

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**Liberação de nitrogênio em diferentes solos e épocas de
cultivo sob adubação orgânica**

TESE DE DOUTORADO

Claudio Fioreze

**Santa Maria-RS, Brasil.
2010**

Liberação de nitrogênio em diferentes solos e épocas de cultivo sob adubação orgânica

Por

Claudio Fioreze

Tese apresentada ao Curso de Doutorado
do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
Área de Concentração em Processos Químicos
e Ciclagem de Elementos,
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta

**Santa Maria-RS, Brasil.
2010**

F518l Fioreze, Claudio, 1966-
Liberação de N em diferentes solos e épocas de cultivo sob adubação orgânica / Claudio Fioreze. – Santa Maria, 2010.
117 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.
“Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta”

1. Ciência do solo 2. Adubação orgânica 3. Mineralização 4. Eficiência nutricional 5. Tipos de solos I. Ceretta, Carlos Alberto II. Título

CDU: 631.86

© 2010

Todos os direitos autorais reservados a Claudio Fioreze. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço: Rua Guilherme João Fabrin, 225/201, Bairro Nossa Senhora de Lourdes, Santa Maria-RS. CEP 97050-280. Fone: (55) 3217-3780. Endereço eletrônico: fioreze2004@gmail.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**Liberação de nitrogênio em diferentes solos e épocas de cultivo
sob adubação orgânica**

elaborada por
Claudio Fioreze

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Carlos Alberto Ceretta, Dr. (UFSM - Brasil)
(Presidente/Orientador)

Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM - Brasil)

Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM - Brasil)

Gustavo Brunetto, Dr. (UFSC - Brasil)

Frederico Costa Beber Vieira, Dr. (UNIPAMPA - Brasil)

Santa Maria-RS, Brasil, 30 de abril de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico com carinho à minha esposa Leandra e aos meus filhos João Paulo e Lorenzo, que estão sempre ao meu lado e tiveram muita compreensão e carinho nas ausências inevitáveis,

Ao meu pai Sílvio (in memorian) e minha mãe Ignez Maria Guareschi Fioreze, bem como aos meus seis irmãos e a toda família de minha esposa, por constituirmos uma família que valoriza o encontro, a alegria, o trabalho e a luta pelo que é certo.

Aos muito agricultores familiares com quem tenho convivido, porque são pessoas admiráveis, com uma missão insubstituível para um mundo que se quer mais sustentável, com soberania alimentar, justiça e respeito à diversidade. Que este trabalho possa ajudar, pelo menos um pouco, nesta dura e desigual jornada.

AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram com este trabalho, de um modo especial ao meu orientador Carlos Alberto Ceretta, pelo companheirismo e atenção.

Aos professores Sandro J. Giacomini, Leandro S. da Silva, Gustavo Brunetto e Frederico Costa Beber Vieira, integrantes da banca examinadora, pela colaboração e interesse.

A todos os colegas do PPGCS no período 2006-2010, em especial a Felipe Lorensini, Eduardo Giroto, Gustavo Trentin, e Cledimar Lourenzi, pela colaboração em todas as horas. Agradeço de forma especial aos bolsistas do Laboratório de Fertilidade do Solo da UFSM: Tadeu Tiecher e Lesandro de Conti, pelo trabalho e boa convivência.

Aos agricultores Idino Anversa, Diovani M. Anversa, Gibaltair Nunes, Décio Bolson e Airton Zanini, pelo apoio nos experimentos a campo.

Por fim, agradeço aos colegas da EMATER-ASCAR/RS, principalmente Jessé Dirceu Alves, Deonildo Calgarotto, Maria Ivaldete Borin, Karla Caneda, Núbia Rosa e Gilberto Righi, pelo apoio e coleguismo.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

Liberação de nitrogênio em diferentes solos e épocas de cultivo sob adubação orgânica

Autor: CLAUDIO FIOREZE
Orientador: CARLOS ALBERTO CERETTA
Data e local da defesa: Santa Maria, 30 de abril de 2010.

Os adubos orgânicos promovem melhorias nas propriedades do solo e são importantes no fornecimento equilibrado de nutrientes às plantas. Os parâmetros oficiais adotados pela Comissão de Química e Física do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul Santa Catarina para calcular a quantidade de adubo orgânico, são a sua composição média e o índice de eficiência de liberação dos nutrientes (IELN) frente à demanda de cada sistema de cultivos. Este último indicador está associado essencialmente ao tipo de resíduo, porém os demais fatores que afetam a mineralização não são devidamente considerados, como as condições climáticas e a textura do solo, entre outros. A expectativa do presente trabalho é de que esses fatores sejam especialmente relevantes em regiões de grande variação edafoclimática, como o Sul do Brasil. Assim, os fatores época de plantio e textura do solo foram estudados sob a aplicação de duas fontes orgânicas distintas (dejeito líquido suíno e cama de aves de corte), a campo e em laboratório. O efeito da textura foi discutido numa incubação de três solos contendo 238, 470 e 605 mg argila kg de solo⁻¹, onde se determinou a evolução do N mineral (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) durante 112 dias e se calculou a mineralização líquida e a % de mineralização do N total e orgânico adicionados. Já o efeito da época de cultivo foi testado a campo em duas sucessões iniciadas com cultura da batata (denominados de cultivos de verão e de inverno), onde se avaliou a produtividade e a ciclagem de nutrientes de três culturas por sistema. Os resultados da incubação mostraram que o tipo de solo afeta a dinâmica do N no solo após a adição de adubos orgânicos. Solos mais argilosos retardam a imobilização e a nitrificação do amônio, independente de se utilizar cama de aves de corte ou dejeito líquido de suínos, contribuindo para diminuir o potencial poluente do N. A mineralização líquida do N foi maior no solo arenoso devido à menor proteção físico-química da sua fração coloidal. Também foi maior com o uso da cama de aves de corte, em todos os solos, em função quantidade de N total adicionado ter sido bem maior em relação ao dejeito de suínos. Os resultados de N disponível às plantas (%NDP) e de mineralização líquida do N no solo (%N_{min}L), com a adição dos adubos orgânicos, sinalizam que o IELN está superestimado em relação ao N que é efetivamente adicionado aos solos, podendo levar à depleção da matéria orgânica do solo a longo prazo. Também se infere que, para solos mais arenosos ou quando se dispõe de dejetos ricos em N disponível, faça-se a aplicação fracionada do N entre o plantio e em cobertura. Nos experimentos de campo, por sua vez, houve diferenças significativas na eficiência de liberação do N nos sistemas de cultivo de “verão” e de “inverno”. O efeito imediato foi igual no verão para as fontes cama de aves, dejeito suíno e adubo mineral, mas no cultivo de inverno a fonte mineral foi entre 10 a 20% mais eficiente, demonstrando o efeito da temperatura e da umidade na disponibilização de N nos solos sob adubação orgânica. O efeito residual da cama de aves no segundo cultivo foi inferior ao esperado na comparação com o dejeito suíno e adubo mineral, visto que o índice de eficiência de N seria de 20% para a cama e zero para o dejeito. Porém, foi só no terceiro cultivo que a cama superou o dejeito na produção de matéria seca no cultivo de verão (milho) e de inverno (aveia preta). Por fim, dada a grande diversidade edafoclimática no Sul do Brasil, os resultados apontam que se devem fazer mais estudos e de forma integrada sobre o impacto da época de plantio e tipo de solo para aperfeiçoar os parâmetros de recomendação da adubação orgânica, tornando-a assim mais sustentável.

Palavras-chave: adubação orgânica, mineralização, eficiência nutricional, tipos de solo, épocas de plantio, condições climáticas.

ABSTRACT

Nitrogen release in different soils and growing seasons under organic fertilization

Author: CLAUDIO FIOREZE

Adviser: CARLOS ALBERTO CERETTA

Dates and place of the defense: Santa Maria, 30 of april of 2010.

Organic fertilizers promote improvements in soil properties and are important in providing balanced nutrients to plants. The official parameters adopted by the Commission of Chemistry and Soil Physics in the States of Rio Grande do Sul Santa Catarina to calculate the amount of organic fertilizer are its mean composition and the efficiency index of nutrient release (EINR) to fulfill the demand of each system crops. This indicator is related mainly to the type of organic residual, but the other factors affecting the mineralization are not adequately addressed, such as climatic conditions and soil texture, among others. The expectation of this work is that these factors are especially relevant in regions with large variation of soil types and climatic conditions, such as the South of Brazil region. So, the factors cropping season and soil texture were studied under the application of two different organic sources (pig slurry and chicken litter) in the field and in laboratory experiments. The texture effect was analyzed in an incubation of three soils containing 238, 470 and 605 mg clay kg soil⁻¹, which was evaluated during 112 days of evolution of mineral nitrogen (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻), the net mineralization and % mineralization of total N and organic added. The influence of growing season was tested under field conditions in two crop series starting with the potato (summer and winter), which evaluated the productivity and nutrient cycling in three crops per system. The results of incubation showed that soil type affects the N dynamics in the soil after the addition of organic fertilizers. Most clayey soils make slowly immobilization and nitrification of ammonium, independently of addition of the broiler litter or pig slurry, which reduces the N pollution potential. The net N mineralization was greater in sandy soil due to lower physical-chemical protection of colloids. Also were greater with the chickens litter due to the amount of total N added have been much higher compared to pig slurry. The results of N available to plants (%NAP) and net mineralization of nitrogen in the soil (%N_{min}net) with the addition of organic fertilizers indicate that EINR is overestimated in relation to N effectively added to the soils, and can result in depletion of soil organic matter in the long term growing. Also concludes that, to sandy soils or when manure are rich in available N, that must be done a N fractionated application between plantation and cover fertilization. In field experiments, there would significant differences in the efficiency of release of N in cropping systems of "summer" and "winter". The immediate effect was equal in the summer period to all fertilization sources, but in the winter the mineral source was 10-20% more efficient, showing the effect of temperature and soil moisture in the availability of N in soils under organic fertilization. The residual effect of chickens litter in the second crops was lower than expected in comparison to the pig slurry and mineral fertilizer, since the efficiency index of N liberation would be 20% for chickens litter and zero for the slurry. However only in the third crop that litter exceeded the slurry in dry matter production of summer crop (maize) and winter (black oat). Finally, due very different climatic conditions in South of Brazil, the results indicate that it necessary more and integrated studies about the impact of crop date and soil type to refine the parameters of the recommendation of organic fertilizer, making it thus more sustainable.

Keywords: organic fertilizer, mineralization, nutrient efficiency, types of soil, crops seasons, weather conditions.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

- Quadro 01** – Compartimentos da matéria orgânica no solo (MOS), tempo estimado de residência, funções e fatores de controle de sua magnitude em um sistema agrícola (adaptado de MIELNICZUK, 1999).....43
- Tabela 1** – Relação dos fatores produção diária média (CO₂, COT e BMS) em relação o teor de argila (conforme TELES, 2007).....32
- Tabela 2** - Índices de eficiência dos nutrientes no solo (IELN) dos adubos orgânicos utilizados em cultivos sucessivos e adotados na versão de 1996 da CQFS RS-SC.....36
- Tabela 3** – Características dos três solos utilizados no estudo de incubação com as quantidades de N adicionadas nos tratamentos. Santa Maria-RS, 2009.....45
- Tabela 4** – Composição e quantidade de nitrogênio adicionada pela cama de aves de corte e pelo dejetos líquido de suínos. Santa Maria-RS, 2009.....46
- Tabela 5** – Produção de N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻), mineralização líquida (ΔN_{\min}), em mg kg⁻¹ solo, % de mineralização líquida (%Nmin^L) e de N disponível às plantas (%NDP), durante a incubação com e sem adubos orgânicos nos três solos. Santa Maria-RS, 2009.....55
- Tabela 6** – Composição média de nutrientes (em base úmida) e matéria seca das fontes de adubação orgânica utilizadas nos experimentos a campo.....69
- Tabela 7** – Resultados das análises químicas dos solos dos experimentos de campo.....69
- Tabela 8**- Eficiência relativa (%) da cama de aves e do dejetos suíno em relação a fontes de N mineral com base na recomendação da CQFS RS-SC (2004) e calculado via MET e MEE...83
- Tabela 9** – Matéria seca da parte aérea, tubérculos e raízes (em kg ha⁻¹) na época da floração da batata nos sistemas de cultivo de verão e de inverno.....84
- Tabela 10** – Acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (NPK) nos tubérculos de batata colhidos nos cultivos de verão e de inverno, em resposta às fontes de adubação. As letras minúsculas comparam entre si as médias dos tratamentos no cultivo de verão e as maiúsculas no cultivo de inverno (teste de Tukey a 5% probabilidade).....89
- Tabela 11** – Matéria seca da parte aérea, tubérculos e raízes nas plantas de batata nos cultivos de verão e de inverno e de tubérculos na colheita e seu índice de colheita (IC%).....93
- Tabela 12** – Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de N, P e K na cultura do trigo em sucessão ao cultivo de verão de batata. As letras minúsculas comparam as médias entre todas as subparcelas (Tukey a 5%). São Martinho da Serra-RS, 2007.....96

Tabela 13 – Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de N, P e K na cultura do feijão em sucessão ao cultivo de inverno da batata. As letras maiúsculas comparam as médias entre todas as subparcelas (Tukey a 5%). Silveira Martins-RS, 2008.....99

Tabela 14 – Produção de matéria seca, concentração (%) e acúmulo de NPK na cultura do milho (experimento “safrinha”). As letras comparam as médias entre todas as subparcelas de todos os tratamentos (Tukey a 5% de probabilidade). São Martinho da Serra-RS, 2008.....100

Tabela 15 – Produção de matéria seca, concentração (%) e acúmulo de NPK na cultura da aveia preta (sistema de cultivo de inverno). Silveira Martins-RS, 2009.....102

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Relação entre teor de argila (a) e área superficial do solo (b) com o tempo médio de residência do carbono no solo (fonte: Saggar et al., 1996).....31
- Figura 2** - Evolução do teor de $N-NH_4^+$ e de $N-NO_3^-$, em $mg\ kg\ solo^{-1}$ (eixo Y) durante o período de incubação de 0 – 112 dias (eixo X) com três solos com e sem adubos orgânicos. Santa Maria-RS, 2009.....49
- Figura 3** - Evolução da mineralização líquida do nitrogênio no solo durante a incubação por 112 dias de dois solos com cama de aves e dejetos suíno. Santa Maria-RS, 2009.....51
- Figura 4** - Evolução da % de nitrogênio disponível (%NDP) e de mineralização líquida ($\%N_{min}^L$) durante incubação de dois solos com cama de aves. Santa Maria-RS, 2009.....53
- Figura 5** – Cultivos e tipos de manejo adotados no sistema de cultivo verão: a) plantio convencional de batata; b) semeadura convencional de trigo e c) semeadura direta de milho. São Martinho da Serra-R, 2007-2009.....66
- Figura 6** – Detalhes da condução experimental no cultivo da batata de inverno: a) aplicação de dejetos suíno em pré-plantio; b) plantas em fase vegetativa, após a adubação de cobertura; c) separação de partes de plantas colhidas na floração para as análises. Silveira Martins-RS, 2008.....67
- Figura 7** – Temperaturas normais na região de Santa Maria-RS (INPE, 1992).....67
- Figura 8** – Aplicação de dejetos em pré-plantio (a) e incorporação da uréia em cobertura cerca de 30 dias após o plantio de batata no verão de 2007(b). São Martinho da Serra-RS, 2007....71
- Figura 9** – Sucessão de três culturas no sistema de cultivo de batata de verão, na propriedade do Sr. Idino Anversa. São Martinho da Serra-RS, 2007 - 2008.....73
- Figura 10** – Sucessão de três culturas no sistema de cultivo de batata de inverno, na propriedade do Sr. Décio Bolson. Silveira Martins-RS, 2008-2009.....74
- Figura 11** - Produtividade de tubérculos de batata no sistema de cultivo de verão, em São Martinho da Serra-RS (2007) e no cultivo de inverno, em Silveira Martins-RS (2008), em $kg\ ha^{-1}$. As letras minúsculas comparam entre si as médias no verão e as maiúsculas no inverno, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.....81
- Figura 12** – Produtividade ($kg\ ha^{-1}$) da batata cultivada no plantio de verão e de inverno em resposta a doses crescentes de N mineral (em % da recomendação oficial).....82
- Figura 13** - Matéria seca nos órgãos (parte aérea + tubérculos + raízes) das plantas de batata na floração, nos sistemas de cultivo de verão e de inverno (em $kg\ ha^{-1}$).....85

