3 | 0,16 | 0,15 | 0,74 | 1,78 | 6,21 | 6,91 |
| N100 | 1 | 0,16 | 0,17 | 0,80 | 1,54 | 6,21 | 7,13 |
| | 2 | 0,16 | 0,15 | 1,66 | 2,82 | 12,80 | 9,67 |
| | 3 | 0,18 | 0,17 | 1,24 | 2,73 | 11,86 | 14,68 |
| N150 | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,74 | 1,14 | 5,54 | 5,59 |
| | 2 | 0,16 | 0,16 | 3,07 | 2,07 | 12,51 | 13,94 |
| | 3 | 0,21 | 0,21 | 0,88 | 3,32 | 4,91 | 4,39 |
| N200 | 1 | 0,16 | 0,15 | 1,05 | 1,21 | 5,24 | 9,22 |
| | 2 | 0,20 | 0,18 | 1,70 | 1,33 | 14,59 | 14,34 |
| | 3 | 0,15 | 0,16 | 0,80 | 4,17 | 19,86 | 18,98 |
| N250 | 1 | 0,18 | 0,16 | 1,23 | 1,18 | 7,87 | 7,34 |
| | 2 | 0,20 | 0,42 | 3,38 | 2,51 | 37,82 | 45,88 |
| | 3 | 0,20 | 0,18 | 0,80 | 8,90 | 6,79 | 17,15 |
| N100 (BO) | 1 | 0,15 | 0,14 | 0,82 | 1,02 | 4,01 | 5,37 |
| | 2 | 0,16 | 0,17 | 1,48 | 2,87 | 7,27 | 6,75 |
| | 3 | 0,15 | 0,26 | 0,89 | 1,28 | 4,90 | 4,72 |
| N100 (BA) | 1 | 0,16 | 0,17 | 1,02 | 1,65 | 5,41 | 5,93 |
| | 2 | 0,18 | 0,17 | 2,36 | 3,01 | 6,42 | 5,17 |
| | 3 | 0,15 | 0,14 | 1,41 | 2,96 | 8,03 | 7,47 |
| N100 (AG) | 1 | 0,18 | 0,17 | 0,52 | 0,86 | 5,86 | 6,74 |
| | 2 | 0,18 | 0,17 | 4,13 | 1,95 | 6,30 | 5,71 |
| | 3 | 0,17 | 0,18 | 0,12 | 2,37 | 5,09 | 7,34 |
| N100 (FE) | 1 | 0,15 | 0,16 | 1,07 | 1,71 | 4,37 | 3,70 |
| | 2 | 0,42 | 0,18 | 4,66 | 2,04 | 5,74 | 3,26 |
| | 3 | 0,19 | 0,19 | 1,22 | 3,16 | 2,59 | 2,87 |

Quadro A10.4 - Data 4 (93 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade(%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|---------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,18 | 0,18 | 0,32 | 0,90 | 2,79 | 3,18 |
| | 2 | 0,18 | 0,17 | 0,68 | 0,65 | 3,32 | 2,62 |
| | 3 | 0,16 | 0,15 | 1,33 | 0,89 | 2,24 | 1,18 |
| N50 | 1 | 0,13 | 0,13 | 0,34 | 0,97 | 2,77 | 2,38 |
| | 2 | 0,17 | 0,16 | 0,82 | 1,08 | 2,95 | 3,18 |
| | 3 | 0,14 | 0,15 | 1,16 | 1,08 | 3,08 | 7,32 |
| N100 | 1 | 0,18 | 0,17 | 0,90 | 1,52 | 3,58 | 3,55 |
| | 2 | 0,16 | 0,15 | 0,81 | 1,50 | 6,43 | 4,54 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 1,26 | 1,25 | 5,53 | 9,13 |
| N150 | 1 | 0,17 | 0,16 | 1,38 | 1,49 | 22,69 | 8,03 |
| | 2 | 0,15 | 0,15 | 1,58 | 1,08 | 10,98 | 8,11 |
| | 3 | 0,20 | 0,18 | 0,82 | 0,48 | 4,54 | 3,35 |
| N200 | 1 | 0,16 | 0,15 | 0,77 | 1,65 | 1,71 | 1,56 |
| | 2 | 0,18 | 0,16 | 0,71 | 1,41 | 8,88 | 14,91 |
| | 3 | 0,18 | 0,18 | 1,17 | 0,98 | 7,69 | 8,76 |
| N250 | 1 | 0,17 | 0,16 | 0,98 | 1,20 | 5,16 | 8,60 |
| | 2 | 0,19 | 0,19 | 0,71 | 0,63 | 11,28 | 25,66 |
| | 3 | 0,19 | 0,18 | 1,09 | 0,75 | 9,09 | 17,77 |
| N100 (BO) | 1 | 0,15 | 0,13 | 1,31 | 0,82 | 1,54 | 1,44 |
| | 2 | 0,15 | 0,16 | 0,85 | 1,11 | 4,01 | 3,29 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 0,55 | 0,72 | 2,46 | 1,67 |
| N100 (BA) | 1 | 0,16 | 0,17 | 1,28 | 0,90 | 3,46 | 2,81 |
| | 2 | 0,17 | 0,14 | 0,73 | 0,74 | 2,90 | 2,02 |
| | 3 | 0,16 | 0,15 | 1,36 | 1,12 | 3,16 | 2,57 |
| N100 (AG) | 1 | 0,19 | 0,18 | 0,49 | 1,07 | 1,97 | 1,45 |
| | 2 | 0,17 | 0,15 | 0,47 | 0,83 | 4,69 | 4,03 |
| | 3 | 0,17 | 0,16 | 0,66 | 0,77 | 2,97 | 3,58 |
| N100 (FE) | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,76 | 1,68 | 1,70 | 1,59 |
| | 2 | 0,18 | 0,16 | 0,92 | 0,56 | 2,34 | 1,69 |
| | 3 | 0,18 | 0,17 | 0,83 | 0,71 | 1,37 | 0,87 |

Quadro A10.5 - Data 5 (107 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,18 | 0,18 | 0,66 | 0,84 | 2,29 | 4,03 |
| | 2 | 0,16 | 0,17 | 1,55 | 1,19 | 5,91 | 2,40 |
| | 3 | 0,09 | 0,16 | 0,41 | 1,11 | 2,25 | 2,43 |
| N50 | 1 | 0,12 | 0,13 | 0,63 | 0,77 | 2,62 | 2,36 |
| | 2 | 0,16 | 0,18 | 0,86 | 0,96 | 2,73 | 1,53 |
| | 3 | 0,13 | 0,14 | 0,98 | 1,57 | 5,19 | 6,09 |
| N100 | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,96 | 1,26 | 6,43 | 8,56 |
| | 2 | 0,17 | 0,17 | 0,99 | 0,80 | 4,55 | 4,87 |
| | 3 | 0,15 | 0,16 | 0,89 | 1,36 | 9,91 | 13,26 |
| N150 | 1 | 0,17 | 0,16 | 0,76 | 0,81 | 2,76 | 2,28 |
| | 2 | 0,15 | 0,16 | 2,71 | 1,64 | 39,86 | 20,61 |
| | 3 | 0,18 | 0,16 | 1,04 | 1,05 | 3,62 | 5,43 |
| N200 | 1 | 0,16 | 0,15 | 0,76 | 1,88 | 9,59 | 15,59 |
| | 2 | 0,18 | 0,16 | 0,48 | 0,43 | 12,67 | 8,77 |
| | 3 | 0,16 | 0,16 | 0,77 | 1,05 | 12,59 | 14,52 |
| N250 | 1 | 0,17 | 0,17 | 1,10 | 1,02 | 8,65 | 14,43 |
| | 2 | 0,18 | 0,18 | 0,87 | 1,36 | 11,20 | 11,48 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 0,92 | 0,96 | 13,97 | 21,81 |
| N100 (BO) | 1 | 0,15 | 0,15 | 0,84 | 1,13 | 2,39 | 4,66 |
| | 2 | 0,15 | 0,16 | 0,72 | 1,02 | 2,90 | 2,61 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 0,58 | 0,51 | 2,50 | 3,04 |
| N100 (BA) | 1 | 0,16 | 0,16 | 1,41 | 1,70 | 2,42 | 1,86 |
| | 2 | 0,16 | 0,16 | 1,44 | 1,06 | 1,81 | 3,93 |
| | 3 | 0,16 | 0,16 | 1,08 | 1,11 | 5,39 | 4,46 |
| N100 (AG) | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,57 | 0,57 | 5,12 | 4,67 |
| | 2 | 0,16 | 0,15 | 0,91 | 0,92 | 3,31 | 2,92 |
| | 3 | 0,16 | 0,16 | 1,16 | 0,96 | 4,25 | 3,63 |
| N100 (FE) | 1 | 0,15 | 0,15 | 1,27 | 1,63 | 3,27 | 2,94 |
| | 2 | 0,18 | 0,19 | 0,90 | 0,72 | 3,46 | 2,69 |
| | 3 | 0,18 | 0,18 | 0,93 | 0,91 | 3,55 | 2,98 |