- Figura 14** – Acúmulo de N, P e K na *parte aérea* da batata na floração (em % eixo Y e em kg ha⁻¹, nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos (eixo X) para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas para o verão e letras maiúsculas para o inverno).....86
- Figura 15** – Acúmulo de N, P e K nos *tubérculos* da batata na época da floração (em %, no eixo Y e em kg ha⁻¹, nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas-verão e letras maiúsculas-inverno).....87
- Figura 16** – Acúmulo de N, P e K nas *raízes* da batata na época da floração (em %, no eixo Y e em kg ha⁻¹, nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas-Verão e letras maiúsculas-Inverno).....88
- Figura 17** – Índices de recuperação do N aplicado (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação no sistema de cultivo de verão e de inverno (eixo X).....89
- Figura 18** – Índices de recuperação do P aplicado (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação tanto na safra como na safrinha (eixo X).....90
- Figura 19** – Índices de recuperação do K aplicado (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação tanto na safra como na safrinha (eixo X).....91
- Figura 20** - Produtividade de grãos de trigo nas sub-parcelas com e sem reposição de N. As letras maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas as médias sem reposição de N (Teste de Tukey a 5% de probabilidade). São Martinho da Serra-RS, 2007...94
- Figura 21** - Produtividade de matéria seca e de grãos do trigo em resposta a doses crescentes de N mineral. São Martinho da Serra-RS, 2007.....96
- Figura 22** - Produtividade de grãos de feijão nas sub-parcelas com e sem reposição de N. As letras maiúsculas comparam entre si as médias com reposição de N e as minúsculas as médias SEM reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). Silveira Martins-RS, 2008.....97
- Figura 23** - Produtividade de MS e de grãos de feijão em resposta a doses de N mineral. Silveira Martins-RS, 2008.....98
- Figura 24** - Produtividade de MS de milho nas sub-parcelas com e sem reposição de N. As letras maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas SEM reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). São Martinho da Serra, 2007-2008.....99
- Figura 25** - Produtividade de matéria seca de aveia nas sub-parcelas com e sem reposição de N. As letra maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas sem reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). Silveira Martins - RS, 2009.....101

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A** - Imagem de satélite das duas aéreas experimentais: acima a “safrinha de verão” (captada 18/02/2008) e abaixo a “safra de inverno” (captada em 29/09/2009), ambas extraídas do software *Google Earth*.....112
- Anexo B** - Dados climáticos de janeiro de 2007 a dezembro de 2009.....113
- Anexo C** - Dados climatológicos normais registrados na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria – RS (1960-1991).....114
- Anexo D** - Evolução da produtividade média de tubérculos de batata (kg ha^{-1}) em várias unidades administrativas do Brasil entre os anos de 2001 e 2008.....115
- Anexo E** - Índice de Recuperação Aparente de Nutrientes (IRAN) do Nitrogênio, Fósforo e Potássio nas várias fases e órgãos da planta de batata nos experimentos “cultivo de verão” e “cultivo de inverno”. São Martinho da Serra e Silveira Martins-RS (2007-09).....116

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	16
HIPÓTESES.....	20
OBJETIVOS.....	21
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
Capítulo 1 - Liberação de nitrogênio em solos com e sem adubos orgânicos.....	38
Resumo.....	38
1.1 INTRODUÇÃO.....	40
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
1.4 CONCLUSÕES.....	56
Capítulo 2 - Eficiência e ciclagem de nutrientes com adubação orgânica e mineral em diferentes épocas de cultivos	57
Resumo.....	57
2.1 INTRODUÇÃO.....	60
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.2.1 Localização, épocas de plantio, solos, adubos e outros insumos.....	66
2.2.2 Tratamentos, delineamento experimental e operações.....	71
2.2.3 Avaliação da produtividade de tubérculos e grãos.....	75
2.2.4 Acúmulo de matéria seca e de nutrientes.....	76
2.2.5 Recuperação dos nutrientes e eficiência na colheita.....	77
2.2.5.1 Índice de Recuperação Aparente de Nutrientes (IRAN).....	77
2.2.5.2 Índice de Colheita (IC).....	78
2.2.6 Avaliação econômica.....	78
2.2.7 Análises estatísticas.....	79
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
2.3.1 Efeito imediato das fontes de adubação.....	80

2.3.2 Efeito residual da adubação no 2º e 3º cultivos em sucessão à batata.....	93
2.4 CONCLUSÕES.....	102
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	111

INTRODUÇÃO

A presente tese de doutoramento originou-se de uma série de estudos e experiências profissionais vivenciadas desde 1990 dos últimos 20 anos atuando a campo na EMATER-RS/ASCAR (convênio Associação de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural / Associação Sulina de Crédito e Assistência Rural). Nos últimos anos, teve-se a oportunidade de realizar esse trabalho e, de forma concomitante, implementar alguns estudos através da realização do mestrado entre 2003 e 2005 e no presente doutorado entre 2006 a 2010, ambos no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo na Universidade Federal de Santa Maria (PPGCS - UFSM). Durante o curso de mestrado estudou-se o uso de fontes orgânicas e minerais de fertilização associadas a várias práticas de manejo em sistemas de sucessão de cultivos, tendo em mente colher subsídios para planos de manejo da transição agroecológica em sistemas de produção de batata (FIOREZE, 2005). Na ocasião, apareceram dúvidas sobre a eficiência dos adubos orgânicos de origem animal (cama de aves e de suínos) empregados de acordo com os parâmetros oficiais da Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS-SC, 2004). Foram elencados questionamentos relacionados especialmente ao fato de algumas variáveis não serem consideradas, como a época de plantio (condição climática), tipo de solo, modo de aplicação, entre outras, que poderiam comprometer expectativas.

Na Ciência do Solo há muitos trabalhos sobre o emprego de resíduos orgânicos como fertilizantes e que contribuem para um melhor entendimento dos processos químicos, físicos e biológicos em suas complexas transformações no solo, envolvendo fatores bióticos e abióticos. Os objetivos maiores destes estudos em geral, com poucas exceções, foram subsidiar o uso eficiente dos vários materiais como fertilizantes, mitigar seus efeitos poluentes no ambiente (sistema solo-água-ar) e também na qualidade dos alimentos produzidos.

Considerando-se o evidente potencial fertilizante da maioria dos resíduos orgânicos (ou adubos orgânicos) e o fato de os fertilizantes industriais empregados na agricultura possuírem oferta limitante e custos crescentes, tornam-se cada vez mais importantes os conhecimentos e tecnologias para o uso mais eficaz dos dejetos animais, lodos de esgotos e resíduos agroindustriais. Das 30 milhões de toneladas de adubos consumidas por ano na agricultura, o Brasil importa 75% dos nutrientes que consome, sendo que no caso do potássio a importação chega a 92% do volume total com tendência a aumentar e, no caso do fósforo, a importação equivale a 50% do consumo, mas já se produziu 100% em 1993 (POLIDORO,

2009). Em função disso, este autor afirma ser necessário começar a produzir fertilizante orgânico de forma mais competitiva, com adição de tecnologia, por tratar-se até mesmo de uma questão de segurança nacional.

Na região central do Estado do Rio Grande do Sul, o Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) vem desenvolvendo desde os anos 1980 vários estudos sobre adubos orgânicos e plantas de cobertura do solo, notadamente com o dejetivo líquido suíno e a cultura do milho em rotação cereais de inverno e/ou plantas de cobertura do solo. Também o Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves da EMBRAPA e a EPAGRI/SC têm realizado várias pesquisas neste campo, dada a importância da suinocultura, da avicultura e do cultivo do milho para a agricultura familiar da Região Sul do Brasil, especialmente no norte do RS, oeste de SC e sudoeste do PR. Grande parte destas investigações tem abordado aspectos técnicos e, secundariamente, de viabilidade econômica.

Dada sua amplitude e volume, foram aportados muitos conhecimentos e técnicas que se tornaram referência para o uso eficaz de fertilizantes de origem orgânica, inclusive sob o sistema de plantio direto que passava a dominar a agricultura sul - brasileira a partir de meados dos anos 1990. Já a partir dos anos 2000, em consonância com as preocupações mundiais, observou-se um crescimento substancial do enfoque ambiental, notadamente com os estudos sobre contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas e das mudanças climáticas, os quais causaram ampla repercussão na sociedade.

Neste mesmo período cresceu a influência dos conceitos, princípios e métodos da Agroecologia na pesquisa e na extensão rural, bem como de iniciativas e políticas públicas para melhoria da qualidade ambiental e da sanidade bioquímica dos alimentos. Dentre estas ações, podemos citar a o planejamento estratégico da EMATER-ASCAR/RS (período 1999-2002), os relatórios da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) sobre qualidade dos alimentos, a regulamentação da agricultura orgânica pelo Congresso Nacional do Brasil, o banimento de alguns agrotóxicos mais perigosos, entre outras medidas.

Assim, além de se prosseguir estudando a dinâmica no solo e na água dos principais nutrientes dos adubos orgânicos (nitrogênio e fósforo), passou-se a avaliar a emissão de gases de efeito estufa, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a dinâmica de metais pesados e outras conseqüências negativas. Enfim, os estudos com adubos e outros materiais orgânicos tomou um leque mais amplo, de longo prazo e sistêmico acerca da ciclagem e das transferências de elementos químicos entre os compartimentos solo - ar - água.

Ao mesmo tempo, a título de registro, se observa um aumento significativo dos trabalhos de “modelagem matemática” destinados a descrever o desenvolvimento das

culturas, a dinâmica do C e do N, os movimentos da água no perfil do solo e prever a intensidade destas transformações e transferências no ambiente (GIACOMINI, 2005).

Outro aspecto importante diz respeito ao trabalho dos profissionais da assistência técnica junto aos agricultores familiares que buscam as recomendações oficiais de fertilização e correção do solo (apesar de apenas 22% dos agricultores brasileiros receberem assistência técnica, havendo decrescido no Sul do Brasil nos últimos anos, conforme o Censo do IBGE de 2006). Nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina se utiliza para as recomendações o Manual de Adubação e de Calagem, editado oficialmente pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cuja última atualização foi realizada no ano de 2004 (CQFS RS-SC, 2004). Reconhecendo-se que o Manual é um instrumento valioso para o uso mais racional de fertilizantes e corretivos na agricultura, cumpre registrar que o mesmo precisa ser constantemente atualizado visando incorporar novos conhecimentos e tecnologias e, assim, ajudar a alcançar maior eficiência no uso destes insumos. Mesmo nas formas de agricultura de base ecológica, o sucesso da transição ou passagem de “modelo” para níveis crescentes de sustentabilidade tem relação direta com o uso racional de insumos como os fertilizantes e, depois, com a substituição destes e outros insumos convencionais por materiais locais, orgânicos e/ou aceitos pelas normas legais de certificação (CAPORAL & COSTABEBER, 2002).

O capítulo “Adubação Orgânica” do referido Manual (CQFS RS-SC, 2004), destinado a orientar a especificamente essa prática, talvez seja um dos que mais possa evoluir e agregar informações. Atualmente, para calcular a quantidade a ser aplicada de cada adubo orgânico, se utiliza como parâmetros a concentração de nutrientes (de N, P e K) e o Índice de Eficiência de Liberação dos Nutrientes (IELN). Entre as limitações no emprego deste índice, entende-se que uma das principais é que os valores para cada fonte de adubo orgânico são rígidos, obtidos com base num número ainda restrito de estudos de campo, e, conforme já visto, especialmente na cultura do milho, em solos mais argilosos e com dejetos líquidos suínos.

Depreende-se que haveria a necessidade de considerar outros fatores tidos como importantes ao processo de mineralização e disponibilização dos nutrientes às plantas cultivadas. Dentre estes fatores, estariam principalmente aqueles relacionados às *condições climáticas* (diferentes épocas de plantio ou de cultivo após a aplicação dos adubos orgânicos, visto que as temperaturas variam muito com a estação do ano em regiões subtropicais como o Sul do Brasil) e aos atributos ligados ao tipo de solo (em especial sua textura e composição mineralógica, o que pode ser expresso melhor pelo conceito de “reatividade” do solo,

conforme Saggari et al., 2006). Poderia se elencar outras variáveis também, como o modo de aplicação dos dejetos (com incorporação ou aplicação na superfície do solo) e o sistema de cultivo (plantio direto na palha, cultivo mínimo ou convencional, sendo que estes últimos ainda são comuns em certas atividades, como olericultura, fumicultura, cultivo da cana de açúcar e de pastagens anuais, por exemplo¹). Destes, porém, julgou-se mais importante avaliar nestes estudos que compõem a presente tese de doutorado, os fatores relacionados às condições climáticas (época de cultivo) e ao tipo de solo (textura), utilizando-se ainda duas fontes distintas de adubos orgânicos, sendo uma sólida (cama de aves de corte) e outra líquida (dejeito líquido suíno). Os outros dois fatores (modo de aplicação e sistema de manejo) têm sido objeto de muitos estudos, inclusive no próprio PPGCS/UFSM (BASSO et al., 2004; CERETTA et al., 2003; AITA et al., 2003; DURIGON, 2004; GIACOMINI, 2005; MARQUES, 2005; CARGNIN, 2007; WEILER, 2007; entre outros). A Ciência do Solo, nas áreas de fertilidade e ciclagem de nutrientes, mostra que estes fatores podem afetar significativamente a amplitude, a taxa de mineralização e o ritmo de disponibilização aos cultivos dos nutrientes ligados a compostos orgânicos. Afetam também a taxa de transferência dos mesmos às águas superficiais e subterrâneas (por escoamento superficial, lixiviação e/ou percolação) e ao ar (por volatilização).

Sendo assim, pode-se afirmar que o tipo de adubo orgânico (características físicas e composição química) já está embutido no parâmetro “IELN” do Manual de Adubação e de Calagem (CQFS RS-SC, 2004), uma vez que ele é apresentado especificamente para cada fonte de adubo orgânico elencada no mesmo. Porém, acredita-se que seria importante realizar mais investigações para observar o comportamento de outros resíduos (ARNS, 2004), bem como avaliar se os valores de IELN listados realmente refletem o efeito dos demais fatores citados anteriormente, entre outros.

Enfim, neste contexto temático, o presente trabalho foi realizado entre 2007 e 2009 e constou de vários estudos em laboratório e experimentos a campo, os quais foram organizados

¹ O Censo Agropecuário de 2006 apurou que 5.175.489 estabelecimentos agropecuários ocupavam 329.941.393 hectares, o equivalente a 36,75% do território brasileiro. A atividade principal era a criação de bovinos, em mais de 30% deles. Em seguida, vinham o cultivo de outras lavouras temporárias (que inclui feijão e mandioca), com 18% dos estabelecimentos; o cultivo de cereais (12%) e a criação de aves (9%). A cana-de-açúcar ficou com a maior participação no valor da produção agropecuária (14%), seguidos por aqueles que se dedicam prioritariamente ao cultivo de soja (13%), criação de bovinos (10%), cereais (9%) e outros produtos da lavoura temporária (8%). Os estabelecimentos produtores de orgânicos representavam tão somente 1,8% (ou 90.425) do total de estabelecimentos agropecuários

nesta tese em dois capítulos. O Capítulo 1, intitulado “*Liberação de N em solos com e sem adubos orgânicos*”, foi realizado em laboratório com a técnica da incubação sob condições controladas de temperatura e umidade. O Capítulo 2, denominado “*Eficiência e ciclagem de nutrientes com adubação orgânica em duas épocas de cultivos*”, constou de dois experimentos a campo, cada qual composto de uma sucessão de três cultivos (sistemas de cultivo de verão e de inverno).

Por fim cabe registrar nesta Introdução geral, que o interesse maior que motivou a realização deste trabalho foi integrá-lo à temática da sustentabilidade do uso de adubos orgânicos. Entende-se que avaliações simplistas ou usos estanques destes insumos, técnicas ou conceitos específicos muito pouco modificarão a realidade para melhor. Por exemplo, a substituição pura e simples de insumos “minerais” por outros ditos “orgânicos” não se coaduna aos princípios e métodos da ciência da Agroecologia. Isso porque a própria história da “revolução verde” mostrou recentemente suas mazelas e então não é razoável que se incorra no mesmo tipo de erro de produzir externalidades com altos custos sócio-ambientais, conforme asseveram Caporal & Costabeber (2002). Na verdade, muito mais do que tentativas bem intencionadas de “esverdear” qualquer tecnologia, tem que se buscar a melhoria da qualidade sócio-ambiental do agroecossistema, não se esquecendo de almejar a viabilidade sócio-econômica das tecnologias e também atender os princípios da ética inter-geracional. Na verdade esse conjunto de preocupações presumidamente deveria presidir qualquer forma de intervenção na natureza, como é o caso da agricultura, sem dúvida uma das mais impactantes.

HIPÓTESES

Teores crescentes de argila de um solo não só protegem a matéria orgânica como impactam na dinâmica de mineralização do nitrogênio no solo quando a ele são adicionados adubos orgânicos, o que melhora o sincronismo entre sua liberação e a absorção pelas plantas, reduzindo o potencial de perdas de N do sistema solo-planta.

A eficiência dos adubos orgânicos depende diretamente da época de cultivo (no sentido de condição climática) e do tipo de solo (teor de argila ou reatividade).

OBJETIVOS

Geral

Avaliar fontes de adubação orgânica e mineral em diferentes tipos de solos e condições climáticas, com ênfase tanto na dinâmica de mineralização do nitrogênio, como na eficiência e ciclagem de nutrientes em épocas de cultivo de batata e outras culturas em sucessão.

Específicos

Avaliar a mineralização do nitrogênio em três tipos de solos com e sem adição de adubos orgânicos (cama de aves de corte e dejetos líquidos de suínos).

Determinar a eficiência produtiva e de ciclagem de nutrientes, imediata e residual, da adubação orgânica e mineral em sistemas de sucessão de três cultivos com distintas épocas de plantio batata (verão e inverno).

Apontar caminhos para possíveis melhorias no sistema de recomendação da adubação orgânica para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS-SC, 2004).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O manejo do sistema “solo-planta-água” na agricultura deve privilegiar práticas de fornecimento constante de resíduos orgânicos, o que é fundamental para a construção da fertilidade do solo em seu sentido mais amplo. Ou seja, deseja-se um manejo do solo como base capaz de estimular o desenvolvimento de plantas bem nutridas, produtivas e que forneçam alimentos balanceados e saudáveis. Neste sentido, os preceitos de sustentabilidade apontam a necessidade de priorizar o uso dos recursos naturais renováveis disponíveis, de diminuir a dependência de insumos externos, de poupar recursos não renováveis e adaptar-se à realidade sócio-econômica do produtor. Isso vale para cada uma das etapas do processo produtivo, desde o preparo do solo e sua fertilização, passando pelo manejo biológico até os processos pós-colheita, fazendo com que cada unidade de produção contribua para que o agroecossistema seja realmente sustentável. Na agricultura de base ecológica ou, preferivelmente, onde se deseja construir níveis crescentes de sustentabilidade na agricultura, o solo é visto como um organismo vivo, complexo em processos ecológicos e em permanente transformação; que deve ser protegido e alimentado para que se mantenha e melhore sua fertilidade (GLIESSMAN, 2000).

O solo inclui material derivado das rochas em vários estágios de intemperismo, organismos vivos, compostos orgânicos e inorgânicos, além do ar e da água que ocupam dinamicamente os espaços entre as diferentes partículas do solo. A matéria orgânica é resultante de uma complexa série de atividades biológicas que incorpora à matriz do solo os resíduos de origem vegetal e animal. Para PILLON (2005), a fração orgânica do solo refere-se ao material orgânico total do solo, incluindo os resíduos de plantas e de animais que vivem no solo. Nesta ótica, de forma alguma o suprimento pontual de um dado nutriente na forma iônica na solução do solo, tendo como fonte um fertilizante, seja ele sintético ou na forma de composto ou dejetos, consegue atender às necessidades de proteção e nutrição do solo e de desenvolvimento da biota associada (NEVES, 2002).

Os materiais que fazem parte da matéria orgânica não humificada são fragmentados em formas mais simples através dos processos de decomposição e mineralização. A chamada “pedofauna” (minhocas, centopéias, ácaros, entre outros) consome resíduos frescos vegetais e animais e os converte em materiais parcialmente decompostos, na forma de excrementos ou de seus próprios corpos mortos. Então os microorganismos do solo, principalmente os fungos

e bactérias, realizam uma decomposição adicional que resulta em compostos como ligninas, gorduras, celuloses, ceras e proteínas. Na seqüência, a mineralização quebra ainda mais estes compostos em outros mais simples, como água, sais e gás carbônico. A fração de material orgânico remanescente no solo por um tempo maior após a decomposição e mineralização é chamada de “húmus”, o qual também é destruído e substituído constantemente a diferentes taxas por húmus novo (GLIESSMAN, 2000).

É consenso de que a adição de quantidades adequadas de resíduos orgânicos ao solo via plantas de cobertura (e outros materiais como os dejetos, acrescente-se) é fundamental ao sucesso do sistema. Além de proporcionar a redução da erosão e de aumentar gradativamente a matéria orgânica do solo, as plantas de cobertura desempenham um papel crucial na ciclagem de nutrientes, sejam eles aplicados através dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, ou aqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo e do próprio material de origem do solo.

Para que as plantas de cobertura e os dejetos de animais possam ser eficientes na ciclagem de nutrientes em sistemas agrícolas é fundamental o amplo entendimento da dinâmica de decomposição e liberação dos nutrientes destes materiais orgânicos no solo (AITA et al., 2000). Os adubos orgânicos em geral (adubos verdes, dejetos animais, lodos urbano-industriais, entre outros) melhoram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, com reflexos importantes na construção de um solo fértil, ou seja, com adequada disponibilidade de nutrientes, bem condicionado fisicamente e biologicamente ativo.

Entre as melhorias nas propriedades do solo, os adubos orgânicos aumentam a estabilidade dos agregados e a porosidade, incrementando a taxa de infiltração de água e, ao mesmo tempo, a capacidade de retenção de umidade no solo, tendo inclusive papel relevante no controle de erosão. Em trabalho com dejetos líquidos suíno, Braida (2007) atribui melhorias físicas no solo ao crescimento de raízes de plantas e ao efeito direto da matéria orgânica dos resíduos orgânicos. O mesmo autor cita outros trabalhos com latossolos onde se verificou tendência de diminuir a densidade do solo devido ao aumento da porosidade total, seja com a utilização de lodo de esgoto ou de dejetos líquidos de suínos. Sob o ponto de vista do efeito químico, os resíduos adicionados ao solo interagem com a matéria orgânica estabelecida, tendo grande importância para o fornecimento de nutrientes ao alcance das plantas e também na complexação de elementos tóxicos (metais pesados, alumínio e cobre, por exemplo). Constituem-se assim, em componentes fundamentais da capacidade produtiva dos solos, na sua estabilidade temporal e na expressão das suas múltiplas funções ambientais nos agroecossistemas. Os compostos orgânicos do solo são formados principalmente por ácidos

húmicos e fúlvicos (mais estáveis e de alto peso molecular), ácidos orgânicos de baixa massa molecular, aminas, compostos aromáticos, dentre outros, que podem fazer parte do C orgânico solúvel do solo. Segundo Pavinato & Rosolem (2008), os ácidos orgânicos de resíduos orgânicos podem interagir com a fase sólida do solo e aumentar a disponibilidade dos nutrientes, além de promover, antes da humificação, a complexação de Al, aumento do pH e contribuir para um maior nível de atividade da biota como um todo. Estima-se que de 2 a 10 % do C orgânico solúvel do solo é composto de ácidos orgânicos e, dentre os mais comuns, destacam-se: acetato, formato, lactato, oxalato, malato e citrato, podendo atingir até níveis tóxicos às plantas, como logo após a deposição de grandes quantidades de resíduos. Esses ácidos formam grupos funcionais principalmente dos tipos carboxílicos e fenólicos, que participam em várias reações químicas no solo (complexação ácido orgânico-metal, redução da toxidez por Al, adsorção de íons, constituição química da rizosfera e lixiviação de Ca no solo). Dentre os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo destacam-se: a sorção de H e Al nas superfícies, a complexação do Al pelos compostos orgânicos, a troca de ligantes entre o Fe e Al do solo e os ânions orgânicos e o aumento do potencial de oxidação biológica. Com o constante aporte de resíduos (como no plantio direto ou sob uso continuado de dejetos), ocorre produção contínua destes compostos orgânicos de baixa massa molecular. Seu efeito será prolongado na melhoria da fertilidade do solo, não se restringindo somente ao período de decomposição logo após incorporação, como é possível ocorrer, por exemplo, no caso do preparo intensivo e do aporte apenas esporádico de resíduos.

Os sistemas de manejo do solo também influenciam o comportamento dos nutrientes no solo. No sistema de semeadura direta, normalmente, ocorre acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, ocasionando, conseqüentemente, aumento na disponibilidade de alguns nutrientes nessas camadas. O fósforo acumula-se nas camadas superficiais, podendo aumentar sua fração na forma orgânica, seja pela ausência de mobilização, seja pela produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de retenção no solo. Já no plantio convencional, a distribuição do material orgânico é mais uniforme no perfil, porém a decomposição é mais rápida dependendo da superfície de contato, o que desfavorece a acumulação de nutrientes em frações orgânicas no solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999; RHEINHEIMER, 2008).

Os cultivos podem obter os nutrientes de que necessitam, total ou parcialmente, da mineralização tanto da matéria orgânica do solo como de resíduos de plantas, de compostos e dejetos adicionados. O nitrogênio, de forma especial, quando proveniente dessas fontes orgânicas, é mineralizado gradativamente via ação dos microrganismos. Isso pode garantir

uma melhor disponibilidade para as culturas em relação à pronta liberação proporcionada pelos fertilizantes minerais (como a uréia, por exemplo), que ficam mais sujeitos a perdas para o ambiente. Os dejetos animais seguramente são uma importante fonte de N e de outros nutrientes, mas são também escassos em muitas regiões e podem ter um custo de aplicação muito elevado, especialmente para aqueles sistemas que não integram produção vegetal com animal em circuitos mais curtos e locais (NEVES, 2002). Em outras áreas, onde há criações intensivas de animais como suínos, aves e bovinos de leite, e pouca área agricultável no seu entorno (a exemplo de muitas regiões de agricultura familiar no Sul do Brasil), pode ocorrer o oposto, ou seja, uma oferta excessiva de nutrientes e outros elementos pelas aplicações sucessivas ou excessivas de dejetos animais. A criação de animais em regime de confinamento tem aumentado significativamente no Brasil, sendo cada vez maior o interesse no aproveitamento de seus dejetos na agricultura. A Região Sul do Brasil detinha 60 a 70% da produção tecnificada de suínos e aves, gerando aproximadamente 450,5 milhões de toneladas de dejetos ao ano (KONZEN, 2003).

Quando aplicados no solo como fertilizantes ou descarte, os dejetos animais podem poluir tanto a atmosfera, através de emissões gasosas de N (NH_3 , NO e N_2O , sendo que no plantio direto o potencial de desnitrificação é inclusive maior) e C (CO_2 e CH_4), como águas de superfície e do lençol freático por patógenos e nutrientes. Entre os nutrientes, as maiores preocupações são com o nitrogênio (orgânico e principalmente o nitrato- NO_3^- , por ser fracamente adsorvido aos colóides do solo e altamente solúvel em água) e o fósforo (íons fosfato, cuja principal forma de perdas é o escoamento superficial). Os dejetos de suínos são considerados muito mais poluentes se comparados ao esgoto doméstico, já que a sua DBO_5 é de 40.000 mg L^{-1} enquanto a do esgoto doméstico é de 200 mg L^{-1} (PORT et al., 2003; BERWANGER, 2006; GIACOMINI & AITA, 2006; CARGNIN, 2007)

Esta situação tem potencial de comprometer a qualidade ambiental, especialmente em condições climáticas que favorecem a mineralização mais rápida da matéria orgânica. Para Ceretta et al. (2004), as perdas de N por escoamento superficial no plantio direto podem atingir entre 25 a 50% após aplicação do dejetos, dependendo diretamente das doses aplicadas, bem como das chuvas subsequentes. As perdas de P solúvel podem ser altas também e causar eutroficação, mesmo em sistemas como o plantio direto, onde a erosão é diminuída sensivelmente, mas demonstra alta susceptibilidade à contaminação por fósforo na água; os resultados sugerem menores problemas com perdas de N quando da utilização de dejetos líquido de suínos com até 3% de matéria seca e dose até $40\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$; porém, com relação ao fósforo, as perdas preocupam independentemente da dose de dejetos utilizada (CERETTA et

al., 2004). Para ilustrar esta situação, Basso (2004) determinou perdas totais de fósforo disponível por escoamento superficial da ordem de 49 e 20 vezes maiores do que as perdas por percolação com as doses de 20 e 80m³ ha⁻¹, respectivamente, evidenciando que o principal caminho de perdas de P ocorre via escoamento superficial; já para o N mineral, as perdas observadas foram apenas 4,0 e 1,5 vezes maiores do que por percolação, respectivamente.

Porém, Bertol et al. (2004), mostram que em sistemas de preparo conservacionista como o plantio direto, apesar das concentrações de nutrientes e carbono orgânico serem maiores do que em sistemas com revolvimento de solo, as perdas totais ocorrem de forma inversa. Ceretta et al. (2004) preconizam a necessidade de ter sempre plantas cobrindo o solo, através de sistemas de rotação de culturas capazes de produzir e manter resíduos vegetais na superfície do solo, o que pode diminuir muito as perdas de nutrientes. Em condições tropicais, segundo Leite et al. (2003), são requeridas entre 7 a 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de resíduos com elevada a baixa relação C:N, respectivamente, para manter o teor de C orgânico total no solo.

Assim sendo, em acordo com Giacomini & Aita (2006), apesar das inúmeras possibilidades de contaminação, a ciclagem dos nutrientes dos dejetos animais através do complexo solo-planta é a alternativa ecologicamente e economicamente mais viável para o descarte dos mesmos, cabendo estabelecer estratégias de uso adequadas.

Em termos de eficiência, há muitos trabalhos que abordam a dinâmica da liberação de nutrientes a partir da adição de fontes orgânicas ao solo. Este processo é conhecido como mineralização da fração orgânica, embora, a rigor, minerais não sejam os únicos subprodutos. As transformações da matéria orgânica no solo são controladas principalmente pelo regime hídrico e térmico local, pelo tamanho e propriedades físico-químicas do material adicionado, pela distribuição no perfil ou matriz do solo e pelas interações com as superfícies dos argilominerais/colóides. Mesmo que a matéria orgânica do solo represente geralmente menos que 5% dos componentes sólidos do solo, ela é responsável por boa parte da capacidade de troca catiônica dos mesmos. Todas as transformações químicas referidas por diversos autores ocorrem em função da presença do carbono como fonte de energia aos microrganismos envolvidos (AITA & GIACOMINI, 2003).

A mineralização dos materiais orgânicos compreende processos como a transformação do nitrogênio (presente em proteínas, açúcares, bases nitrogenadas e húmus para as formas de amônio e nitrato) do fósforo (contido no fostato de inositol, proteínas, lipídios e ésteres fosfatados em PO₄⁻³) e do enxofre (contido nos carboidratos, compostos sulfurados, proteínas e húmus em SO₄⁻²). O inverso dessas transformações, de uma forma bem

simples, consiste no processo de imobilização (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002; ARNS, 2004).

Apenas com o conhecimento da dinâmica do nitrogênio no solo sob o uso de dejetos é possível adequar suas doses a aplicar visando maximizar o seu potencial fertilizante e minimizar seu efeito poluente (AITA, 2003). As transformações que determinarão as relações de equilíbrio entre N-orgânico e N-mineral dependem do comportamento dos íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) no solo e das necessidades nutricionais das plantas e microrganismos. Os fatores que regulam este processo são principalmente a natureza da comunidade decompositora dos macro e microrganismos do solo, as características do material orgânico (tipos de compostos, formas de ligações, idade, relação C/N e granulometria do substrato) e as condições físico-químicas do ambiente controladas pelas características edafoclimáticas do sítio, tais como aeração, umidade, temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes no solo (CERETTA & FRIES, 1998; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002; ARNS, 2004; MENEZES, 2007).

Assumindo que estes e outros fatores regulam a amplitude e a velocidade de mineralização dos nutrientes de materiais orgânicos (efeito “fonte”), deduz-se que eles também afetam suas perdas (efeito “dreno”), isto é, o transporte para compartimentos mais distantes do sistema solo-planta, ou que requerem alta energia para sua reversão, como a água sub-superficial e de drenagem (lixiviação, escoamento e percolação) e o ar (volatilização). O manejo eficiente de dejetos e demais resíduos orgânicos visa otimizar a sincronização da taxa disponibilização do nutriente no solo com a demanda pelas culturas, evitando a imobilização microbiana ou a rápida mineralização durante os períodos de alta ou de baixa demanda, respectivamente.