Quadro A10.6 - Data 6 (121 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,17 | 0,17 | 0,75 | 1,68 | 5,34 | 5,13 |
| | 2 | 0,16 | 0,16 | 0,00 | 1,06 | 2,19 | 3,15 |
| | 3 | 0,21 | 0,18 | 0,27 | 0,47 | 3,91 | 3,30 |
| N50 | 1 | 0,12 | 0,12 | 0,72 | 1,67 | 3,57 | 3,92 |
| | 2 | 0,16 | 0,19 | 0,00 | 1,56 | 3,37 | 4,61 |
| | 3 | 0,20 | 0,16 | 0,13 | 0,82 | 5,98 | 6,41 |
| N100 | 1 | 0,14 | 0,17 | 1,13 | 1,04 | 6,02 | 7,26 |
| | 2 | 0,14 | 0,16 | 0,38 | 1,61 | 4,07 | 3,79 |
| | 3 | 0,21 | 0,17 | 0,15 | 0,37 | 4,57 | 4,16 |
| N150 | 1 | 0,17 | 0,17 | 1,09 | 1,16 | 6,01 | 5,79 |
| | 2 | 0,14 | 0,15 | 1,21 | 1,86 | 28,79 | 16,91 |
| | 3 | 0,22 | 0,21 | 3,02 | 0,90 | 7,05 | 4,83 |
| N200 | 1 | 0,13 | 0,12 | 0,88 | 1,18 | 14,36 | 13,16 |
| | 2 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 1,25 | 12,28 | 15,76 |
| | 3 | 0,22 | 0,19 | 0,81 | 0,80 | 28,85 | 16,51 |
| N250 | 1 | 0,14 | 0,14 | 0,81 | 1,28 | 21,04 | 28,20 |
| | 2 | 0,18 | 0,18 | 0,48 | 1,19 | 22,43 | 34,51 |
| | 3 | 0,22 | 0,19 | 0,03 | 0,36 | 16,02 | 14,42 |
| N100 (BO) | 1 | 0,14 | 0,14 | 0,78 | 1,29 | 3,46 | 3,16 |
| | 2 | 0,14 | 0,15 | 0,05 | 1,80 | 3,56 | 5,37 |
| | 3 | 0,23 | 0,20 | 0,24 | 0,39 | 3,89 | 5,62 |
| N100 (BA) | 1 | 0,16 | 0,16 | 0,88 | 0,65 | 4,61 | 5,20 |
| | 2 | 0,15 | 0,15 | 0,60 | 1,56 | 1,79 | 3,82 |
| | 3 | 0,20 | 0,17 | 0,45 | 0,69 | 6,57 | 8,82 |
| N100 (AG) | 1 | 0,16 | 0,16 | 0,63 | 0,77 | 6,65 | 3,76 |
| | 2 | 0,15 | 0,15 | 0,01 | 0,36 | 10,21 | 8,42 |
| | 3 | 0,21 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 4,56 | 3,01 |
| N100 (FE) | 1 | 0,16 | 0,16 | 1,07 | 1,99 | 1,55 | 2,34 |
| | 2 | 0,16 | 0,16 | 0,45 | 0,60 | 5,29 | 4,11 |
| | 3 | 0,22 | 0,20 | 0,00 | 0,40 | 3,88 | 3,30 |

Quadro A10.7 - Data 7 (135 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,21 | 0,20 | 0,00 | 0,22 | 8,64 | 5,04 |
| | 2 | 0,22 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 4,77 | 3,76 |
| | 3 | 0,14 | 0,15 | 0,10 | 0,28 | 3,88 | 3,06 |
| N50 | 1 | 0,19 | 0,15 | 0,00 | 0,23 | 6,71 | 4,09 |
| | 2 | 0,22 | 0,19 | 0,00 | 0,31 | 5,20 | 3,78 |
| | 3 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,71 | 7,58 | 5,68 |
| N100 | 1 | 0,21 | 0,20 | 0,60 | 0,28 | 9,35 | 8,47 |
| | 2 | 0,21 | 0,18 | 0,00 | 0,19 | 13,68 | 10,69 |
| | 3 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 3,37 | 15,36 | 8,39 |
| N150 | 1 | 0,21 | 0,18 | 0,07 | 0,19 | 12,08 | 9,24 |
| | 2 | 0,21 | 0,18 | 0,63 | 0,76 | 23,41 | 12,72 |
| | 3 | 0,17 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 9,61 | 6,41 |
| N200 | 1 | 0,19 | 0,17 | 0,05 | 0,56 | 12,33 | 10,81 |
| | 2 | 0,22 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 17,47 | 23,72 |
| | 3 | 0,09 | 0,15 | 0,00 | 0,22 | 78,61 | 16,29 |
| N250 | 1 | 0,21 | 0,18 | 0,10 | 0,28 | 16,89 | 14,99 |
| | 2 | 0,22 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 18,72 | 28,61 |
| | 3 | 0,16 | 0,15 | 0,00 | 0,18 | 58,48 | 18,98 |
| N100 (BO) | 1 | 0,20 | 0,17 | 0,00 | 0,48 | 4,18 | 4,21 |
| | 2 | 0,21 | 0,18 | 0,18 | 0,35 | 8,29 | 5,67 |
| | 3 | 0,15 | 0,15 | 0,00 | 0,01 | 25,85 | 5,21 |
| N100 (BA) | 1 | 0,21 | 0,20 | 0,24 | 0,47 | 8,53 | 4,43 |
| | 2 | 0,22 | 0,18 | 0,00 | 0,17 | 6,03 | 4,92 |
| | 3 | 0,15 | 0,15 | 0,00 | 0,37 | 57,24 | 6,82 |
| N100 (AG) | 1 | 0,21 | 0,19 | 0,00 | 0,62 | 5,16 | 4,31 |
| | 2 | 0,21 | 0,18 | 0,11 | 0,00 | 4,93 | 6,11 |
| | 3 | 0,15 | 0,16 | 0,00 | 0,34 | 29,66 | 4,47 |
| N100 (FE) | 1 | 0,20 | 0,19 | 0,52 | 0,31 | 3,05 | 3,55 |
| | 2 | 0,23 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 7,61 | 3,65 |
| | 3 | 0,17 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 3,27 | 3,29 |

Quadro A10.8 - Data 8 (156 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teor de humidade (%) | | N-NH4+ (mg N/kg terra seca) | | N-NO3- (mg N/kg terra seca) | |
|-----------|-------|----------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm | Prof. 0-20 cm | Prof. 20-40cm |
| N0 | 1 | 0,24 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 2,49 |
| | 2 | 0,23 | 0,22 | 0,07 | 0,17 | 0,89 | 7,88 |
| | 3 | 0,22 | 0,22 | 0,48 | 0,00 | 6,46 | 8,92 |
| N50 | 1 | 0,20 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 1,92 | 7,67 |
| | 2 | 0,23 | 0,22 | 0,00 | 0,51 | 2,53 | 4,40 |
| | 3 | 0,21 | 0,21 | 0,00 | 0,26 | 4,25 | 8,41 |
| N100 | 1 | 0,23 | 0,22 | 0,00 | 0,30 | 4,39 | 5,60 |
| | 2 | 0,23 | 0,22 | 0,24 | 0,07 | 8,56 | 11,72 |
| | 3 | 0,23 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 6,40 | 15,20 |
| N150 | 1 | 0,23 | 0,20 | 0,00 | 0,28 | 0,36 | 5,00 |
| | 2 | 0,22 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 7,45 | 13,50 |
| | 3 | 0,23 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 4,76 | 13,38 |
| N200 | 1 | 0,22 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 1,37 | 9,36 |
| | 2 | 0,22 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 4,85 | 13,89 |
| | 3 | 0,23 | 0,21 | 0,00 | 0,15 | 28,92 | 22,60 |
| N250 | 1 | 0,21 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 4,99 | 11,68 |
| | 2 | 0,23 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 3,45 | 13,10 |
| | 3 | 0,23 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 38,57 | 16,72 |
| N100 (BO) | 1 | 0,22 | 0,19 | 0,34 | 0,16 | 0,93 | 4,39 |
| | 2 | 0,23 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 3,96 | 8,62 |
| | 3 | 0,23 | 0,22 | 0,55 | 0,36 | 28,95 | 9,75 |
| N100 (BA) | 1 | 0,23 | 0,23 | 0,19 | 0,15 | 4,72 | 6,24 |
| | 2 | 0,24 | 0,21 | 0,01 | 0,28 | 5,45 | 8,88 |
| | 3 | 0,22 | 0,21 | 0,12 | 0,00 | 10,36 | 3,96 |
| N100 (AG) | 1 | 0,23 | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 1,39 | 5,52 |
| | 2 | 0,23 | 0,22 | 0,02 | 0,00 | 3,99 | 9,07 |
| | 3 | 0,24 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 13,73 | 9,85 |
| N100 (FE) | 1 | 0,23 | 0,22 | 0,00 | 0,46 | 3,05 | 6,61 |
| | 2 | 0,24 | 0,22 | 0,02 | 0,00 | 2,93 | 6,36 |
| | 3 | 0,24 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 2,92 | 4,03 |