Neste contexto, a seguir trar-se-á um resumo sobre como, especificamente, este conjunto de fatores interfere na mineralização dos adubos orgânicos.

Fatores que afetam a mineralização dos resíduos orgânicos no solo

Sabe-se que a decomposição dos resíduos orgânicos é realizada essencialmente pelos microrganismos heterotróficos do solo, que deles retiram o carbono e os nutrientes necessários à produção de energia e à biossíntese. Os principais fatores do meio que interferem na atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, na taxa de decomposição da palhada, são as condições climáticas (temperatura, umidade), o pH, a aeração e teor de

nutrientes do solo. Os fatores intrínsecos aos resíduos vegetais, como a sua composição bioquímica e principalmente o teor de lignina e a relação C/N, exercem um papel preponderante no processo de decomposição. O tipo de manejo dado aos resíduos orgânicos também afeta a sua taxa de decomposição, sendo que a incorporação favorece o ataque microbiano resultando na aceleração da decomposição e na diminuição exponencial ao longo do tempo na quantidade dos resíduos remanescentes (AITA et al., 2000).

Um parâmetro ainda pouco estudado e que interfere na decomposição dos resíduos de culturas é o *fator disponibilidade de nitrogênio do solo*. Em solos com baixos teores de nitrogênio mineral, poderá haver limitação no crescimento microbiano e, portanto, na taxa de decomposição de resíduos adicionados ao solo. Esse é o caso, por exemplo, das restevras de milho e aveia (e de camas de aves e suínos com poucos lotes de engorda, provavelmente) já que seus teores em N são normalmente baixos e insuficientes para atender a demanda potencial em N da população microbiana atuante no processo de decomposição. Durante a decomposição, uma parte do N liberado dos restos culturais permanece no solo na forma orgânica já que o nutriente foi assimilado pela população microbiana, juntamente com o carbono. Quando o processo microbiano de mineralização for mais intenso do que o de imobilização, aumenta a disponibilidade de N no solo. Isto é o que ocorre, normalmente, durante a decomposição de leguminosas (e de dejetos ricos em N mineral e baixa relação C/N). Dependendo das condições predominantes no solo, parte desse N poderá ser perdida por volatilização de amônia, lixiviação de N-NO_3^- e/ou denitrificação (AITA et al., 2000).

Em relação ao *fator fonte de adubo orgânico*, cabe salientar inicialmente que a adição de fertilizantes de um modo geral impacta positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo. As características químicas são importantes para determinar a qualidade do aporte orgânico e a disponibilidade de nutrientes.

Os dejetos líquidos de suínos, por exemplo, apresentam uma elevada percentagem de N amoniacal (40 a 70% do N Total) devido à uréia presente em grande quantidade na urina dos animais; este composto é hidrolisado pela enzima urease, de origem microbiana, resultando em NH_4^+ e bicarbonato; além disso, a amônia pode também ser originada pela decomposição de compostos orgânicos por organismos heterotróficos que utilizam estes compostos como fonte de energia (CARGNIN, 2007).

A cama de aves é um dos esterco que concentram nutrientes em maior quantidade, pois contém as dejeções líquidas e sólidas misturadas, de galinhas alimentadas com ração contendo alto teor de proteína. A soma dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio do esterco dessas aves é duas a três vezes maiores que o encontrado nas dejeções de mamíferos ou de

outros animais (FIGUEROA et al., 2009), dependendo do tipo de material utilizado como cama (maravalha, casca de arroz, serragem, etc.) e do número de engordas realizado sobre este material.

As camas de aves representam um potencial poluente inferior àqueles oriundos da bovinocultura e, especialmente, da suinocultura. Embora os dejetos de bovinos e suínos possam ser manejados na forma sólida, existe um consenso de que o manejo na forma líquida é aquele que oferece o maior número de opções, além de aumentar a eficiência de recuperação e manutenção dos elementos fertilizantes dos dejetos (AITA et al., 2000).

A Região Sul do Brasil é detentora de 60 a 70% da produção tecnificada de suínos e aves, sendo que de 40 a 50% das rações é eliminada pelas dejeções. Para a sua utilização, deve-se conhecer o volume e a composição dos dejetos produzidos pelos diversos sistemas ou núcleos de produção. A criação de aves de corte produz em média quatro toneladas de cama por ano para cada 1.000 aves, com conteúdo médio de amônia de entre 26 a 68%; por ser rica em nitrogênio na forma de ácido úrico, devido à ação de microorganismos decompositores, ocorre perda de N por volatilização da amônia (NH_3), podendo chegar até a 60% do nitrogênio (em dejetos bovinos, segundo Barcellos, 1992, chega ao máximo a 30%), sendo que se estuda a adição de algumas substâncias que diminuam estas perdas de N, como o sulfato de cálcio (CaSO_4). O ciclo completo da criação de suínos por sua vez gera de 140 - 170 litros dia^{-1} por fêmea no plantel, sendo que os dejetos líquidos têm em média entre 1,7% a 3,0% de matéria seca e os sistemas de criação sobre cama chegam a atingir a 78,5% (KONZEN, 2003; NEME et al., 2000).

A rapidez com que ocorre a nitrificação tem duas conseqüências importantes, especialmente na fase inicial onde a absorção de N é ainda muito pequena pela maioria das culturas. A primeira é de que, havendo drenagem de água no perfil do solo, aumenta o risco de lixiviação de N-NO_3^- . A segunda conseqüência é de que a lixiviação conjunta de N-NO_3^- e material orgânico potencializa as perdas de N via gases nitrosos ou desnitrificação (AITA & GIACOMINI, 2003).

Ao estudar em uma incubação (22°C) o efeito das doses de 0 a 200 mg de N total kg^{-1} de solo, utilizando dejetos líquidos de suínos e fertilizante nitrogenado inorgânico, Cargnin (2007) verificou que o aumento líquido do N-NO_3^- correspondeu exatamente à diminuição líquida do N-NH_4^+ . Tais resultados evidenciam que outros processos além da nitrificação afetam significativamente a dinâmica do N-NH_4^+ : a perda de N por volatilização de amônia, a imobilização de N amoniacal, a qual ocorre preferencialmente ao N nítrico, e também a

amonificação do N orgânico dos dejetos, com a rápida conversão do N amoniacal produzido para N-NO_3^- .

Quanto ao *fator época de plantio*, relacionado às condições climáticas ou estações do ano, o que é relevante na Região Sul do Brasil, a velocidade de mineralização dos compostos orgânicos está diretamente relacionada às condições de umidade e de temperatura que atuam sobre a atividade dos organismos decompositores. Quanto mais quente e úmido o ambiente, maior será a fração do resíduo ou do adubo orgânico degradada. Esta regra geral é válida, por exemplo, para compreender os mecanismos de transferência ou perdas ambientais do N. No período de inverno, a perda de N ocorre especialmente por escoamento superficial, devido às freqüentes precipitações associadas a baixas temperaturas, favorecendo o escoamento superficial e, em menor escala, a lixiviação de N-NO_3^- ; mas minimizam a volatilização da amônia. Na primavera-verão, por seu turno, predomina a volatilização de amônia, favorecida pelo aumento de temperatura (BASSO et al., 2004).

Em relação ao *fator tipo de solo*, um atributo clássico importante é a acidez do solo, onde a elevação do pH pela adição de calcário favorece a atividade microbiana. Em pH ácido, pode ocorrer hidrólise de alguns componentes celulares e desnaturar irreversivelmente determinadas enzimas envolvidas na mineralização. Nos solos com pH próximo a 6,0, porém, faixa ideal para os cultivos agrícolas, a mineralização de N é proporcional ao teor de matéria orgânica do solo (GIANELLO, 2000).

Quanto à textura do solo (ou mais apropriadamente a reatividade ou área superficial específica do solo (conceito que inclui além do teor de argila a estrutura mineralógica da fração coloidal), apesar de ser uma variável citada com freqüência na dinâmica de longo prazo da matéria orgânica, ela é praticamente desconsiderada quando se trata de períodos mais curtos de tempo. Esta situação ocorre quando da aplicação de resíduos animais e/ou vegetais como fertilizantes orgânicos. Nesta linha de abordagem, Oades (1988, apud ARNS, 2004) aponta outros fatores ligados ao solo que podem afetar a taxa e a amplitude da mineralização do C e, conseqüentemente, do N. Entre eles a interação da biomassa e dos seus metabólitos com os argilominerais do solo, através de pontes envolvendo o cálcio em solos neutros a alcalinos, o alumínio em solos ácidos e também a adsorção a óxidos de ferro.

A mineralização está intimamente relacionada à sua interação com a matriz do solo e não apenas à atividade microbiana, ao suprimento de resíduos orgânicos, a condições climáticas e ao sistema de manejo (TELES et al., 2007). Apontam vários trabalhos que demonstram a íntima relação entre o teor de argila do solo e a concentração de carbono

orgânico total no solo (COT), com correlação significativa entre o compartimento de carbono húmico e o teor de argila, após um período de incubação.

Em trabalhos de incubação, por exemplo, Wang et al. (2003) observaram que o C orgânico lábil era mineralizado sem correlação com o teor de argila nos estágios iniciais após o reumedecimento dos solos. Porém, quando o suprimento de substrato e as demandas microbianas atingiam um estado de equilíbrio, o conteúdo de argila do solo era o responsável pela redução na taxa de mineralização do C orgânico. Thomsen et al. (2003) explicam que a alta concentração de argila ou o tipo de argila nos solos pode diminuir a taxa de mineralização da matéria orgânica devido, possivelmente, à proteção física via adsorção superficial.

Ao avaliar o papel da textura e da mineralogia em processos de decomposição de curto prazo, com a gramínea *Lolium hybridum* (azevém perene)² enriquecida com ¹⁴C, Sagggar et al. (1996) constataram que houve aumento do tempo de residência do ¹⁴C em solos amórficos e ricos em esmectita, em função desta proteção de metabólitos microbianos pelas superfícies das argilas. A quantidade de ¹⁴C não estaria relacionada com a quantidade de argila, mas sim com a sua reatividade. Ou seja, ambos, teor e tipo de argila, expressos em termos área superficial específica do solo, controlariam a taxa de mineralização do C e o tempo de residência: a cada 10 m² de incremento da ASE, o material adicionado permanecia cerca de 3 meses a mais no solo (Figura 1). Assim, este parâmetro poderia ser um razoável indicador das taxas de decomposição e estabilização da matéria orgânica em diferentes solos.

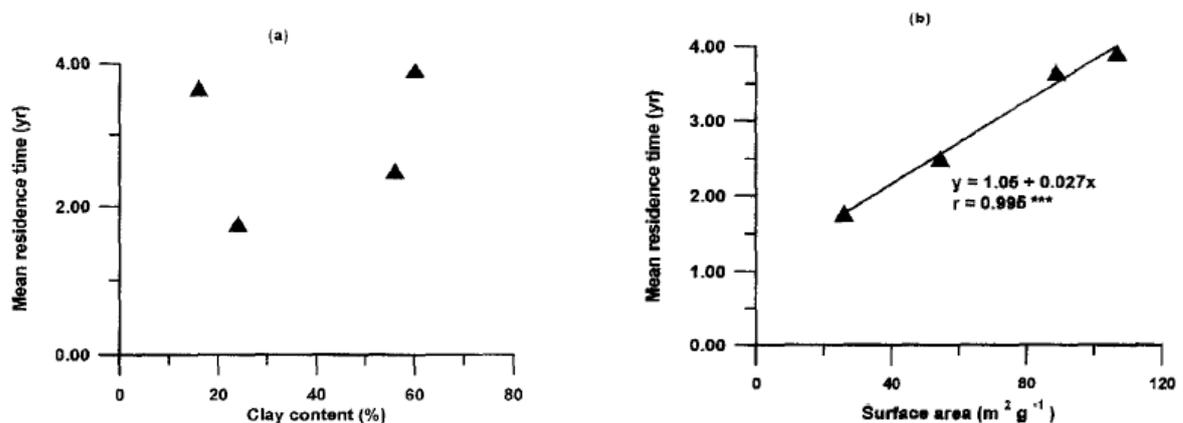


Figura 1 – Relação entre teor de argila (a) e área superficial do solo (b) com o tempo médio de residência do carbono no solo (fonte: Sagggar et al., 1996).

² Plantas comuns na Europa, Ásia e norte de África, largamente cultivadas naturalmente para pasto, feno e relvados (www.plantas.triflora.com)

No campo da “modelagem matemática”, útil no planejamento de pesquisas e políticas de desenvolvimento relacionadas ao tema, também há trabalhos que incorporam este efeito diferenciado da textura sobre a mineralização. Nos modelos estudados por Teles et al. (2007), onde lodo de esgoto foi aplicado em quatro classes texturais de solos de uma mesma matriz (10% a 71% de argila), foi encontrada correlação entre os parâmetros dos modelos com o teor de argila, tanto para a fase rápida como a fase lenta do processo de decomposição, permitindo a obtenção de coeficientes de regressão bastante satisfatórios, conforme reproduzido na Tabela 01.

Tabela 1 – Relação dos fatores produção diária média (CO₂, COT e BMS) em relação o teor de argila (conforme TELES et al., 2007)

Fator ¹	Modelos ajustados	R ²
CO ₂	Y= 23,04 - 0,09X	0,59 *
COT	Y= 0,90 + 0,09X	0,94**
CO ₂ / COT	Y= 4,24 - 0,04X	0,92**
BMS	Y= 170 + 1,18X	0,96**
CO ₂ /BMS	Y= 0,13 - 0,001X	0,88**

¹COT=carbono orgânico total; BMS=biomassa microbiana; * e ** indicam significância p < 0,05 e p < 0,01

Por fim, cabe registrar que a eficiência das fontes de nutrientes é afetada pelo *fator manejo do solo*, ou pelo sistema de preparo de solo, a longo prazo. Exemplo disso é o trabalho de Pandolfo & Ceretta (2008), ao analisar a eficiência de várias fontes orgânicas e sistemas de preparo do solo implantados há nove anos, concluindo que “o desempenho econômico das fontes orgânicas de nutrientes é dependente do sistema de preparo do solo, sendo que a cama de aves e o dejetos líquido de suínos foram as fontes com melhor desempenho econômico e que também apresentaram melhor desempenho no sistema plantio direto.”

O sistema oficial de recomendação de adubação orgânica: avanços e limites

Os parâmetros oficiais para calcular a quantidade de adubo orgânico são fornecidos pela Comissão de Química e Física do Solo nos Estados do RS e SC (2004) e são a concentração e o índice de eficiência de liberação dos nutrientes (IELN) frente à demanda de

cada sistema de cultivos. A maioria das pesquisas realizadas na Região Sul envolvendo esterco e dejetos animais como fertilizantes possui certa limitação de representatividade: tem sido feitas mais com a cultura do milho, plantio convencional, incorporando os dejetos ao solo e com foco na produtividade de maior retorno econômico (GIACOMINI & AITA, 2006).

Há basicamente duas filosofias de adubação em uso no Brasil: a adubação de correção seguida de manutenção e a construção gradativa da fertilidade do solo. Porém, em qualquer uma delas visa-se ao incremento da disponibilidade de um nutriente qualquer a partir de doses de fertilizantes recomendadas. Por isso, de acordo com o teor no solo, a dose deve ser ajustada para recompor a exportação pela cultura e alcançar ou manter o teor ótimo no solo. Atualmente, por exemplo, o uso desta filosofia no sistema de plantio direto pode trazer grandes problemas, uma vez que ela foi concebida para o cultivo convencional. Nesse manejo, por ocasião do revolvimento do solo, fazia-se uma homogeneização nos teores de fósforo (ou outros nutrientes) pelo menos na camada 0-20 cm. No sistema plantio direto, a construção da fertilidade está se dando unicamente na camada superficial, criando um acentuado gradiente de concentração. Por outro lado, a maioria dos experimentos de calibração feita no sistema convencional tinha tetos de produtividades bem diferentes, hoje considerados apenas médios (RHEINHEIMER et al., 2008).

Portanto, o conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da sua aplicação na superfície, onde os fertilizantes são depositados e podem ser incorporados (sistema convencional) ou não (plantio direto), é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos e, mais especificamente, quando da utilização de dejetos animais, que nem sempre fornecem nutrientes de forma balanceada. O melhor entendimento das modificações nos atributos químicos do solo, decorrentes da reciclagem de resíduos orgânicos e do uso de dejetos na adubação, pode fornecer subsídios para produção em bases sustentáveis, sem comprometer o ambiente (SCHERER, 2007).

Com a consolidação do sistema de plantio direto, haverá implicações distintas daquelas avaliadas no sistema convencional, especialmente na dinâmica do C, do N e do P no solo (além de outros nutrientes e micronutrientes, como Cu e Zn), visto que os dejetos, que são ricos em N mineral, são aplicados normalmente sobre resíduos culturais pobres em N, como as gramíneas. Além disso, os dejetos possuem uma grande variabilidade de composição em função dos diferentes sistemas de manejo da água, da alimentação dos animais e de armazenamento dos resíduos, tornando fundamental conhecer a composição dos mesmos antes de utilizá-los, sob pena de aumentar os riscos em termos de poluição e perdas de produtividade das culturas fertilizadas (GIACOMINI & AITA, 2006).

Em todo caso, a dosagem dos dejetos e camas deve sempre preocupar-se em reposição da exportação de nutrientes pela produção das culturas e as demais saídas do sistema. Trabalhos sistematizados por Konzen (2003) dão uma noção geral de potenciais de rendimento a serem atingidos: as doses econômicas de dejetos de suínos para a produção de milho, em áreas de Cerrado, em plantio tradicional, variam de 45 a 90 m³ ha⁻¹; e para plantio direto, de 50 a 100 m³ ha⁻¹. As doses mais eficientes na produção de soja, em plantio direto, foram de 25 m³ de dejetos de suínos e 1,8 Mg de cama de aves ha⁻¹. As doses de 3,6 e 5,0 Mg ha⁻¹ de cama de aves foram técnica e economicamente mais adequadas para a produção de milho em plantio direto. A produção de pastagem de uso intensivo tem-se mostrado mais eficiente com doses de 150 a 180 m³ ha⁻¹ de dejetos de suínos por ano, parceladas em 5 a 6 aplicações. Já na região da Depressão Central do RS, Tiecher et al. (2004) obtiveram melhores resultados com 30m³ de dejetos líquidos de suínos e complemento com uréia em cobertura na produção de matéria seca e grãos de milho e feijão preto.

Difícilmente as necessidades nutricionais de uma determinada cultura serão supridas de forma equilibrada somente com a utilização de materiais orgânicos, pois a concentração de N, P e K e outros nutrientes neles existente diferem, na maioria das vezes, das relações comumente requeridas. Nesse caso poder-se-á fazer uso de adubos minerais para complementar os nutrientes que faltam, ou utilizar uma quantidade de adubo orgânico acima das necessidades da cultura. Por isso, na utilização de materiais orgânicos como fertilizante deve-se considerar, além da exigência das plantas, a concentração dos nutrientes nos materiais, a umidade e a eficiência de liberação de cada nutriente (SCHERER, 2000). Nos dejetos líquidos de suínos e bovinos, por exemplo, recomenda-se a redução do teor de umidade, pois a concentração de nutrientes está diretamente relacionada com o teor de matéria seca, impactando diretamente no custo final da adubação por unidade de nutriente, desde o armazenamento, o transporte até aplicação na lavoura (DARTORA, 1998).

Esses processos todos e seus condicionantes têm relação direta com um parâmetro básico no sistema de recomendação oficial da CQFS RS-SC (2004), que é o índice de eficiência de liberação dos nutrientes (IELN). Pelo que se depreende da análise de vários trabalhos (SEGANFREDO, 1999; SCHERER, 2000; GIACOMINI & AITA, 2006), além de depoimentos pessoais de técnicos envolvidos na atualização e melhoria do sistema de recomendação, estes índices devem ser entendidos como uma referência e não tomados com absolutos. Isto porque os índices (IELN) foram dimensionados tendo como base em resultados de experimentos com uma variabilidade reduzida, visto que em sua maioria foram realizados na cultura do milho, com dejetos líquidos de suínos incorporados e nas condições

edafoclimáticas da região oeste de SC e noroeste do RS. Há, portanto, necessidade de se fazer mais pesquisas e experimentos para abranger um número maior de tipos de solos, de épocas de plantio, de sistemas de cultivo (sucessão) e de formas de manejo do solo.

Como se abordou anteriormente, a complexidade da dinâmica de mineralização dos resíduos orgânicos, em especial do nitrogênio, dificulta a realização de um balanço simples entre a adição através de adubos orgânicos, as quantidades absorvidas pelas plantas e as perdas (por volatilização, escoamento superficial e lixiviação), além de um possível acúmulo no solo. O N é, normalmente, o elemento presente em maiores concentrações nos dejetos e também aquele que provoca os maiores problemas de poluição ambiental. Nos dejetos líquidos, onde predomina a forma amoniacal, a velocidade com que é oxidado a nitrato pela ação das bactérias nitrificadoras no solo é um fator determinante do seu poder poluidor. Isto porque o aparecimento precoce de NO_3^- no solo num estágio onde a demanda em N pelas culturas ainda é pequena, ou porque algum fator retardou a emergência das plantas, poderá resultar em perdas significativas desta forma de N por lixiviação, contaminando as águas de superfície e também do lençol freático (CARGNIN, 2007).

Por outro lado, o desbalanço entre as concentrações de N e P dos dejetos é apontado também como uma das causas da poluição da água com fósforo. A razão disso é que a dosagem é definida normalmente com base no conteúdo de N do adubo orgânico e seu requerimento pelas culturas. Porém a relação N/P do dejetos líquido suíno pode variar de 2:1 a 6:1, mas a absorção pelas culturas pode ocorrer numa relação de 7:1 a 11:1, o que favorece o incremento de P no solo. Esse quadro pode ficar mais agravado após sucessivas aplicações, fato comum em zonas de criações intensivas de suínos e aves e com pouca área agrícola disponível, como no oeste catarinense e noroeste gaúcho (BASSO et al., 2004).

Apesar dos avanços representados pelo emprego do índice de eficiência de liberação de nutrientes (IELN) na adubação orgânica, especialmente na diminuição dos riscos ambientais por super-dosagens ou de déficits nutricionais no caso de sub-dosagens aos cultivos, este indicador não considera os parâmetros relacionados ao ambiente edafoclimático onde é aplicado ou à forma de sua aplicação. É um parâmetro fixado quase que intrinsecamente para cada fonte de adubo orgânico, independente de outros fatores que, conforme se abordou anteriormente, podem ser também importantes ao processo de mineralização dos nutrientes orgânicos.

Neste sentido, a EMBRAPA - Suínos e Aves ao lançar o “Manual de manejo utilização de dejetos suínos”, em 1993, já alertava sobre a “necessidade de mais pesquisa para verificar o comportamento dos nutrientes no solo e níveis de nitrato na água, visando ter mais

segurança na indicação de doses de dejetos para diferentes solos” (DARTORA et al., 1998).

É interessante perceber através da análise da Tabela 2 adiante que, na versão anterior do Manual de Adubação e de Calagem (versão de 1996), o IELN do nitrogênio e do fósforo diferia unicamente pelo fato da fonte de resíduo orgânico ser líquida ou sólida, partindo do princípio geral que as líquidas têm um maior % de N mineral (amoniaco) do que nas sólidas.

Tabela 2 - Índices de eficiência dos nutrientes no solo (IELN) dos adubos orgânicos utilizados em cultivos sucessivos e adotados na versão de 1996 da CQFS RS-SC.

Nutriente*	Tipo de resíduo	Índice de eficiência de liberação de nutrientes (IELN)		
		1º cultivo	2º cultivo	3º cultivo
N	Sólido	0,5	0,2	0,1
	Líquido	0,8	-	-
P	Sólido	0,6	0,3	0,1
	Líquido	0,8	0,2	-
K	Sólido	1,0	-	-
	Líquido	1,0	-	-

* Nutriente total (mineral + orgânico)

Já na última edição do referido Manual (CQFS RS-SC, 2004), os índices de eficiência passaram a contemplar um número bem maior de fontes orgânicas, apresentando-se os valores individualmente para cada tipo de resíduo orgânico. Ou seja, com base em novas pesquisas assumiu-se que as formas sólidas e líquidas apresentam concentrações muito variáveis de nutrientes na forma mineral e orgânica, afetando diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas e conseqüentemente os valores do IELN. Em geral, então, passou-se a considerar que os adubos orgânicos com altos teores de fibras e lignina, como as camas de aves e de suínos, apresentam menores quantidades de nutrientes na forma mineral e maior relação C/N, sendo por isso decompostos mais lentamente, acumulando maior quantidade de húmus no solo e liberando então menores quantidades de nutrientes para as plantas. Já os dejetos líquidos apresentam maior quantidade de nutrientes minerais prontamente disponíveis às plantas, considerando-se iguais adições de matéria seca. Também houve um maior detalhamento na diferenciação qualitativa dos nutrientes de algumas fontes, na medida em que se informa a proporção média do N total que se encontra na forma amoniaco ($\text{NH}_3^+ + \text{NH}_4^+$): 25% no caso da cama de frangos, 15% na cama de poedeiras, 30% no lodo de esgoto, 25% no dejetos líquido de bovinos e 50% no dejetos líquido de suínos. Outros autores apontam

pequenas diferenças: 30% de N mineral para os dejetos líquidos de bovinos (BARCELLOS, 1992) e 60% para os dejetos suínos (SCHERER et al., 1996).

Entretanto, mesmo nesta nova versão não há nenhuma menção a outros fatores que podem afetar as taxas de mineralização e que podem também impactar no estabelecimento dos valores dos IELN, especialmente do nitrogênio. Também não são apresentados os índices para outros tipos de adubos orgânicos importantes atualmente, como é o caso da cama sobreposta de suíno (ARNS, 2004). Assim sendo, ao não levar em conta fatores como época de aplicação, o tipo de solo (textura, mineralogia), o modo de aplicação, entre outros, faz com que um indicador da importância do IELN seja contestado em alguns trabalhos.

Como exemplo destas disparidades, os resultados obtidos por Arns (2004) indicaram que o índice de eficiência de liberação de N de 50% não foi adequado para a cama sobreposta de suíno, cuja eficiência em fornecer N foi de apenas 14% para a cultura da aveia branca, na média das duas épocas de aplicação (0 e 30 dias antes da semeadura). Estes dados, de acordo com a autora, são comparativamente bem inferiores aos 30% de índice de eficiência do nitrogênio obtidos no primeiro cultivo noutro ambiente edafoclimático citado (Austrália). Em relação ao IELN de 50% preconizado oficialmente, justifica que essa diferença se deveria em parte pela particularidade da cama sobreposta possuir atributos físico-químicos distintos daqueles que foram utilizados nos estudos que embasaram o estabelecimento dos valores sugeridos pela CQFS RS-SC em 1995.

Considerando este conjunto de reflexões e referências, há razões para supor que a eficácia nutricional imediata ou residual dos adubos orgânicos pode ser diferente da que se espera alcançar com a aplicação pura e simples dos índices oficialmente recomendados pela CQFS. Sendo mais prático, poder-se-ia esperar em determinadas situações de clima (época de plantio) e solo (textura), eficiência significativamente diferente destes insumos tão importantes para a sustentabilidade ambiental, especialmente na fase de transição agroecológica no nível de substituição de insumos. A movimentação dos elementos no perfil do solo indica a necessidade de acompanhamento dos desbalanços ocorridos e a correção de rumos do sistema de reciclagem dos dejetos de suínos e aves (KONZEN, 2003).

Se forem utilizados parâmetros inadequados, podem ocorrer problemas que levam à perda da credibilidade no sistema de recomendação da adubação orgânica, bem como da própria atuação da assistência técnica, do desperdício de recursos financeiros escassos, com frustrações de expectativas econômicas e um maior risco de poluição ambiental. Por isso, entre outras razões, entende-se ser importante ampliar os estudos sobre a eficiência de uso de fontes orgânicas de nutrientes e seus parâmetros de recomendação.

CAPÍTULO 1

Liberação de nitrogênio em solos com e sem adubos orgânicos

RESUMO

A disponibilidade do N no solo sob adubação orgânica é afetada por vários fatores como a quantidade e a natureza do resíduo adicionado, as condições climáticas e o tipo de solo. O presente estudo objetivou avaliar a eficiência da cama de aves de corte e do dejetos líquido suíno em três solos de diferentes texturas. Foram incubados os solos franco-arenoso (238 mg argila kg⁻¹ solo), argilo-siltoso (470 mg kg⁻¹) e muito-argiloso (605 mg kg⁻¹), aos quais se adicionou a cama (47% de N-NH₄⁺) e o dejetos líquido (14% de amônio). Foi determinada a evolução do N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) aos 0, 7, 14, 28, 56 e 112 dias após a incubação e calculou-se a mineralização líquida (ΔN_{\min}) e as porcentagens de nitrogênio disponível às plantas (%NDP) e de N mineral líquido (%N_{minL}) em relação ao N total e orgânico adicionados, respectivamente. Constatou-se que a imobilização do NH₄⁺ foi muito mais lenta no solo muito argiloso (56 dias), enquanto no solo arenoso ocorreu rapidamente, em até 7 dias. Efeito similar ocorreu com a nitrificação, ou seja, o maior teor de argila promoveu a conversão do amônio de forma gradual, independente do tipo de adubo orgânico adicionado, o que diminui potencial poluente do N. A mineralização líquida do nitrogênio também foi maior no solo arenoso, devido à menor proteção físico-química. Isto ratifica a recomendação de parcelar o suprimento N aos cultivos, em especial em solos arenosos e com dejetos líquidos e ricos em N amoniacal. Os resultados sinalizam que o IELN da CQFS RS-SC (2004), de 80% para o dejetos e 50% para a cama, podem estar superestimados ao se comparar com as variáveis deste estudo, no caso a %NDP e a %N_{minL}. Assim, por exemplo, o % NDP aos 112 dias de incubação com cama de aves foi de 32% no solo arenoso e 23% no argiloso, enquanto que na incubação com dejetos suíno foi de 41% e 27%, respectivamente. Conclui-se que é importante descontar a contribuição do N mineral produzido pelo solo no cálculo da eficiência de liberação para não se promover a depleção da matéria orgânica do solo no médio ou longo prazo. Por fim, os resultados apontam para a necessidade de realizar estudos para que o tipo de solo (textura) possa ser uma variável para calibrar os parâmetros de recomendação de N através de adubos orgânicos.

Palavras-chave: eficiência da adubação orgânica, nitrogênio disponível, efeito do tipo de solo, dejetos líquido suíno, cama de aves.

CHAPTER 1

Nitrogen release in soils with and without organic fertilizers.

ABSTRACT

The N availability in soil is affected by various factors, like the quantity and nature of added organic fertilizer, climatic conditions and soil type. In Brazil there are few studies on the effect of texture and this study aimed to obtain more information about the efficiency of two organic fertilizers on three different soil textures. Thus, various soil textures were incubated: sandy loam (238 mg kg⁻¹ solo clay), silty-clay (470 mg kg⁻¹) and very-clay (605 mg kg⁻¹), to which added chickens litter (47% N-NH₄⁺) and pig slurry (with only 14% ammonium). Was detected evolution of mineral N (N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻) at 0, 7, 14, 28, 56 and 112 days after incubation. We calculated the percentage of nitrogen available to plants (%NAP) and net N mineralized (%N_{min}L) in relation to total N and organic N added, respectively. The immobilization of NH₄⁺ was much slower in the clay soil (56 days), while in sandy soil the ammonium was nitrified almost all in less than 7 days. A similar effect occurred with the nitrification of ammonium, where the higher clay promoted a gradual nitrification, independent if chickens litter or pig slurry were additional, which reduce the polluting potential of N. The net mineralization of nitrogen was also higher in sandy soil, due to lower physic-chemical protection. This confirms the recommendation to fractionate the supply of fertilizer to crops, particularly in sandy soils and slurry, rich in N - ammonia. The results also showed that efficiency of nitrogen release of 80% for manure and 50% for the chickens litter (CQFS RS-SC 2004) may be overestimated when compared with the results of this study for the variables %NDP and %N_{min}L. For example, the %NAP at 112 days of incubation with chickens litter was 32% in sandy soil and 23% in clay soil, whereas the incubation with swine manure was 41% and 27%, respectively. It is important to subtract the contribution of soil mineral N by the calculation of the efficiency of release, not to occurs the depletion of soil organic matter in the medium or long term. Finally, the results point to the need for further studies so that the soil type (texture) can be a variable to calibrate the parameters of N recommendation using organic fertilizers.