ANEXO 11 - Análise de variância ao azoto mineral no solo

11.1 - N-NH₄⁺; profundidade 0-20 cm

Data 1 (51 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.652 SQUARED MULTIPLE R: 0.425

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.2780 | 2 | 0.1390 | 1.1362 | 0.3430 |
| TRATAM | 1.3480 | 9 | 0.1498 | 1.2243 | 0.3401 |
| ERROR | 2.2020 | 18 | 0.1223 | | |

Data 2 (65 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.521 SQUARED MULTIPLE R: 0.271

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.0420 | 2 | 0.0210 | 0.0881 | 0.9161 |
| TRATAM | 1.5537 | 9 | 0.1726 | 0.7241 | 0.6819 |
| ERROR | 4.2913 | 18 | 0.2384 | | |

Data 3 (79 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.857 SQUARED MULTIPLE R: 0.734

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 20.7807 | 2 | 10.3903 | 20.5538 | 0.0000 |
| TRATAM | 4.3497 | 9 | 0.4833 | 0.9560 | 0.5045 |
| ERROR | 9.0993 | 18 | 0.5055 | | |

Data 4 (93 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.644 SQUARED MULTIPLE R: 0.415

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.2747 | 2 | 0.1373 | 1.2884 | 0.3000 |
| TRATAM | 1.0853 | 9 | 0.1206 | 1.1313 | 0.3913 |
| ERROR | 1.9187 | 18 | 0.1066 | | |

Data 5 (107 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.646 SQUARED MULTIPLE R: 0.417

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.4047 | 2 | 0.2023 | 1.2268 | 0.3166 |
| TRATAM | 1.7203 | 9 | 0.1911 | 1.1590 | 0.3755 |
| ERROR | 2.9687 | 18 | 0.1649 | | |

Data 6 (121 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.806 SQUARED MULTIPLE R: 0.649

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 1.5120 | 2 | 0.7560 | 3.6372 | 0.0471 |
| TRATAM | 5.4097 | 9 | 0.6011 | 2.8918 | 0.0264 |
| ERROR | 3.7413 | 18 | 0.2079 | | |

Data 7 (135 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.567 SQUARED MULTIPLE R: 0.322

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.0720 | 2 | 0.0360 | 1.1020 | 0.3536 |
| TRATAM | 0.2070 | 9 | 0.0230 | 0.7041 | 0.6980 |
| ERROR | 0.5880 | 18 | 0.0327 | | |

N-NH₄⁺; profundidade 0-20 cm (cont.)

Data 8 (156 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.719 SQUARED MULTIPLE R: 0.517
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0447 | 2 | 0.0223 | 1.2484 | 0.3106 |
| TRATAM | 0.3000 | 9 | 0.0333 | 1.8634 | 0.1248 |
| ERROR | 0.3220 | 18 | 0.0179 | | |

11.2 - N-NH₄⁺; profundidade 20-40 cm

Data 1 (51 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.782 SQUARED MULTIPLE R: 0.611
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1.6687 | 2 | 0.8343 | 4.8686 | 0.0204 |
| TRATAM | 3.1853 | 9 | 0.3539 | 2.0653 | 0.0910 |
| ERROR | 3.0847 | 18 | 0.1714 | | |

Data 2 (65 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.762 SQUARED MULTIPLE R: 0.581
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 6.6667 | 2 | 3.3333 | 9.6567 | 0.0014 |
| TRATAM | 1.9537 | 9 | 0.2171 | 0.6289 | 0.7583 |
| ERROR | 6.2133 | 18 | 0.3452 | | |

Data 3 (79 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.774 SQUARED MULTIPLE R: 0.599
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 28.1327 | 2 | 14.0663 | 8.6412 | 0.0023 |
| TRATAM | 15.6813 | 9 | 1.7424 | 1.0704 | 0.4283 |
| ERROR | 29.3007 | 18 | 1.6278 | | |

Data 4 (193 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.757 SQUARED MULTIPLE R: 0.574
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.6047 | 2 | 0.3023 | 4.1797 | 0.0323 |
| TRATAM | 1.1470 | 9 | 0.1274 | 1.7619 | 0.1465 |
| ERROR | 1.3020 | 18 | 0.0723 | | |

Data 5 (107 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.419 SQUARED MULTIPLE R: 0.176
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.1127 | 2 | 0.0563 | 0.3306 | 0.7228 |
| TRATAM | 0.5417 | 9 | 0.0602 | 0.3532 | 0.9430 |
| ERROR | 3.0673 | 18 | 0.1704 | | |

N-NH₄⁺; profundidade 20-40 cm (cont.)

Data 6 (121 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.837 SQUARED MULTIPLE R: 0.700

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 3.9547 | 2 | 1.9773 | 14.1688 | 0.0002 |
| TRATAM | 1.9070 | 9 | 0.2119 | 1.5183 | 0.2152 |
| ERROR | 2.5120 | 18 | 0.1396 | | |

Data 7 (135 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.588 SQUARED MULTIPLE R: 0.345

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.6480 | 2 | 0.3240 | 0.8139 | 0.4588 |
| TRATAM | 3.1297 | 9 | 0.3477 | 0.8736 | 0.5647 |
| ERROR | 7.1653 | 18 | 0.3981 | | |

Data 8 (156 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.542 SQUARED MULTIPLE R: 0.293

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0180 | 2 | 0.0090 | 0.2989 | 0.7452 |
| TRATAM | 0.2070 | 9 | 0.0230 | 0.7638 | 0.6501 |
| ERROR | 0.5420 | 18 | 0.0301 | | |

11.3 - N-NO₃⁻; profundidade 0-20 cm

Data 1 (51 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.802 SQUARED MULTIPLE R: 0.644

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 122.0987 | 2 | 61.0493 | 1.5236 | 0.2447 |
| TRATAM | 1180.3413 | 9 | 131.1490 | 3.2730 | 0.0155 |
| ERROR | 721.2547 | 18 | 40.0697 | | |

Data 2 (65 DAP)

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 85.4887 | 2 | 42.7443 | 2.1725 | 0.1428 |
| TRATAM | 806.7030 | 9 | 89.6337 | 4.5556 | 0.0030 |
| ERROR | 354.1580 | 18 | 19.6754 | | |

Data 3 (79 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.733 SQUARED MULTIPLE R: 0.538

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 199.6460 | 2 | 99.8230 | 2.9414 | 0.0785 |
| TRATAM | 510.7217 | 9 | 56.7469 | 1.6721 | 0.1688 |
| ERROR | 610.8673 | 18 | 33.9371 | | |

N-NO₃⁻; profundidade 0-20 cm (cont.)