Keywords: efficiency of organic manure, available nitrogen, effect of soil type, pig slurry and chicken litter

1.1 INTRODUÇÃO

A eficiência da absorção de nitrogênio por plantas não leguminosas depende da adequada disponibilidade de N mineral no solo, tanto em quantidade como no momento certo. Com a adição de adubos orgânicos como dejetos de animais e resíduos vegetais, a disponibilidade de N mineral às plantas depende principalmente do processo de mineralização do N orgânico presente nesses materiais orgânicos, assim como, em certa medida, do N naturalmente presente no solo. A mineralização do N depende de vários fatores bióticos e abióticos, tais como composição do resíduo, a quantidade aplicada, o nível de atividade microbiana, as condições climáticas (época de plantio ou de cultivo), o modo de aplicação e, em tese, do tipo de solo (textura e mineralogia). Conforme Konzen (2003), as principais fontes de adubos orgânicos de origem animal empregadas na agricultura sulbrasileira são os dejetos líquidos (bovinos e, principalmente, suínos) e as camas de aves (de corte).

O Manual de Adubação e de Calagem (CQFS RS-SC, 2004) tem um capítulo específico para as recomendações de adubação orgânica onde os principais parâmetros utilizados são a concentração de N, P e K, o conteúdo de matéria seca e o índice de eficiência de liberação de nutrientes (IELN) nos três primeiros cultivos em sucessão. O fato da composição dos dejetos ser bastante variável dificulta a recomendação de quantidades a aplicar com base em valores médios. O alto grau de diluição das formas líquidas, por sua vez, implica em altas doses, o que aumenta o potencial poluente

No solo, o N orgânico mineralizado pode tomar diversos caminhos, tais como: (1) ser absorvido pelas plantas na forma de amônio e, preferencialmente, nitrato; (2) ser imobilizado temporariamente pela biomassa microbiana do solo na forma de amônia; (3) ser transferido a outros compartimentos como a água (através da lixiviação e escoamento de nitrato) e o ar (por volatilização de amônia e desnitrificação/formação de gases nitrosos). Estudos demonstram que há diferenças na dinâmica da mineralização entre os tipos de materiais orgânicos e destes em interação com o ambiente do solo: sua umidade, teor e tipo de argilominerais, pH, grau de aeração, entre outros atributos (SÖRENSEN, 2001; THOMSEN, 2003; CALDERÓN, 2005; AZEEZ & AVERBEKE, 2010).

A eficiência dos adubos orgânicos no fornecimento de nitrogênio às culturas dependerá da capacidade de aproveitamento do N mineral disponibilizado no solo após a aplicação. Será tanto mais eficiente quanto maior o sincronismo entre o processo de

mineralização do N orgânico no solo, sua reatividade com os argilominerais e a demanda de nitrogênio mineral pelas raízes das plantas.

Quando se incorpora os dejetos ao solo, como ainda ocorre no cultivo de batata e em muitas outras atividades agropecuárias (horticultura e implantação de pastagens, por exemplo), combinado a condições climáticas mais quentes, esse processo de decomposição dos resíduos e de mineralização do N orgânico no solo é ainda mais intenso. Além disso, boa parte dos dejetos possui elevado conteúdo de N amoniacal, como o caso dos dejetos na forma líquida: os de suínos têm entre 50-60% e os de bovinos entre 25-30%, em média.

Em termos gerais, de acordo com vários autores, os dejetos animais e demais resíduos orgânicos são aplicados na superfície do solo e antes da implantação das culturas. Então normalmente ocorre uma rápida imobilização do NH_4^+ adicionado, o que pode ser positivo já que neste momento é muito baixa a demanda de N na maioria dos cultivos. No entanto, a oxidação do amônio a N-NO_3^- (nitrificação) também é rápida onde há condições aeróbicas do solo³, sendo que o nitrato formado é muito solúvel e fracamente adsorvido ao solo. Com isso, em muitos casos a velocidade de lixiviação deste ânion é maior do que a capacidade de imobilização do N pelos organismos (evidentemente que esse fenômeno ocorre também quando se usa fontes minerais do N, principalmente em cultivos como a batata, onde há um considerável período de tempo entre a aplicação e a efetiva absorção pelas plantas). Por isso, um dos grandes desafios nesta área do fornecimento de nutrientes via adubação orgânica, especialmente do N, é a busca do maior sincronismo possível entre a disponibilização do N mineral e a absorção pelas plantas. Dois caminhos estão sendo apontados pela pesquisa para tal objetivo: aplicações parceladas de N e uso de inibidores da nitrificação (CERETTA et al., 2003; CQFS RS-SC, 2004; FIOREZE, 2005; GIACOMINI & AITA, 2006).

Portanto, conforme a quantidade e a qualidade da mineralização líquida do nitrogênio podem ocorrer tanto deficiência nutricional (subdosagens ou alta adsorção do amônio nos colóides de alguns solos), como transferência de eventuais sobras de nitrato e de outros elementos indesejáveis (metais pesados, patógenos) ao meio ambiente. Esse ciclo acaba agravando alguns problemas cíclicos ou crônicos, como a baixa produtividade de cultivos, a emissão de gases de efeito estufa, a contaminação de alimentos e a eutrofização das águas superficiais (SEGANFREDO, 1999).

³ PORT (2002) obteve nitrificação total do amônio entre 15-20 dias após a aplicação de dejetos líquidos de suínos, sendo maior em doses crescentes.

Entende-se, por este breve contexto, que são importantes mais pesquisas para aperfeiçoar os parâmetros de recomendação objetivando o uso mais adequado dos adubos orgânicos. Neste sentido, além dos experimentos de campo, os estudos de incubação em ambientes controlados são métodos muito interessantes. Além de sinalizar tendências e ajudar a compreender melhor a dinâmica do nitrogênio e do carbono no solo, em certos casos a incubação até mesmo dispensa métodos muito complexos ou de alto custo.

Algumas pesquisas feitas com incubação de solos sustentam que o valor fertilizante dos adubos orgânicos no curto prazo (primeiro cultivo) deve-se principalmente ao teor de NH_4^+ , enquanto a fração orgânica do N só seria mineralizada bem mais lentamente, tendo pouco efeito no primeiro cultivo (BECHINI & MARINO, 2009). Outros autores aconselham aprofundar mais a compreensão do potencial de imobilização do amônio dos dejetos e o efeito dos tipos de solo em relação ao N das frações orgânicas, sem o que a capacidade de prever a mineralização líquida do N de dejetos fica mais limitada (SÖRENSEN, 2001; AZEEZ & AVERBEKE, 2010). No Brasil, há relativamente poucos trabalhos sobre o efeito de diferentes parâmetros de solo na decomposição, especialmente os atributos físicos, como tamanho e distribuição de poros, conteúdo de água, mineralogia e textura dos solos. Como um exemplo desses trabalhos, Sistani et al. (2008), ao estudar a interação do tipo de solo e do conteúdo de água (% da capacidade de campo), obteve efeito somente do primeiro sobre a mineralização do N de cama de aves.

Um dos caminhos para entender o efeito do teor de argila sobre a mineralização passa pelo entendimento da interação entre os compartimentos ou “pools” da matéria orgânica do solo (MOS). Os compartimentos mais lábeis, constituídos pela massa microbiana e os resíduos animais e vegetais, são considerados interligados e interdependentes aos “pools” mais estáveis e responsáveis pela proteção coloidal e estrutural da matéria orgânica do solo conforme esquematizado no Quadro 1 adiante (MIELNICKZUK, 1999).

O solo é um sistema aberto, vivo e dinâmico, de tal sorte que as práticas de manejo podem promover maiores ou menores alterações nestes componentes da matéria orgânica, afetando sua magnitude mutuamente. Os compostos orgânicos adicionados ao solo são submetidos ao processo de decomposição de natureza química, mecânica e biológica, mas nem todos se decompõem na mesma velocidade: açúcares, amidos e proteínas simples se decompõem mais facilmente, seguidos de hemiceluloses e depois celulose, lignina e gorduras. Da decomposição rápida resultam vários compostos intermediários até formarem produtos mais simples da atividade microbiana, como por exemplo, os de carbono (CO_2 , CH_4), de nitrogênio (NH_4^+ , NO_3^- e gases como NO_2 , NO), de fósforo e vários outros (S, K, Ca, Mg,

OH, H, etc.). Os compostos mais complexos e resistentes tendem a persistir mais no solo, dando origem às substâncias húmicas (MYIAZAKA, 1984).

<i>Compartimento</i>	<i>Residência (anos)</i>	<i>Funções ambientais</i>	<i>Fatores de controle da magnitude</i>
<i>A- Biomassa vegetal viva</i>	0,25	- produtividade de alimentos, ciclagem de elementos, controle erosão	- sistemas de produção, fertilidade do solo, clima
<i>B- Resíduos vegetais/ animais</i>	0,25	- biota, erosão e nutrientes	- magnitude de A - tipo de resíduo (relação C/N) - temperatura, umidade
<i>C - MOS não protegida</i>			
1- Biomassa microbiana (BM)	0,25	- decomposição de resíduos, nutrientes, agregação temporária	- tipo e magnitude de B, fertilidade, clima, revolvimento do solo
2- Lável	2 a 5	- energia à BM, agregação temporária, nutrientes, CTC	- magnitude de A e B, clima, revolvimento do solo
<i>D - MOS protegida</i>			
1- Proteção estrutural	–	- agregação permanente, CTC	- magnitude de A,B e C; revolvimento do solo; textura
2- Proteção Coloidal	1000	- idem	- idem + mineralogia do solo

Quadro 01 – Compartimentos da matéria orgânica no solo (MOS), tempo estimado de residência, funções e fatores de controle de sua magnitude em um sistema agrícola (adaptado de MIELNICZUK, 1999).

Em condições de cultivo ao longo do tempo, as taxas de adição e decomposição de resíduos adicionados ao solo afetam não só a disponibilidade de N e outros elementos, mas também o teor de MOS, o que depende muito das condições edafoclimáticas e de manejo. O ajuste adequado entre as quantidades de nutrientes introduzidas e as exportadas via colheitas e/ou perdas do sistema, assim com o carbono que se soma aos estoques do solo via adição/decomposição de resíduos vegetais e animais, é um dos desafios para implantar sistemas produtivos e sustentáveis a longo prazo (JANTALIA et al., 2006).

Assim sendo, no processo de decomposição, ao adicionar-se adubos orgânicos ao solo vários autores consideram que ocorre uma fase inicial indiferente em relação ao teor de argila no solo. Após esta fase, segue uma limitação temporária à atividade microbiana pela ação dos argilominerais. Estes tendem a limitar a taxa de decomposição pela maior sorção dos produtos da decomposição e incorporação destes nos agregados do solo, dificultando assim o acesso direto dos microrganismos ao N orgânico (SÖRENSEN, 2001; McLAUHLAN, 2006;

KHALIL, 2006). Ou seja, nos solos mais arenosos, onde a matéria orgânica tem pouca proteção da fração argilomineral, resulta num processo de decomposição/mineralização muito mais rápida, ainda mais quando este mesmo solo é revolvido pelo preparo mecânico e maior exposição aos microorganismos aeróbicos (PILLON, 2005).

Mais especificamente, Sagar et al. (1996) conclui que a composição mineralógica, ao invés de apenas o teor de argila do solo, exerceria papel vital neste fenômeno por impactar diretamente na área superficial específica do solo. Pode-se inferir que o teor e a composição argilomineral do solo (o que pode ser chamado de “reatividade”) exercem uma espécie de efeito “tampão” na decomposição ou mineralização dos materiais orgânicos, protegendo quimicamente e possivelmente regulando a intensidade destes fluxos interdependentes entre os compartimentos da matéria orgânica do solo. Por essas razões é que cada vez mais os estudos de modelagem matemática da dinâmica do C e N no solo também utilizam os parâmetros relacionados ao tipo de solo e aos argilominerais (McLAUCHLAN, 2006).

Por fim, uma das limitações destes estudos sobre o efeito de diferentes tipos de solo é que a maioria tem sido realizada no Hemisfério Norte, onde, evidentemente, a característica edafoclimática é diferente da rica diversidade subtropical e brasileira (presença de latossolos, por exemplo). Desta forma, na tentativa de contribuir com algumas informações úteis para suprir parte desta lacuna na pesquisa e, possivelmente, estimular novas pesquisas, é que este estudo de incubação foi realizado. Procurou-se inicialmente adotar um leque bem amplo de investigação, ou seja, usaram-se três solos (com ampla variação textural) e dois adubos orgânicos distintos (um líquido e outro sólido). Também servirá para auxiliar a interpretação e discussão dos resultados de dois experimentos de campo destinados a avaliar o efeito da época de plantio sobre a mineralização e eficácia dos mesmos orgânicos.

O objetivo desta incubação de 112 dias foi, enfim, avaliar o impacto do tipo de solo e do tipo de dejetos na dinâmica do nitrogênio.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os solos foram coletados em áreas cultivadas no início de março de 2009, tendo sido originados de três regiões do estado do Rio Grande do Sul. O solo de textura franco-arenosa foi coletado na região da Depressão Central, no município de Santa Maria, campus da UFSM; o solo de textura argilo-siltosa foi coletado na região da Encosta da Serra Geral, no interior de Silveira Martins-RS; ambos foram coletados pelo autor. Já o solo de textura muito-argilosa

veio da região do Planalto Médio, entre Passo Fundo e Ibiraiaras, tendo sido coletado pelo professor Irineu Fioreze (Universidade de Passo Fundo). Esses solos foram escolhidos por terem a amplitude textural requerida ao estudo e por representarem as principais regiões de produção de batata do Estado, já que esta cultura foi objeto de experimentos de fertilização orgânica a campo no mestrado (FIOREZE, 2005) e também no presente doutorado.

Os solos foram coletados na camada de 0-20 cm e em seguida depositados em local arejado e fresco (temperaturas variando entre 15 e 25°C). Foram acondicionados em sacos plásticos vedados para evitar perdas maiores de umidade que viessem comprometer a atividade microbiana dos solos. Permaneceram neste local por 38 dias, tendo sido peneirados em malha 4 mm na primeira semana, após a perda do excesso de umidade (próximo à capacidade de campo). Foi retirada uma sub-amostra homogênea de 500g de cada solo para, após ter sido secada ao ar, realizar as análises química e física. Outra amostra de 200g por solo foi mantida úmida em geladeira comum para determinação do N orgânico. Para tais análises, realizadas nos Laboratórios de Fertilidade, Química e Física do Solo da UFSM, foram utilizadas as metodologias preconizadas por Tedesco et al. (1995), Embrapa (1997 e 2006) e Reinert & Reichert (2006). Os atributos físico-químicos principais destes solos estão reunidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos três solos utilizados no estudo de incubação com as quantidades de N adicionadas nos tratamentos. Santa Maria-RS, 2009.

Propriedade	Tipos de solo		
	Franco-arenoso	Argilo-siltoso	Muito argiloso
Argila (g kg ⁻¹)	238	470	605
Areia (g kg ⁻¹)	446	104	156
Silte (g kg ⁻¹)	316	426	239
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	24	49	32
pH	5,9	4,7	6,5
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,0	13,4	3,2
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	1,0	2,0	1,0
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	4,0	8,0	4,0
K (mg dm ⁻³)	148	256	168
P (mg dm ⁻³)	45	55	33
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,7	1,8	2,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,2	1,0	1,1

Os adubos orgânicos utilizados foram a cama de aves de corte (84,3% de matéria seca) e o dejetos líquido de suínos (3,3%). A cama foi coletada em criação de quatro lotes de frango sobre maravalha em Estrela-RS e o dejetos líquido em uma esterqueira anaeróbica de granja de terminação suína em confinamento total, no município de Faxinal do Soturno - RS.

Nos dejetos “in natura” foram determinados N total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, conforme metodologia preconizada por Tedesco et al. (1995). Aplicou-se na incubação uma quantidade ou taxa equivalente aos experimentos de campo, ou seja, 8 Mg ha⁻¹ de cama de aves de corte (0,9 g por recipiente) e 40 m³ha⁻¹ de dejetos líquido suíno (4,9 mL). A composição dos adubos orgânicos e a quantidade de nitrogênio adicionada aos solos estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição e quantidade de nitrogênio adicionada pela cama de aves de corte e pelo dejetos líquido de suínos. Santa Maria-RS, 2009.

Adubo Orgânico	Composição e formas de N dos adubos orgânicos		
	N total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
Cama de aves de corte (kg Mg ⁻¹)	28,7	3,9	0,3
Dejetos líquido de suínos (kg m ⁻³)	2,3	1,1	0,1
	Formas e taxas de N adicionados ao solo		
	N total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
Cama de aves de corte (mg kg solo ⁻¹)	216,3	32,1	2,3
Dejetos suíno líquido (mg kg solo ⁻¹)	96,5	47,5	2,5

Os solos foram incubados no Laboratório de Microbiologia da UFSM, entre abril e setembro de 2009, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições em um esquema fatorial tipo 3 x 3. Houve seis épocas de avaliação com quatro repetições, totalizando 216 unidades experimentais, as quais eram recipientes de acrílico de 110 mL, onde se colocou 117,8g de massa seca de cada solo. Os tratamentos foram os seguintes:

- T1 – ARN (solo franco-arenoso controle);
- T2 – ARN-CAC (solo franco-arenoso + cama de aves de corte incorporado);
- T3 – ARN-DLS (solo franco-arenoso + dejetos líquido de suínos incorporado);
- T4 – SIL (solo silto-argiloso controle);
- T5 – SIL-CAC (solo silto-argiloso + cama de aves de corte incorporado);
- T6 – SIL-DLS (solo silto-argiloso + dejetos líquido de suínos incorporado).
- T7 – ARG (solo muito argiloso controle);

- T8 – ARG-CAC (solo muito argiloso + cama de aves de corte incorporado);
 T9 – ARG-DLS (solo muito argiloso + dejetos líquido de suínos incorporado).

Nos tratamentos com adubos orgânicos, estes foram bem misturados ao solo antes de serem acondicionado nos recipientes. A mistura adubo orgânico + solo foi colocada em duas etapas para uma melhor compactação, até atingir a altura de 5 cm, resultando numa densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. As quatro repetições de cada tratamento foram colocadas juntas em frascos de vidro de 1,7 L de volume, os quais em seguida foram tampados e colocados na incubadora sob ausência de luz e temperatura de 25° C .

Quanto às determinações efetuadas, a concentração de N mineral nos solos incubados ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) foi avaliada cerca de duas horas depois da incubação (TEDESCO et al., 1995), no Laboratório de Fertilidade da UFSM, considerado-se este o tempo 0. Depois houve determinações nos tempos 7, 14, 28, 56 e 112 dias após a incubação.

Foram calculados, em cada data ou tempo da incubação, os valores de mineralização líquida cumulativa do nitrogênio (ΔN_{min}) e do percentual do N adicionado pelos dejetos que foi mineralizado nos solos, através do %NDP (nitrogênio mineral disponibilizado às plantas) e % N_{minL} (mineralização líquida do nitrogênio).

O valor ΔN_{min} (em mg kg^{-1} solo) é um indicativo direto dos processos líquidos de mineralização de N: se for positivo significa que houve predomínio da mineralização (nitrificação, basicamente) sobre a imobilização do N; se negativo, o oposto. Para obter o valor de ΔN_{min} utilizou-se a fórmula adaptada de Griffin (2005):

$$\Delta N_{\text{min}} = \Delta N_{\text{min AO}} - \Delta N_{\text{min Test.}} \quad (1)$$

,onde $\Delta N_{\text{min AO}}$ é a variação entre a quantidade de N mineral encontrada no tratamento com Adubo Orgânico em cada tempo analisado ($t= 7, 14, 28, 56$ ou 112 dias), subtraída da quantidade de N mineral no tempo zero (t_0). $\Delta N_{\text{min Test.}}$ refere-se aos valores da testemunha (ou seja, do N mineral proveniente do solo), no mesmo período considerado.

O percentual de nitrogênio mineralizado no solo é um tipo de parâmetro tomado como referência a partir de vários trabalhos com incubação de solos sob diferentes tipos de dejetos animais e outros resíduos orgânicos (GIACOMINI, 2005; CARGNIN, 2007; MARQUES, 2005; SISTANI et al., 2008; AZEEZ & AVERBEKE, 2010; BECHINI & MARINO, 2009; entre outros). Foram calculados dois parâmetros de mineralização relativa:

1ª) o %NDP (percentual de nitrogênio disponibilizado às plantas) representa o incremento de N mineral no solo nos tratamentos com adubos orgânicos, descontando-se o N mineral da testemunha e expresso como % do N total adicionado (orgânico + mineral):

$$NDP (\%) = (N_{min\ total} - N_{min\ testemunha}) / N_{total\ adicionado} \times 100 \quad (2)$$

2ª) o %N_{minL} (percentual de mineralização “líquida” do nitrogênio no solo) representa a contribuição para o aumento ou diminuição do N mineral no solo atribuída à mineralização da fração orgânica do adubo orgânico:

$$\%N_{minL} = (\Delta N_{min\ AO} - \Delta N_{min\ Test}) / N_{orgânico\ adicionado} \times 100 \quad (3)$$

, sendo que a expressão $(\Delta N_{min\ AO} - \Delta N_{min\ Test})$ é o mesmo valor de mineralização líquida ou ΔN_{min} obtido pela equação (1).

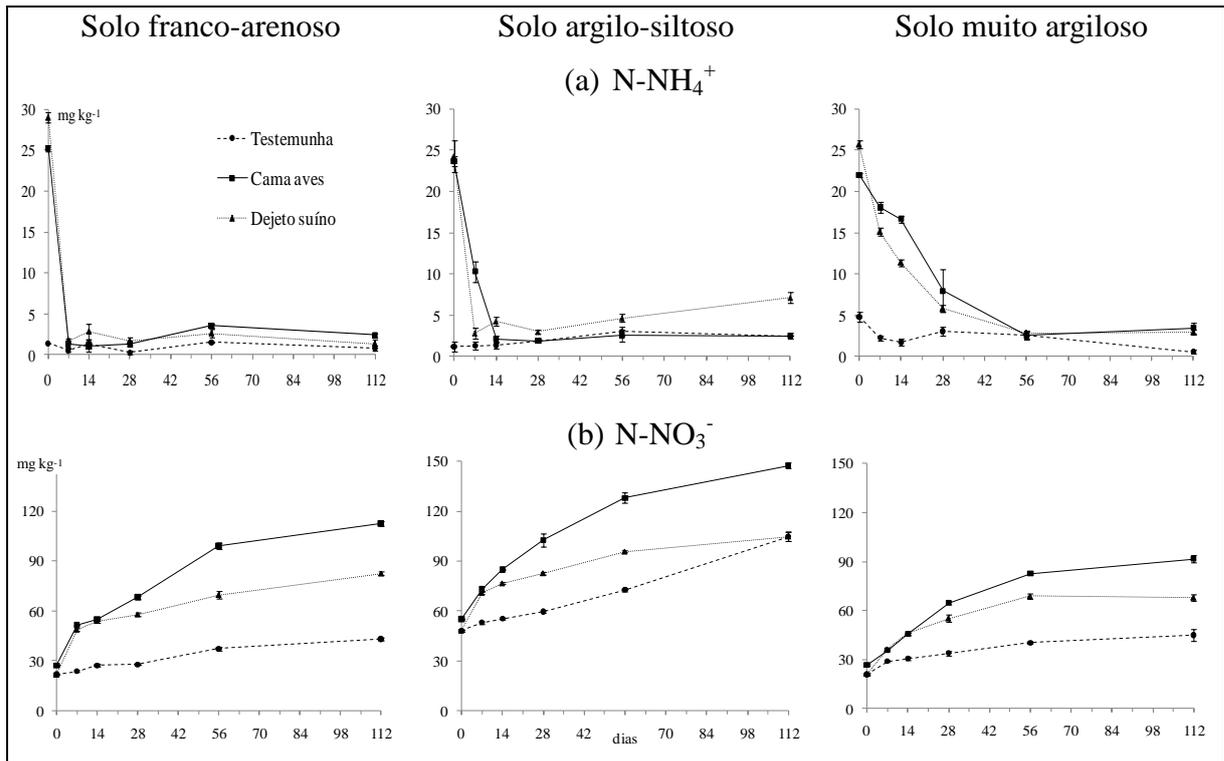
Tanto %NDP como %N_{minL} são variáveis relacionadas à quantidade de N aplicado que ajudam explicar o efeito das diferenças de composição dos os adubos orgânicos (Bechini & Marino, 2009). Através deles, pode-se ter uma idéia da contribuição das formas de N adicionadas através dos adubos orgânicos ao longo da incubação (N amoniacal e orgânico, basicamente), assim como a capacidade de cada solo em também disponibilizar N mineral ao sistema solo-planta. Esses dados podem servir para analisar o índice de eficiência de liberação de nutrientes (IELN) do nitrogênio de cada adubo orgânico preconizado pela CQFS RS-SC (2004) e sua relação frente aos diferentes tipos de solo empregados.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das determinações e da dinâmica do amônio e do nitrato são apresentados na Figuras 2 e 3 adiante. Na figura 2a, observa-se em todos os tratamentos com os adubos orgânicos (cama de aves e dejetos líquido suíno) que houve forte imobilização inicial do amônio (N-NH₄⁺), exceto na testemunha onde os valores se mantiveram baixos e estáveis até o fim da incubação. O decréscimo de amônio foi mais intenso no solo franco-arenoso, onde os valores mínimos foram atingidos em até 7 dias de incubação, enquanto no solo argilo-siltoso o processo se deu com menor intensidade (entre 7 a 14 dias). Por sua vez o

solo muito argiloso tornou a imobilização microbiana muito mais lenta: o nível de N-NH_4^+ estabilizou-se somente próximo dos 56 dias, independente de ter sido adicionado dejetos líquido suíno ou cama de aves de corte.



Obs.: o valor de N-NO_3^- (b) no solo argilo-siltoso, na testemunha, aos 112 dias, é considerado anormal.

Figura 2 - Evolução do teor de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- , em mg kg^{-1} solo⁻¹ (eixo Y) durante o período de incubação de 0 – 112 dias (eixo X) com três solos com e sem adubos orgânicos. Santa Maria-RS, 2009.

Pode-se comparar a quantidade de N-NH_4^+ adicionada por cada dejetos (32 e 47 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ para cama e dejetos, respectivamente, conforme a tabela 4) com a amplitude média da imobilização nos tratamentos (de 20 a 23 mg kg^{-1} de amônio, em média, conforme tabela 5). Ou seja, houve imobilização de uma parcela do N mineral adicionado diretamente através dos materiais orgânicos, a qual foi maior em relação à cama do que ao dejetos. Segundo Sørensen (2001), enquanto as formas orgânicas podem ser parcialmente mineralizadas e armazenadas no solo por períodos de duração variável, o amônio pode ser absorvido pelas plantas, volatilizado, fixado pelos colóides e nitrificado. Enquanto os dois primeiros processos não ocorrem na incubação, os dois últimos aconteceram em ritmo diferenciado conforme o tipo de solo e de adubo orgânico adicionado na incubação.

O nível de nitrato (N-NO_3^-) foi alto já no tempo zero em todos os solos, com ou sem adição de adubos orgânicos (figura 2b), devido aos solos terem sido armazenados durante 38 dias antes do início da incubação propriamente dita. Em outros estudos foi relatado fato semelhante (CALDERÓN et al., 2005), sendo que no solo argilo-siltoso o nível inicial de nitrato foi praticamente o dobro dos outros dois devido ao maior conteúdo de matéria orgânica e de N mineral nativo neste solo (tabela 3).

Também se observou que durante a incubação o nível de N-NO_3^- aumentou rapidamente em todos os solos, mas em diferentes taxas. Pela inclinação das retas, constata-se que houve maior intensidade do processo de nitrificação no solo arenoso e siltoso em comparação com o muito argiloso. No solo arenoso, por exemplo, o saldo da nitrificação no final da incubação foi de 85 e 61 mg kg^{-1} de N-NO_3^- para a cama e o dejetos, respectivamente; já no solo muito argiloso, este valor caiu para 65 e 47 mg kg^{-1} , respectivamente, sendo que no início a diferença foi mais acentuada. Explicam-se esses valores no solo arenoso pela menor proteção físico-química dos colóides no solo, em função de seu baixo conteúdo de argila (238 g kg^{-1}) frente ao solo muito-argiloso (605 mg kg^{-1}). Neste solo, aliás, a própria imobilização amoniacal já tinha sido bem mais lenta (56 dias), independente do tipo de adubo orgânico.

Quanto ao efeito do tipo de dejetos na nitrificação, constatou-se que no início ela ocorreu em ritmos similares para ambos, mas a partir dos 14 dias os níveis de nitrato passaram a ser significativamente maiores nos tratamentos com cama de aves de corte (a exemplo do estudo de SISTANI et al., 2008). Pode-se inferir que no início a nitrificação se deu principalmente a partir do N mineral adicionado, principalmente o amônio, sendo que foram adicionados 32,1 e 47,5 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ através da cama e do dejetos, respectivamente. Porém, mais tarde, a maior quantidade de nitrogênio total adicionado através da cama de aves (216 mg kg^{-1}) em relação ao dejetos (97 mg kg^{-1}) resultou em maior mineralização/nitrificação da fração orgânica. Esta conclusão contraria uma das conclusões de Bechini & Marino (2009), que atribuíram ao teor de amônio a fonte de N mineralizado a curto prazo em três solos sob aplicação de diversas amostras de dejetos líquidos bovinos.

Estes resultados confirmam que o conteúdo de argila ou a “reatividade” do solo realmente impacta tanto na proteção inicial do N-NH_4^+ ao ataque microbiano, como também no processo de nitrificação, tornando-a possivelmente mais sincronizada com o ritmo de absorção do nitrogênio pelas culturas.

Os outros parâmetros relacionados ao total mineralizado foram úteis na análise da dinâmica do N nos solos. A mineralização líquida ($\Delta\text{N}_{\text{min}}^{\text{L}}$) foi negativa nos primeiros dias em todos os solos e para ambos os adubos orgânicos, denotando predomínio da imobilização do

amônio sobre sua mineralização (ver tabela 5 e figura 3). Até o período entre 7 a 14 dias, a imobilização foi significativa e em geral maior que a nitrificação em todos os solos. Depois deste período, quando praticamente todo o amônio imobilizado já havia sido nitrificado, o processo de nitrificação prosseguiu crescendo até o final, significando que uma parte da fração orgânica do N dos adubos orgânicos já estava sendo mineralizada. A mineralização líquida, por isso, passou a assumir valores positivos até o final da incubação, porém em intensidades bem diferenciadas para entre os solos e, principalmente, entre a cama de aves e o dejetos suíno.

Na figura 3 a seguir é possível visualizar melhor as diferenças de mineralização líquida do N nos solos franco-arenoso e muito argiloso:

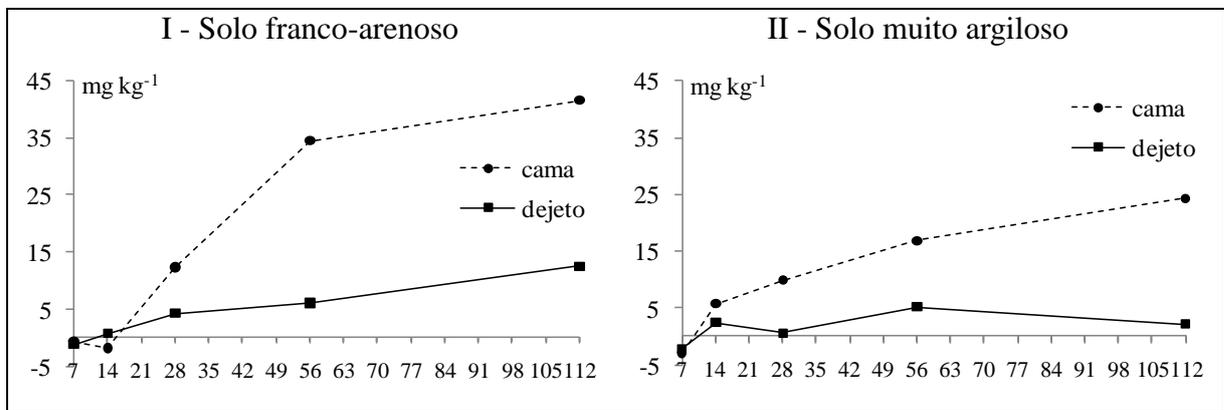


Figura 3 - Evolução da mineralização líquida do nitrogênio no solo ($\Delta N_{\min L}$) durante a incubação por 112 dias de dois solos com cama de aves e dejetos suíno. Santa Maria-RS, 2009.

Observa-se primeiramente o efeito do tipo de adubo orgânico (cama e dejetos) sobre a mineralização líquida nos solos. A mineralização foi significativamente maior nos tratamentos com cama de aves em comparação ao dejetos suíno, especialmente após os 14 dias de incubação sob a aplicação de cama. Este saldo positivo se deveu aos maiores níveis de nitrato que foram se formando em todos os solos após a adição da cama de aves, o que pode ser atribuído ao maior nível de N total e orgânico adicionados com este adubo orgânico. Já com a adição de dejetos líquidos de suínos, a mineralização líquida se manteve praticamente estável no solo muito argiloso. Porém, no solo franco-arenoso ela teve um certo crescimento até o fim da incubação. Matematicamente, no solo arenoso, a contribuição do dejetos no saldo final de N mineral (amônio + nitrato) foi maior que na testemunha ($+ 12 \text{ mg kg}^{-1}$), o que não aconteceu no solo muito argiloso (apenas $+ 2 \text{ mg kg}^{-1}$) e menos ainda no argilo-siltoso ($- 19 \text{ mg kg}^{-1}$).