Data 4 (93 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.774 SQUARED MULTIPLE R: 0.599

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 12.5847 | 2 | 6.2923 | 0.5181 | 0.6043 |
| TRATAM | 313.8750 | 9 | 34.8750 | 2.8714 | 0.0272 |
| ERROR | 218.6220 | 18 | 12.1457 | | |

Data 5 (107 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.657 SQUARED MULTIPLE R: 0.432

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 92.9087 | 2 | 46.4543 | 0.9685 | 0.3986 |
| TRATAM | 562.8053 | 9 | 62.5339 | 1.3037 | 0.3010 |
| ERROR | 863.3647 | 18 | 47.9647 | | |

Data 6 (121 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.826 SQUARED MULTIPLE R: 0.681

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 23.3660 | 2 | 11.6830 | 0.3904 | 0.6824 |
| TRATAM | 1129.0800 | 9 | 125.4533 | 4.1919 | 0.0047 |
| ERROR | 538.6940 | 18 | 29.9274 | | |

Data 7 (135 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.760 SQUARED MULTIPLE R: 0.578

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1355.3660 | 2 | 677.6830 | 3.6995 | 0.0451 |
| TRATAM | 3151.7617 | 9 | 350.1957 | 1.9117 | 0.1157 |
| ERROR | 3297.2673 | 18 | 183.1815 | | |

Data 8 (156 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.757 SQUARED MULTIPLE R: 0.573

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 847.3307 | 2 | 423.6653 | 7.4401 | 0.0044 |
| TRATAM | 527.0363 | 9 | 58.5596 | 1.0284 | 0.4552 |
| ERROR | 1024.9827 | 18 | 56.9435 | | |

11.4 - N-NO₃⁻; profundidade 20-40 cm

Data 1 (51 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.752 SQUARED MULTIPLE R: 0.566

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 198.6447 | 2 | 99.3223 | 1.6935 | 0.2119 |
| TRATAM | 1179.2883 | 9 | 131.0320 | 2.2342 | 0.0701 |
| ERROR | 1055.6687 | 18 | 58.6483 | | |

N-NO₃⁻; profundidade 20-40 cm (cont.)

Data 2 (65 DAP)

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 47.5727 | 2 | 23.7863 | 0.5325 | 0.5961 |
| TRATAM | 2186.4520 | 9 | 242.9391 | 5.4383 | 0.0011 |
| ERROR | 804.0940 | 18 | 44.6719 | | |

Data 3 (79 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.770 SQUARED MULTIPLE R: 0.593

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 153.5387 | 2 | 76.7693 | 1.7474 | 0.2025 |
| TRATAM | 998.9347 | 9 | 110.9927 | 2.5264 | 0.0450 |
| ERROR | 790.8013 | 18 | 43.9334 | | |

Data 4 (93 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.866 SQUARED MULTIPLE R: 0.751

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 63.7787 | 2 | 31.8893 | 2.5416 | 0.1066 |
| TRATAM | 616.0867 | 9 | 68.4541 | 5.4559 | 0.0011 |
| ERROR | 225.8413 | 18 | 12.5467 | | |

Data 5 (107 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.818 SQUARED MULTIPLE R: 0.669

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 16.9647 | 2 | 8.4823 | 0.4849 | 0.6236 |
| TRATAM | 620.1897 | 9 | 68.9100 | 3.9393 | 0.0064 |
| ERROR | 314.8753 | 18 | 17.4931 | | |

Data 6 (121 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.905 SQUARED MULTIPLE R: 0.819

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 49.2527 | 2 | 24.6263 | 1.4448 | 0.2619 |
| TRATAM | 1338.3453 | 9 | 148.7050 | 8.7245 | 0.0001 |
| ERROR | 306.8007 | 18 | 17.0445 | | |

Data 7 (135 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.933 SQUARED MULTIPLE R: 0.871

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 63.8107 | 2 | 31.9053 | 3.7945 | 0.0422 |
| TRATAM | 961.6617 | 9 | 106.8513 | 12.7078 | 0.0000 |
| ERROR | 151.3493 | 18 | 8.4083 | | |

Data 8 (156 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.858 SQUARED MULTIPLE R: 0.735

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 121.7487 | 2 | 60.8743 | 7.1821 | 0.0051 |
| TRATAM | 302.3533 | 9 | 33.5948 | 3.9636 | 0.0062 |
| ERROR | 152.5647 | 18 | 8.4758 | | |

11.5 - azoto mineral (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺); profundidade 0-40 cm

Data 1 (51 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.846 SQUARED MULTIPLE R: 0.716

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 970.3127 | 2 | 485.1563 | 2.3232 | 0.1266 |
| TRATAM | 8522.1137 | 9 | 946.9015 | 4.5342 | 0.0031 |
| ERROR | 3759.0073 | 18 | 208.8337 | | |

Data 2 (65 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.882 SQUARED MULTIPLE R: 0.778

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 167.3607 | 2 | 83.6803 | 0.9215 | 0.4159 |
| TRATAM | 5556.3787 | 9 | 617.3754 | 6.7990 | 0.0003 |
| ERROR | 1634.4793 | 18 | 90.8044 | | |

Data 3 (79 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.790 SQUARED MULTIPLE R: 0.623

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1067.2807 | 2 | 533.6403 | 3.6734 | 0.0459 |
| TRATAM | 3260.8297 | 9 | 362.3144 | 2.4940 | 0.0472 |
| ERROR | 2614.8993 | 18 | 145.2722 | | |

Data 4 (93 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.828 SQUARED MULTIPLE R: 0.686

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 95.6240 | 2 | 47.8120 | 1.1567 | 0.3368 |
| TRATAM | 1532.3737 | 9 | 170.2637 | 4.1191 | 0.0051 |
| ERROR | 744.0293 | 18 | 41.3350 | | |

Data 5 (107 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.814 SQUARED MULTIPLE R: 0.662

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 20.6127 | 2 | 10.3063 | 0.1624 | 0.8514 |
| TRATAM | 2217.1363 | 9 | 246.3485 | 3.8809 | 0.0069 |
| ERROR | 1142.5807 | 18 | 63.4767 | | |

Data 6 (121 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.880 SQUARED MULTIPLE R: 0.774

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 118.2827 | 2 | 59.1413 | 0.7413 | 0.4905 |
| TRATAM | 4796.1417 | 9 | 532.9046 | 6.6794 | 0.0003 |
| ERROR | 1436.0973 | 18 | 79.7832 | | |

Data 7 (135 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.833 SQUARED MULTIPLE R: 0.694

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2437.1687 | 2 | 1218.5843 | 5.2370 | 0.0161 |
| TRATAM | 7055.2803 | 9 | 783.9200 | 3.3690 | 0.0136 |
| ERROR | 4188.3447 | 18 | 232.6858 | | |

N mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$); profundidade 0-40 cm (cont.)

Data 8 (156 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.808 SQUARED MULTIPLE R: 0.653

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1513.0687 | 2 | 756.5343 | 8.8874 | 0.0021 |
| TRATAM | 1372.8897 | 9 | 152.5433 | 1.7920 | 0.1397 |
| ERROR | 1532.2313 | 18 | 85.1240 | | |

ANEXO 12 - Registos dos teores de azoto na MS dos diferentes componentes da planta

Quadro A12.1 - Data 1 (50 DAP)

Quadro A12.2 - Data 2 (64 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teores de N na MS (%) | | | Tubérculos | Caules | Folhas | BLOCO | TRATAM |
|-----------|-------|-----------------------|--------|--------|------------|--------|--------|-------|-----------|
| | | Tubérculos | Caules | Folhas | | | | | |
| N0 | 1 | 2,116 * | 2,661 | 4,260 | 1,404 | 2,461 | 3,668 | 1 | |
| | 2 | = | 2,699 | 4,759 | 1,305 | 1,611 | 3,443 | 2 | N0 |
| | 3 | = | 2,935 | 4,074 | 1,136 | 1,419 | 4,095 | 3 | |
| N50 | 1 | = | 3,164 | 4,540 | 1,371 | 2,159 | 4,035 | 1 | |
| | 2 | = | 2,704 | 4,950 | 1,333 | 1,858 | 3,805 | 2 | N50 |
| | 3 | = | 3,312 | 4,468 | 1,673 | 2,225 | 4,566 | 3 | |
| N100 | 1 | = | 3,006 | 4,731 | 1,508 | 2,661 | 4,172 | 1 | |
| | 2 | = | 3,159 | 4,496 | 1,349 | 2,093 | 4,490 | 2 | N100 |
| | 3 | = | 3,368 | 4,221 | 1,733 | 2,493 | 4,286 | 3 | |
| N150 | 1 | = | 3,363 | 4,940 | 1,634 | 2,723 | 4,797 | 1 | |
| | 2 | = | 2,908 | 4,956 | 1,837 | 2,713 | 4,742 | 2 | N150 |
| | 3 | = | 3,116 | 5,104 | 1,645 | 2,433 | 4,478 | 3 | |
| N200 | 1 | = | 2,776 | 5,269 | 1,656 | 2,888 | 4,655 | 1 | |
| | 2 | = | 3,033 | 5,296 | 1,612 | 2,910 | 4,452 | 2 | N200 |
| | 3 | = | 2,906 | 4,386 | 1,530 | 2,855 | 4,938 | 3 | |
| N250 | 1 | = | 3,182 | 4,742 | 1,727 | 2,769 | 4,496 | 1 | |
| | 2 | = | 3,488 | 4,655 | 1,727 | 3,184 | 5,055 | 2 | N250 |
| | 3 | = | 3,417 | 4,441 | 1,618 | 2,997 | 4,752 | 3 | |
| N100 (BO) | 1 | = | 3,198 | 4,446 | 1,366 | 1,781 | 3,542 | 1 | |
| | 2 | = | 3,132 | 4,139 | 1,371 | 1,885 | 3,877 | 2 | N100 (BO) |
| | 3 | = | 2,962 | 4,128 | 1,305 | 2,148 | 3,990 | 3 | |
| N100 (BA) | 1 | = | 3,072 | 4,550 | 1,684 | 2,268 | 4,002 | 1 | |
| | 2 | = | 2,442 | 3,811 | 1,387 | 1,781 | 3,679 | 2 | N100 (BA) |
| | 3 | = | 3,428 | 4,666 | 1,552 | 2,148 | 4,474 | 3 | |
| N100 (AG) | 1 | = | 2,699 | 4,764 | 1,952 | 2,537 | 4,303 | 1 | |
| | 2 | = | 2,568 | 4,923 | 1,284 | 1,863 | 4,079 | 2 | N100 (AG) |
| | 3 | = | 2,815 | 4,666 | 1,513 | 2,531 | 4,259 | 3 | |
| N100 (FE) | 1 | = | 2,694 | 4,835 | 1,826 | 2,066 | 3,893 | 1 | |
| | 2 | = | 2,595 | 4,978 | 1,930 | 2,367 | 4,353 | 2 | N100 (FE) |
| | 3 | = | 2,661 | 3,734 | 1,113 | 1,802 | 3,891 | 3 | |

* Valor médio de todos os tubérculos obtidos na primeira colheita

Quadro A12.3 - Data 3 (78 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teores de N na MS (%) | | |
|-----------|-------|-----------------------|--------|--------|
| | | Tubérculos | Caules | Folhas |
| N0 | 1 | 1,404 | 1,835 | 4,001 |
| | 2 | 1,333 | 1,874 | 3,831 |
| | 3 | 1,207 | 1,584 | 3,924 |
| N50 | 1 | 1,097 | 1,644 | 4,253 |
| | 2 | 1,224 | 1,545 | 3,370 |
| | 3 | 1,279 | 1,792 | 4,045 |
| N100 | 1 | 1,245 | 2,060 | 4,242 |
| | 2 | 1,383 | 2,208 | 4,357 |
| | 3 | 1,509 | 2,121 | 4,127 |
| N150 | 1 | 1,453 | 2,395 | 4,719 |
| | 2 | 1,394 | 2,477 | 4,626 |
| | 3 | 1,207 | 2,444 | 4,861 |
| N200 | 1 | 1,475 | 2,290 | 3,975 |
| | 2 | 1,345 | 2,011 | 4,412 |
| | 3 | 1,432 | 2,104 | 4,461 |
| N250 | 1 | 1,338 | 2,203 | 4,653 |
| | 2 | 1,586 | 2,554 | 4,253 |
| | 3 | 1,327 | 2,093 | 4,406 |
| N100 (BO) | 1 | 1,009 | 0,898 | 3,436 |
| | 2 | 1,207 | 1,397 | 3,299 |
| | 3 | 1,263 | 1,490 | 3,623 |
| N100 (BA) | 1 | 1,294 | 1,907 | 3,858 |
| | 2 | 1,224 | 1,342 | 3,995 |
| | 3 | 1,411 | 1,726 | 4,034 |
| N100 (AG) | 1 | 1,300 | 2,402 | 4,439 |
| | 2 | 1,065 | 1,320 | 4,138 |
| | 3 | 1,334 | 1,612 | 3,727 |
| N100 (FE) | 1 | 1,131 | 1,463 | 3,370 |
| | 2 | 1,257 | 1,617 | 3,656 |
| | 3 | 1,033 | 1,338 | 3,403 |

Quadro A12.4 - Data 4 (92 DAP)

| Tubérculos | Caules | Folhas | BLOCO | TRATAM |
|------------|--------|--------|-------|-----------|
| | | | | |
| 1,279 | 1,234 | 3,222 | 1 | |
| 1,104 | 1,591 | 2,657 | 2 | N0 |
| 1,394 | 1,837 | 3,416 | 3 | |
| 1,060 | 1,398 | 3,606 | 1 | |
| 1,230 | 1,591 | 3,940 | 2 | N50 |
| 1,367 | 1,711 | 3,525 | 3 | |
| 1,718 | 1,591 | 3,562 | 1 | |
| 1,526 | 2,380 | 3,771 | 2 | N100 |
| 1,367 | 1,776 | 3,805 | 3 | |
| 1,433 | 1,711 | 3,874 | 1 | |
| 1,488 | 1,903 | 3,595 | 2 | N150 |
| 1,641 | 2,275 | 4,397 | 3 | |
| 1,356 | 2,128 | 4,494 | 1 | |
| 1,422 | 1,809 | 3,109 | 2 | N200 |
| 1,701 | 2,402 | 4,167 | 3 | |
| 1,855 | 2,862 | 4,527 | 1 | |
| 1,351 | 2,538 | 4,390 | 2 | N250 |
| 2,090 | 2,308 | 4,402 | 3 | |
| 1,252 | 1,360 | 2,554 | 1 | |
| 1,307 | 1,612 | 3,228 | 2 | N100 (BO) |
| 1,170 | 1,311 | 2,730 | 3 | |
| 1,077 | 1,097 | 2,877 | 1 | |
| 1,143 | 1,311 | 2,904 | 2 | N100 (BA) |
| 1,356 | 1,064 | 2,703 | 3 | |
| 1,258 | 1,607 | 3,382 | 1 | |
| 1,389 | 1,502 | 3,246 | 2 | N100 (AG) |
| 1,208 | 1,284 | 2,950 | 3 | |
| 1,126 | 1,185 | 2,461 | 1 | |
| 0,939 | 0,899 | 2,911 | 2 | N100 (FE) |
| 1,104 | 1,075 | 2,528 | 3 | |

Quadro A12.5 - Data 5 (106 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teores de N na MS (%) | | |
|-----------|-------|-----------------------|--------|--------|
| | | Tubérculos | Caules | Folhas |
| N0 | 1 | 1,131 | 1,004 | 2,232 |
| | 2 | 0,998 | 0,938 | 2,023 |
| | 3 | 1,360 | 1,031 | 2,511 |
| N50 | 1 | 1,203 | 1,179 | 2,456 |
| | 2 | 1,228 | 1,136 | 2,594 |
| | 3 | 1,420 | 1,371 | 3,087 |
| N100 | 1 | 1,213 | 1,228 | 2,862 |
| | 2 | 1,410 | 1,546 | 3,142 |
| | 3 | 1,245 | 1,437 | 3,092 |
| N150 | 1 | 1,899 | 1,820 | 3,295 |
| | 2 | 1,574 | 1,974 | 4,046 |
| | 3 | 1,711 | 1,546 | 3,230 |
| N200 | 1 | 1,581 | 1,300 | 2,895 |
| | 2 | 1,492 | 2,007 | 3,953 |
| | 3 | 1,658 | 1,711 | 3,871 |
| N250 | 1 | 1,607 | 1,820 | 3,816 |
| | 2 | 1,766 | 2,122 | 3,657 |
| | 3 | 1,872 | 1,591 | 3,443 |
| N100 (BO) | 1 | 1,251 | 1,009 | 2,320 |
| | 2 | 1,173 | 1,064 | 2,785 |
| | 3 | 1,225 | 1,173 | 2,363 |
| N100 (BA) | 1 | 1,327 | 0,889 | 2,451 |
| | 2 | 1,311 | 1,009 | 2,561 |
| | 3 | 1,422 | 1,185 | 2,878 |
| N100 (AG) | 1 | 1,157 | 1,179 | 2,758 |
| | 2 | 1,398 | 1,113 | 2,341 |
| | 3 | 1,394 | 1,020 | 2,802 |
| N100 (FE) | 1 | 1,146 | 0,987 | 2,188 |
| | 2 | 1,591 | 1,130 | 2,511 |
| | 3 | 1,384 | 0,998 | 2,139 |

Quadro A12.6 - Data 6 (120 DAP)

| Tubérculos | Caules | Folhas | BLOCO | TRATAM |
|------------|--------|--------|-------|-----------|
| | | | | |
| 1,115 | 0,823 | 1,760 | 1 | |
| 1,328 | 0,944 | 2,122 | 2 | N0 |
| 1,689 | 1,053 | 2,571 | 3 | |
| 1,762 | 0,954 | 1,980 | 1 | |
| 1,839 | 0,806 | 0,000 | 2 | N50 |
| 1,872 | 1,459 | 2,172 | 3 | |
| 1,608 | 0,971 | 2,254 | 1 | |
| 1,570 | 1,272 | 2,451 | 2 | N100 |
| 1,926 | 1,026 | 2,357 | 3 | |
| 1,855 | 1,261 | 3,026 | 1 | |
| 2,156 | 1,261 | 2,901 | 2 | N150 |
| 1,783 | 2,172 | 3,169 | 3 | |
| 1,888 | 1,925 | 2,857 | 1 | |
| 2,233 | 1,694 | 2,994 | 2 | N200 |
| 2,151 | 1,755 | 3,185 | 3 | |
| 1,701 | 1,563 | 3,037 | 1 | |
| 1,701 | 1,947 | 3,065 | 2 | N250 |
| 1,789 | 1,486 | 2,895 | 3 | |
| 1,356 | 0,823 | 2,221 | 1 | |
| 1,356 | 1,004 | 2,007 | 2 | N100 (BO) |
| 1,361 | 0,960 | 2,204 | 3 | |
| 1,733 | 1,037 | 2,297 | 1 | |
| 1,625 | 1,272 | 2,550 | 2 | N100 (BA) |
| 1,537 | 1,070 | 2,380 | 3 | |
| 1,914 | 0,982 | 2,478 | 1 | |
| 1,499 | 1,037 | 2,149 | 2 | N100 (AG) |
| 1,378 | 1,080 | 2,128 | 3 | |
| 1,295 | 1,420 | 2,182 | 1 | |
| 1,307 | 0,998 | 2,423 | 2 | N100 (FE) |
| 1,263 | 0,982 | 2,226 | 3 | |

Quadro A12.7 - Data 7 (134 DAP)

| TRATAM | BLOCO | Teores. de N na MS (%) | | |
|--------|-------|------------------------|--------|--------|
| | | Tubérculos | Caules | Folhas |
| N150 | 1 | 1,663 | 1,157 | 2,451 |
| | 2 | 2,080 | 1,809 | 2,594 |
| | 3 | 2,020 | 1,574 | 3,021 |
| N200 | 1 | 1,789 | 1,366 | 2,308 |
| | 2 | 1,926 | 1,448 | 2,775 |
| | 3 | 1,707 | 1,459 | 2,687 |
| N250 | 1 | 1,910 | 1,453 | 2,884 |
| | 2 | 2,244 | 1,809 | 3,136 |
| | 3 | 2,135 | 1,173 | 0,000 |

ANEXO 13 - Registos do azoto mineral não metabolizado acumulado nos tubérculos

Quadro A13 - Azoto mineral não metabolizado nos tubérculos

| TRATAM | BLOCO | Teores N nos tub. (mg N/kg MS) | |
|-----------|-------|--------------------------------|----------|
| | | N-NO3- | N-NH4+ |
| N0 | 1 | 31,935 | 781,278 |
| | 2 | 19,290 | 653,401 |
| | 3 | 29,053 | 883,356 |
| N50 | 1 | 30,347 | 1422,349 |
| | 2 | 121,740 | 931,591 |
| | 3 | 64,340 | 934,956 |
| N100 | 1 | 31,053 | 1001,138 |
| | 2 | 147,205 | 807,078 |
| | 3 | 119,682 | 1013,477 |
| N150 | 1 | 35,405 | 805,396 |
| | 2 | 45,874 | 1949,563 |
| | 3 | 83,924 | 917,008 |
| N200 | 1 | 53,107 | 832,878 |
| | 2 | 71,868 | 1066,199 |
| | 3 | 129,150 | 752,674 |
| N250 | 1 | 92,981 | 1064,516 |
| | 2 | 89,158 | 1218,194 |
| | 3 | 78,572 | 1276,523 |
| N100 (BO) | 1 | 18,467 | 770,622 |
| | 2 | 22,819 | 696,027 |
| | 3 | 35,875 | 784,083 |
| N100 (BA) | 1 | 41,991 | 841,852 |
| | 2 | 45,285 | 900,743 |
| | 3 | 23,054 | 811,004 |
| N100 (AG) | 1 | 31,170 | 1602,948 |
| | 2 | 51,107 | 661,814 |
| | 3 | 29,171 | 876,065 |
| N100 (FE) | 1 | 30,758 | 736,970 |
| | 2 | 21,760 | 501,406 |
| | 3 | 15,879 | 831,195 |

ANEXO 14 - Análise de variância aos teores de azoto nos componentes da planta

14.1 - Teores de azoto nos caules

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.817 SQUARED MULTIPLE R: 0.667

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.2402 | 2 | 0.1201 | 2.6276 | 0.0997 |
| TRATAM | 1.4104 | 9 | 0.1567 | 3.4278 | 0.0125 |
| ERROR | 0.8229 | 18 | 0.0457 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.869 SQUARED MULTIPLE R: 0.754

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.2257 | 2 | 0.1128 | 1.3749 | 0.2782 |
| TRATAM | 4.3101 | 9 | 0.4789 | 5.8356 | 0.0008 |
| ERROR | 1.4772 | 18 | 0.0821 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.869 SQUARED MULTIPLE R: 0.755

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0399 | 2 | 0.0199 | 0.2879 | 0.7532 |
| TRATAM | 3.8005 | 9 | 0.4223 | 6.0988 | 0.0006 |
| ERROR | 1.2463 | 18 | 0.0692 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.911 SQUARED MULTIPLE R: 0.829

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0564 | 2 | 0.0282 | 0.4241 | 0.6607 |
| TRATAM | 5.7577 | 9 | 0.6397 | 9.6168 | 0.0000 |
| ERROR | 1.1974 | 18 | 0.0665 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.925 SQUARED MULTIPLE R: 0.857

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.1337 | 2 | 0.0668 | 2.2864 | 0.1304 |
| TRATAM | 3.0075 | 9 | 0.3342 | 11.4324 | 0.0000 |
| ERROR | 0.5261 | 18 | 0.0292 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.845 SQUARED MULTIPLE R: 0.714

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0843 | 2 | 0.0421 | 0.6831 | 0.5177 |
| TRATAM | 2.6830 | 9 | 0.2981 | 4.8328 | 0.0022 |
| ERROR | 1.1104 | 18 | 0.0617 | | |

Teores de azoto nos caules (cont.)

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.728 SQUARED MULTIPLE R: 0.529

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.2201 | 2 | 0.1100 | 2.1326 | 0.2342 | |
| TRATAM | 0.0121 | 2 | 0.0060 | 0.1169 | 0.8926 | |
| ERROR | 0.2064 | 4 | 0.0516 | | | |

14.2 - Teores de azoto na folhas

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.753 SQUARED MULTIPLE R: 0.566

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.6750 | 2 | 0.3375 | 3.2235 | 0.0636 | |
| TRATAM | 1.7855 | 9 | 0.1984 | 1.8948 | 0.1188 | |
| ERROR | 1.8846 | 18 | 0.1047 | | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.870 SQUARED MULTIPLE R: 0.756

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.2646 | 2 | 0.1323 | 1.9152 | 0.1762 | |
| TRATAM | 3.5900 | 9 | 0.3989 | 5.7746 | 0.0008 | |
| ERROR | 1.2434 | 18 | 0.0691 | | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.899 SQUARED MULTIPLE R: 0.809

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.0528 | 2 | 0.0264 | 0.4565 | 0.6407 | |
| TRATAM | 4.3500 | 9 | 0.4833 | 8.3538 | 0.0001 | |
| ERROR | 1.0414 | 18 | 0.0579 | | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.900 SQUARED MULTIPLE R: 0.810

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.0472 | 2 | 0.0236 | 0.1873 | 0.8308 | |
| TRATAM | 9.6033 | 9 | 1.0670 | 8.4609 | 0.0001 | |
| ERROR | 2.2700 | 18 | 0.1261 | | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.910 SQUARED MULTIPLE R: 0.828

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 0.3369 | 2 | 0.1684 | 1.8227 | 0.1902 | |
| TRATAM | 7.6441 | 9 | 0.8493 | 9.1904 | 0.0000 | |
| ERROR | 1.6635 | 18 | 0.0924 | | | |

Teores de azoto nas folhas (cont.)

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.836 SQUARED MULTIPLE R: 0.698
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.3455 | 2 | 0.1727 | 0.9795 | 0.3946 |
| TRATAM | 6.9956 | 9 | 0.7773 | 4.4079 | 0.0036 |
| ERROR | 3.1741 | 18 | 0.1763 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.551 SQUARED MULTIPLE R: 0.304
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1.3678 | 2 | 0.6839 | 0.5468 | 0.6167 |
| TRATAM | 0.8151 | 2 | 0.4076 | 0.3259 | 0.7394 |
| ERROR | 5.0030 | 4 | 1.2508 | | |

14.3 - Teores de azoto nos tubérculos

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.658 SQUARED MULTIPLE R: 0.432
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0934 | 2 | 0.0467 | 1.0479 | 0.3711 |
| TRATAM | 0.5180 | 9 | 0.0576 | 1.2911 | 0.3069 |
| ERROR | 0.8023 | 18 | 0.0446 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.718 SQUARED MULTIPLE R: 0.516
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0047 | 2 | 0.0023 | 0.1531 | 0.8591 |
| TRATAM | 0.2871 | 9 | 0.0319 | 2.0972 | 0.0866 |
| ERROR | 0.2738 | 18 | 0.0152 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.845 SQUARED MULTIPLE R: 0.714
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0884 | 2 | 0.0442 | 1.5675 | 0.2357 |
| TRATAM | 1.1774 | 9 | 0.1308 | 4.6405 | 0.0027 |
| ERROR | 0.5075 | 18 | 0.0282 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.897 SQUARED MULTIPLE R: 0.805
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.0709 | 2 | 0.0354 | 2.1488 | 0.1456 |
| TRATAM | 1.1567 | 9 | 0.1285 | 7.7905 | 0.0001 |
| ERROR | 0.2970 | 18 | 0.0165 | | |

Teores de azoto nos tubérculos (cont.)

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.875 SQUARED MULTIPLE R: 0.765

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.0147 | 2 | 0.0073 | 0.2346 | 0.7933 |
| TRATAM | 1.8194 | 9 | 0.2022 | 6.4595 | 0.0004 |
| ERROR | 0.5633 | 18 | 0.0313 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.913 SQUARED MULTIPLE R: 0.833

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.1321 | 2 | 0.0661 | 5.0786 | 0.0798 |
| TRATAM | 0.1272 | 2 | 0.0636 | 4.8888 | 0.0843 |
| ERROR | 0.0520 | 4 | 0.0130 | | |

Colheita

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.875 SQUARED MULTIPLE R: 0.766

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 0.0320 | 2 | 0.0160 | 0.4946 | 0.6179 |
| TRATAM | 1.8686 | 9 | 0.2076 | 6.4246 | 0.0004 |
| ERROR | 0.5817 | 18 | 0.0323 | | |

ANEXO 15 - Análise de variância ao azoto total nos componentes da planta

15.1 - Azoto total na rama (caules + folhas)

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.805 SQUARED MULTIPLE R: 0.648

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 5.5289 | 2 | 2.7645 | 1.9094 | 0.1770 |
| TRATAM | 42.5207 | 9 | 4.7245 | 3.2632 | 0.0157 |
| ERROR | 26.0610 | 18 | 1.4478 | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.852 SQUARED MULTIPLE R: 0.726

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 3.7360 | 2 | 1.8680 | 0.4219 | 0.6621 |
| TRATAM | 207.3859 | 9 | 23.0429 | 5.2043 | 0.0015 |
| ERROR | 79.6980 | 18 | 4.4277 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.470 SQUARED MULTIPLE R: 0.221

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.6347 | 2 | 0.3173 | 0.3537 | 0.7068 |
| TRATAM | 3.9514 | 9 | 0.4390 | 0.4894 | 0.8629 |
| ERROR | 16.1482 | 18 | 0.8971 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.917 SQUARED MULTIPLE R: 0.841

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 13.0584 | 2 | 6.5292 | 1.7247 | 0.2064 |
| TRATAM | 348.0460 | 9 | 38.6718 | 10.2155 | 0.0000 |
| ERROR | 68.1411 | 18 | 3.7856 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.929 SQUARED MULTIPLE R: 0.863

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 5.2404 | 2 | 2.6202 | 0.8903 | 0.4279 |
| TRATAM | 327.8555 | 9 | 36.4284 | 12.3777 | 0.0000 |
| ERROR | 52.9754 | 18 | 2.9431 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.932 SQUARED MULTIPLE R: 0.868

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 1.7129 | 2 | 0.8565 | 0.5722 | 0.5742 |
| TRATAM | 175.4122 | 9 | 19.4902 | 13.0205 | 0.0000 |
| ERROR | 26.9440 | 18 | 1.4969 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.712 SQUARED MULTIPLE R: 0.508

ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2.8620 | 2 | 1.4310 | 0.9828 | 0.4496 |
| TRATAM | 3.1425 | 2 | 1.5712 | 1.0791 | 0.4219 |
| ERROR | 5.8243 | 4 | 1.4561 | | |

15.2 - Azoto total nos tubérculos

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.635 SQUARED MULTIPLE R: 0.403
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.2682 | 2 | 0.1341 | 0.5217 | 0.6022 |
| TRATAM | 2.8529 | 9 | 0.3170 | 1.2329 | 0.3357 |
| ERROR | 4.6280 | 18 | 0.2571 | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.470 SQUARED MULTIPLE R: 0.221
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 0.6347 | 2 | 0.3173 | 0.3537 | 0.7068 |
| TRATAM | 3.9514 | 9 | 0.4390 | 0.4894 | 0.8629 |
| ERROR | 16.1482 | 18 | 0.8971 | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.565 SQUARED MULTIPLE R: 0.319
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2.9450 | 2 | 1.4725 | 1.1796 | 0.3301 |
| TRATAM | 7.5862 | 9 | 0.8429 | 0.6752 | 0.7212 |
| ERROR | 22.4700 | 18 | 1.2483 | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.425 SQUARED MULTIPLE R: 0.181
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 3.8978 | 2 | 1.9489 | 0.6023 | 0.5582 |
| TRATAM | 8.9421 | 9 | 0.9936 | 0.3070 | 0.9626 |
| ERROR | 58.2482 | 18 | 3.2360 | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.876 SQUARED MULTIPLE R: 0.767
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 5.3949 | 2 | 2.6974 | 1.6868 | 0.2131 |
| TRATAM | 89.1075 | 9 | 9.9008 | 6.1915 | 0.0005 |
| ERROR | 28.7838 | 18 | 1.5991 | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.677 SQUARED MULTIPLE R: 0.458
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 2.9643 | 2 | 1.4821 | 0.2579 | 0.7846 |
| TRATAM | 16.4418 | 2 | 8.2209 | 1.4305 | 0.3399 |
| ERROR | 22.9877 | 4 | 5.7469 | | |

Colheita

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.874 SQUARED MULTIPLE R: 0.763
ANALYSIS OF VARIANCE

| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
|--------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| BLOCO | 4.4902 | 2 | 2.2451 | 0.8024 | 0.4636 |
| TRATAM | 157.7085 | 9 | 17.5232 | 6.2628 | 0.0005 |
| ERROR | 50.3635 | 18 | 2.7980 | | |

15.3 - azoto total na planta (rama + tubérculos)

Data 1 (50 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.805 SQUARED MULTIPLE R: 0.648

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 5.5289 | 2 | 2.7645 | 1.9094 | 0.1770 | |
| TRATAM | 42.5207 | 9 | 4.7245 | 3.2632 | 0.0157 | |
| ERROR | 26.0610 | 18 | 1.4478 | | | |

Data 2 (64 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.835 SQUARED MULTIPLE R: 0.697

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 2.6350 | 2 | 1.3175 | 0.2313 | 0.7958 | |
| TRATAM | 233.3043 | 9 | 25.9227 | 4.5516 | 0.0031 | |
| ERROR | 102.5144 | 18 | 5.6952 | | | |

Data 3 (78 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.840 SQUARED MULTIPLE R: 0.706

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 7.5413 | 2 | 3.7706 | 0.6151 | 0.5516 | |
| TRATAM | 257.2039 | 9 | 28.5782 | 4.6618 | 0.0027 | |
| ERROR | 110.3450 | 18 | 6.1303 | | | |

Data 4 (92 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.908 SQUARED MULTIPLE R: 0.825

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 28.1789 | 2 | 14.0894 | 3.1331 | 0.0680 | |
| TRATAM | 353.2364 | 9 | 39.2485 | 8.7277 | 0.0001 | |
| ERROR | 80.9461 | 18 | 4.4970 | | | |

Data 5 (106 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.897 SQUARED MULTIPLE R: 0.805

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 17.2490 | 2 | 8.6245 | 1.6926 | 0.2120 | |
| TRATAM | 361.9596 | 9 | 40.2177 | 7.8929 | 0.0001 | |
| ERROR | 91.7179 | 18 | 5.0954 | | | |

Data 6 (120 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.946 SQUARED MULTIPLE R: 0.895

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 5.9299 | 2 | 2.9649 | 1.1392 | 0.3421 | |
| TRATAM | 394.3954 | 9 | 43.8217 | 16.8367 | 0.0000 | |
| ERROR | 46.8494 | 18 | 2.6027 | | | |

Data 7 (134 DAP)

DEP VAR: DADOS N: 9 MULTIPLE R: 0.812 SQUARED MULTIPLE R: 0.659

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| BLOCO | 11.1708 | 2 | 5.5854 | 1.4464 | 0.3368 | |
| TRATAM | 18.7334 | 2 | 9.3667 | 2.4257 | 0.2042 | |
| ERROR | 15.4459 | 4 | 3.8615 | | | |

ANEXO 16 - Análise de variância ao azoto mineral não metabolizado acumulado nos tubérculos

16.1 - Acumulação de N-NO₃⁻

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.809 SQUARED MULTIPLE R: 0.654

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 3419.7687 | 2 | 1709.8843 | 2.2447 | 0.1348 |
| TRATAM | 22495.9413 | 9 | 2499.5490 | 3.2814 | 0.0153 |
| ERROR | 13711.1047 | 18 | 761.7280 | | |

16.2 - Acumulação de N-NH₄⁺

DEP VAR: DADOS N: 30 MULTIPLE R: 0.614 SQUARED MULTIPLE R: 0.377

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| BLOCO | 30845.8607 | 2 | 15422.9303 | 0.1727 | 0.8428 |
| TRATAM | 943957.3813 | 9 | 104884.1535 | 1.1741 | 0.3670 |
| ERROR | .160792E+07 | 18 | 89328.9696 | | |

ANEXO 17 - Parâmetros de ajustamento dos modelos de correlação estabelecidos

17.1 - Azoto aplicado como fertilizante *versus* produção comerciável

$$\text{Modelo } y = a + bx + cx^2$$

| DEPENDENT VARIABLE IS Prod. Comerciável | | | |
|---|----------------|----|-------------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE |
| REGRESSION | .417213E+08 | 3 | .139071E+08 |
| RESIDUAL | 217800.5149 | 3 | 72600.1716 |
| TOTAL | .419391E+08 | 6 | |
| CORRECTED | 807208.0933 | 5 | |

RAW R-SQUARED (1-RESIDUAL/TOTAL) = 0.9948
 CORRECTED R-SQUARED (1-RESIDUAL/CORRECTED) = 0.7302

| PARAMETER | ESTIMATE |
|-----------|-----------|
| <i>a</i> | 2034.1283 |
| <i>b</i> | 8.1984 |
| <i>c</i> | -0.0192 |

17.2 - Azoto máximo na rama *versus* produção comerciável

$$\text{Modelo } y = a + bx + cx^2$$

| DEPENDENT VARIABLE IS Prod. Comerciável | | | |
|---|----------------|----|-------------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE |
| REGRESSION | .417603E+08 | 3 | .139201E+08 |
| RESIDUAL | 178807.8390 | 3 | 59602.6130 |
| TOTAL | .419391E+08 | 6 | |
| CORRECTED | 807208.0933 | 5 | |

RAW R-SQUARED (1-RESIDUAL/TOTAL) = 0.9957
 CORRECTED R-SQUARED (1-RESIDUAL/CORRECTED) = 0.7785

| PARAMETER | ESTIMATE |
|-----------|----------|
| <i>a</i> | 168.9421 |
| <i>b</i> | 300.0762 |
| <i>c</i> | -7.7982 |

17.3 - Azoto nos tubérculos *versus* produção comerciável

$$\text{Modelo } y = a + bx$$

DEP VAR: Prod. Comerciável N: 6 MULTIPLE R: 0.906 SQUARED MULTIPLE R: 0.820
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: 0.775 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 190.5388

| VARIABLE | COEFFICIENT | STD ERROR | STD COEF | TOLERANCE | T | P(2 TAIL) |
|----------|-------------|-----------|----------|-----------|--------|-----------|
| CONSTANT | 1009.5891 | 384.6744 | 0.0000 | 2.6245 | 0.0585 | |
| N Tub. | 132.8571 | 31.1131 | 0.9056 | 1.0000 | 4.2701 | 0.0129 |

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P |
| REGRESSION | 661988.0038 | 1 | 661988.0038 | 18.2341 | 0.0129 |
| RESIDUAL | 145220.0896 | 4 | 36305.0224 | | |

17.4 - Azoto aplicado *versus* azoto acumulado pela cultura

$$\text{Modelo } y = a + bx + cx^2$$

| DEPENDENT VARIABLE IS N acumulado na planta | | | |
|---|----------------|----|-------------|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE |
| REGRESSION | 1996.1359 | 3 | 665.3786 |
| RESIDUAL | 2.8391 | 3 | 0.9464 |
| TOTAL | 1998.9750 | 6 | |
| CORRECTED | 84.3829 | 5 | |

RAW R-SQUARED (1-RESIDUAL/TOTAL) = 0.9986
 CORRECTED R-SQUARED (1-RESIDUAL/CORRECTED) = 0.9664

| PARAMETER | ESTIMATE |
|-----------|----------|
| <i>a</i> | 11.3018 |
| <i>b</i> | 0.0829 |
| <i>c</i> | -0.0002 |

17.5 - Azoto aplicado *versus* azoto recuperado pelos tubérculos (EUN)

Modelo $y = a + bx$

DEP VAR: EUN N: 5 MULTIPLE R: 0.901 SQUARED MULTIPLE R: 0.811
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: 0.748 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 9.8561

| VARIABLE | COEFFICIENT | STD ERROR | STD COEF | TOLERANCE | T | P(2 TAIL) |
|------------|-------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|
| CONSTANT | 81.8470 | 10.3372 | 0.0000 | . | 7.9177 | 0.0042 |
| N aplicado | -0.2236 | 0.0623 | -0.9005 | 1.0000 | -3.5874 | 0.0371 |

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| REGRESSION | 1250.1476 | 1 | 1250.1476 | 12.8691 | 0.0371 | |
| RESIDUAL | 291.4293 | 3 | 97.1431 | | | |

17.6 - Azoto aplicado *versus* azoto recuperado pela totalidade da planta (EUN)

DEP VAR: EUN N: 5 MULTIPLE R: 0.909 SQUARED MULTIPLE R: 0.826
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: 0.768 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 13.3359

| VARIABLE | COEFFICIENT | STD ERROR | STD COEF | TOLERANCE | T | P(2 TAIL) |
|------------|-------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|
| CONSTANT | 111.9430 | 13.9868 | 0.0000 | . | 8.0035 | 0.0041 |
| N aplicado | -0.3184 | 0.0843 | -0.9089 | 1.0000 | -3.7753 | 0.0325 |

| ANALYSIS OF VARIANCE | | | | | | |
|----------------------|----------------|----|-------------|---------|--------|--|
| SOURCE | SUM-OF-SQUARES | DF | MEAN-SQUARE | F-RATIO | P | |
| REGRESSION | 2534.7824 | 1 | 2534.7824 | 14.2526 | 0.0325 | |
| RESIDUAL | 533.5398 | 3 | 177.8466 | | | |