Quanto ao efeito do tipo de solo na mineralização líquida do N, o solo arenoso alcançou os maiores valores independente do tipo de adubo orgânico adicionado. A principal razão para isso ter ocorrido é que neste solo a contribuição do N mineral sem adição de adubos orgânicos (testemunha) foi bem menor em relação aos demais. Ao contrário, no solo argilo-siltoso, o N mineral na testemunha foi bem mais alto devido ao maior teor de matéria orgânica e de N mineral nativo, conforme pode ser observado na tabela 3. Porém foi no solo muito argiloso em que a diminuição da mineralização líquida foi mais pronunciada, o que está certamente relacionado à maior reatividade deste solo relacionada à sua fração coloidal. O maior teor de argila no solo teve maior impacto na mineralização do N com a adição de cama de aves, onde a quantidade de N total adicionada foi mais que o dobro do dejetos suíno. Então, esta maior área superficial específica pode ser considerada um atributo importante destes solos mais argilosos, o que resulta na redução do potencial de perdas de N. Especialmente quando da aplicação de adubos orgânicos em altas doses, ou com muito N prontamente disponível, ou em aplicações em pré-plantio, até mesmo no caso de adubos minerais.

Este balanço entre a imobilização microbiana e a nitrificação do amônio constitui-se numa das maiores preocupações no ajuste das recomendações de adubação com fontes orgânicas. Neste sentido, são sugeridas medidas para aumentar a imobilização de N pela biomassa microbiana e diminuir a nitrificação dos dejetos. Entre elas, o uso de inibidores de nitrificação e a aplicação parcelada dos dejetos em pelo menos duas vezes, sobre os restos de cultura ou plantas de cobertura (FRANCHI, 2001; GIACOMINI & AITA, 2006). Porém, nem sempre é possível ao agricultor deixar de revolver o solo pela natureza da sua atividade e/ou tecnologia disponível, como ocorre em cultivos importantes como a batata, a maioria das hortaliças, o algodão, a cana-de-açúcar e na implantação de muitas pastagens anuais.

Um caso típico de possibilidade de aplicação destas informações sobre a dinâmica do N é o cultivo de batata. Neste a emergência completa das plantas pode demorar de 10 a 15 dias no plantio de verão até 25 a 35 dias no inverno, mas o período de máxima absorção do N ocorre em torno de 30 dias após. Então seria logicamente mais adequado aplicar uma parte do nitrogênio no plantio e outra em cobertura, tanto utilizando adubos orgânicos ou minerais ⁴, especialmente quando se tem solos arenosos a franco-arenosos para o plantio (YORINORI, 2003; PAULA, 2005; FIOREZE, 2005).

⁴ Segundo informações obtidas junto à EMATER-RS, os produtores da região Central do Rio Grande do Sul utilizam entre 2 a 4 Mg ha⁻¹ de adubos minerais no plantio de batata (fórmulas 4-14-8, 7-11-9 e 5-20-20) e mais 200 a 300 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura (35 a 50 dias após o plantio).

Por fim, são apresentados os resultados das variáveis relacionadas à percentagem (%) de mineralização do N orgânico adicionado (tabela 5 e figura 4), visando complementar o entendimento da dinâmica do N na incubação e comparar com um dos principais parâmetros utilizados pela CQFS RS-SC (2004) para a adubação orgânica.

Dentre estes parâmetros, o índice de eficiência de liberação do nitrogênio (IELN) prevê a liberação ou disponibilização que 50% do N total adicionado pela cama de aves de corte e de 80% do N adicionado através dos dejetos líquidos suínos.

Sabe-se que o IELN é calculado em relação ao resultado de produtividade a campo (máxima eficiência econômica), onde não se quantifica qual a origem do nutriente absorvido pelos cultivos, i. é, se veio do fertilizante adicionado ou do próprio solo. No entanto, os dois índices calculados neste estudo, o teor de nitrogênio disponível às plantas (%NDP) e o percentual de mineralização líquida (%N_{min}L), onde se desconta a contribuição do próprio solo (testemunha), mostram potenciais de eficiência de liberação bastante diferentes em relação ao IELN. Na figura 4 a seguir se visualiza melhor a diferença entre os valores % NDP para os três solos franco-arenoso e muito argiloso com ambos adubos orgânicos adicionados.

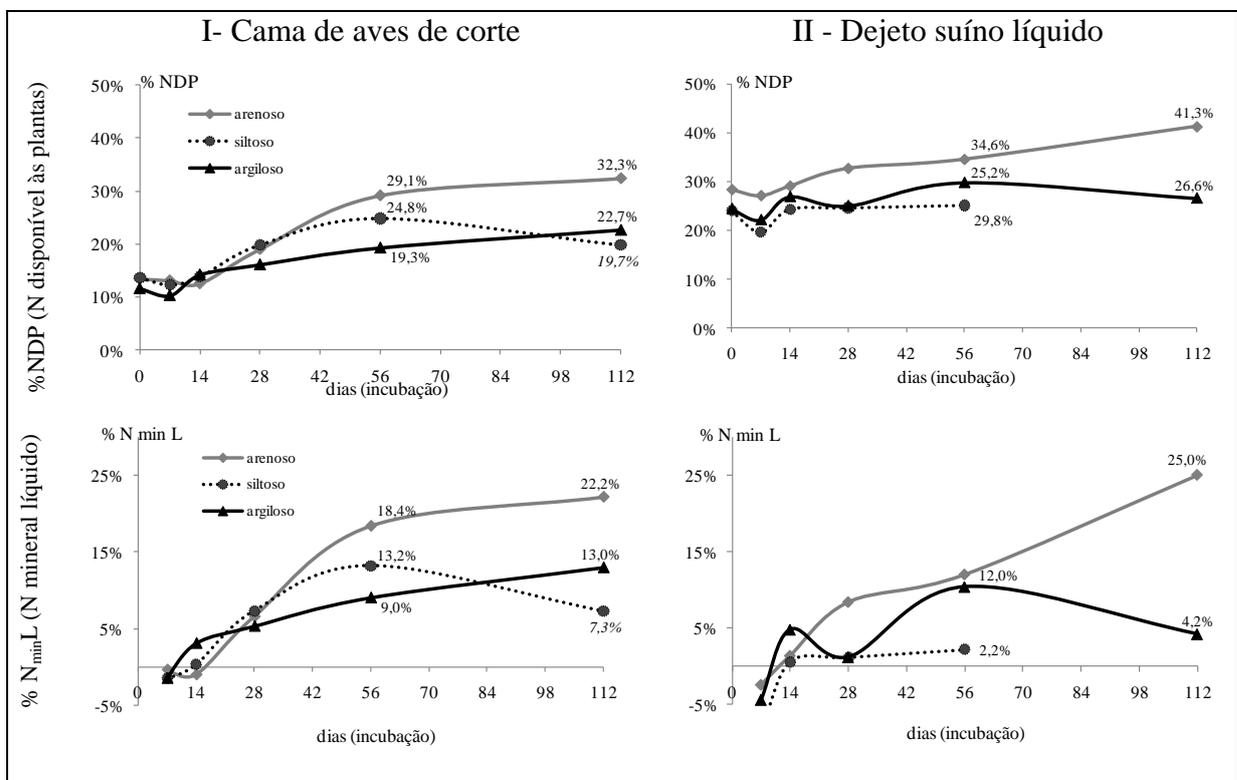


Figura 4 - Evolução da porcentagem de nitrogênio disponível (% NDP) e de mineralização líquida (%N_{min}L) durante incubação de dois solos com cama de aves. Santa Maria-RS, 2009.

Observa-se que ao final dos 56 dias de incubação com cama de aves, período onde ocorre consumo de grande parte do N requerido pela maioria das culturas (AZEEZ & AVERBEKE, 2010), os resultados mostram que o valor de %NDP variou entre 29,1% (solo franco-arenoso), 24,8% (solo argilo-siltoso) e 19,3% (solo muito argiloso). No caso dos dejetos líquidos de suínos, o valor de %NDP foi um pouco maior: 34,6% (solo franco-arenoso), 25,2% (solo argilo-siltoso) e 29,8% (solo muito argiloso). Já aos 112 dias, ou seja, no final da incubação ⁵, o valor de %NDP com cama de aves foi de 32,3% (solo arenoso), 19,7% (siltoso) e 22,7% (muito argiloso), enquanto que para o dejetos líquido de suínos, chegou-se a 41,3%, 4%⁶ e 26,6%, respectivamente.

Fica evidenciado então que os valores de %NDP calculados neste estudo ficaram bem abaixo dos valores de IELN que constam no Manual de Adubação e de Calagem da CQFS RS-SC (2004). No caso da cama de aves, para a qual o índice recomendado é 50%, os valores mais próximos ocorreram no solo arenoso (32,3%) e somente ao final dos 112 dias de incubação. No caso dos dejetos suínos, os 41,3% obtidos no solo arenoso no final da incubação alcançaram à metade do IELN preconizado oficialmente (80%).

Cabe lembrar que o %NDP aponta para a contribuição da fração orgânica e mineral do nitrogênio adicionado pelos adubos orgânicos. A título de exercício, no mesmo solo arenoso e com cama de aves, tem-se um saldo de N mineral no final da incubação de 71 mg kg⁻¹, mediante um cálculo simples de diferença dos valores no tempo 0 e 112 dias (tabela 5). Porém, foram adicionados no início da incubação 32 e 47 mg kg⁻¹ de NH₄⁺ pela cama e pelo dejetos (tabela 5). Então se chega a uma significativa diferença entre o N mineralizado e o N adicionado (39 mg kg⁻¹ no caso da cama). Esta diferença se deve em parte à capacidade do próprio solo arenoso fornecer N mineral após o início da incubação (21 mg kg⁻¹) e, por outro lado, à mineralização parcial da fração orgânica adicionada (ou seja: 39 – 21 = 18 mg kg⁻¹). Já no caso do dejetos, pode-se dizer que praticamente todo o %NDP foi originado da própria fração amoniacal adicionada, mas não se pode descartar a possibilidade de ter havido perdas de nitrogênio por desnitrificação ao longo da incubação (segundo Cargnin, 2007, em solos sob dejetos suínos, estas perdas podem chegar a 30% do N aplicado).

⁵ O IELN não especifica em que período o nutriente deve ficar disponível ao longo do ciclo de cultivo (CQFS RS-SC, 2004), dependendo-se que é ao longo de todo ciclo.

⁶ Cabe registrar que os valores determinados no solo argilo-siltoso em geral foram destoantes da expectativa (em tese, deveriam ser intermediários entre o solo arenoso e argiloso) devido ao valor elevado do N mineral (nitrato) no tratamento testemunha no final da incubação. Isso ocorreu provavelmente devido ao maior teor de matéria orgânica neste solo (ver tabela 3).

Tabela 5 – Produção de N mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻), mineralização líquida (ΔN_{\min}), em mg kg⁻¹ solo, % de mineralização líquida (%Nmin^L) e de N disponível às plantas (%NDP), durante a incubação com e sem adubos orgânicos nos três solos. Santa Maria-RS, 2009.

Tempo	Fonte de adubação	Solo franco-arenoso					Solo argilo-siltoso					Solo muito-argiloso				
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	ΔN_{\min}	%Nmin ^L	%NDP	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	ΔN_{\min}	%Nmin ^L	%NDP	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	ΔN_{\min}	%Nmin ^L	%NDP
0 dias	Testemunha	1,4 Bc	21,8 Bb	-	-	-	1,2 Bb	48,2 Ab	-	-	-	4,8 Ab	20,8 Bb	-	-	-
	Cama	25,3 Ab	27,2 Ba	-	-	13,4%	23,7 Ba	55,2 Aa	-	-	13,5%	22,0 Cb	26,6 Ba	-	-	11,6%
	Dejeto	29,0 Aa	21,6 Bb	-	-	28,4%	24,3 Ba	48,1 Ab	-	-	24,0%	25,7 Ba	21,1 Bb	-	-	24,4%
7 dias	Testemunha	0,6 Cb	23,7 Cc	-	-	-	1,3 Bc	53,0 Ab	-	-	-	2,3 Ac	28,9 Bb	-	-	-
	Cama	1,3 Ca	51,6 Ba	- 0,7	-0,4%	13,0%	10,3 Ba	73,0 Aa	- 2,9	-1,5%	12,2%	18,1 Aa	35,6 Ca	- 2,9	-1,5%	10,3%
	Dejeto	1,8 Ba	48,7 Bb	- 1,2	-2,4%	27,1%	2,8 Bb	70,9 Aa	- 4,2	-8,4%	19,7%	15,1 Ab	36,3 Ca	- 2,2	-4,4%	22,2%
14 dias	Testemunha	1,4 Ab	27,3 Cb	-	-	-	1,4 Ac	55,2 Ac	-	-	-	1,7 Ac	30,5 Bb	-	-	-
	Cama	1,0 Cb	55,1 Ba	- 1,9	-1,0%	12,5%	2,1 Bb	84,9 Aa	0,5	0,3%	13,8%	16,7 Aa	45,7 Ca	5,7	3,0%	14,2%
	Dejeto	2,9 Ca	54,0 Ba	0,7	1,4%	29,1%	4,3 Ba	76,6 Ab	0,3	0,6%	24,3%	11,4 Ab	45,8 Ca	2,4	4,8%	26,9%
28 dias	Testemunha	0,3 Cb	27,7 Cc	-	-	-	1,9 Bb	59,6 Ac	-	-	-	3,1 Ac	33,9 Bc	-	-	-
	Cama	1,3 Ba	68,3 Ba	12,3	6,6%	19,0%	1,9 Bb	102,6 Aa	13,7	7,3%	19,8%	7,9 Aa	64,8 Ba	9,9	5,3%	16,1%
	Dejeto	1,7 Ca	57,9 Bb	4,2	8,4%	32,7%	3,0 Ba	82,7 Ab	0,6	1,2%	24,7%	5,8 Ab	55,2 Bb	0,6	1,2%	25,1%
56 dias	Testemunha	1,5 Bc	37,2 Cc	-	-	-	3,0 Ab	72,6 Ac	-	-	-	2,6 Aa	40,3 Bc	-	-	-
	Cama	3,5 Aa	99,1 Ba	34,5	18,4%	29,1%	2,5 Bb	128,0 Aa	24,7	13,2%	24,8%	2,5 Ba	82,7 Ca	16,9	9,0%	19,3%
	Dejeto	2,6 Bb	69,6 Bb	6,0	12,0%	34,6%	4,7 Aa	95,7 Ab	1,1	2,2%	25,2%	2,8 Ba	68,9 Bb	5,2	10,4%	29,8%
112 dias	Testemunha	0,8 Bb	43,1 Bc	-	-	-	2,5 Ab	104,8 Ab	-	-	-	0,6 Bb	44,9 Bc	-	-	-
	Cama	2,4 Ba	112,5 Ba	41,6	22,2%	32,3%	2,5 Bb	147,5 Aa	<i>13,6</i>	<i>7,3%</i>	<i>19,7%</i>	3,4 Aa	91,6 Ca	24,3	13,0%	22,7%
	Dejeto	1,4 Cb	82,5 Bb	12,5	25,0%	41,3%	7,1 Aa	104,8 Ab	- <i>19,7</i>	- <i>-39,4%</i>	<i>3,6%</i>	2,9 Ba	68,1 Cb	2,1	4,2%	26,6%

OBSERVAÇÕES:

As médias de N-NH₄⁺ e N-NO₃ foram comparadas entre si em cada tempo, sendo nas linhas pelas letras maiúsculas; nas colunas, em cada solo, pelas letras minúsculas. Foi empregado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os dados em *italico* no tempo 112 dias do solo argilo-siltoso foram considerados anormais porque os valores de N mineral da Testemunha ficaram muito acima da tendência para este tempo da incubação.

Ao se observar o valor de mineralização líquida do nitrogênio nos solos ($\%N_{\min}^L$), pode-se ter uma idéia da contribuição somente da fração orgânica dos dejetos adicionados. Aos 56 dias de incubação com a cama de aves, por exemplo, os valores de $\%N_{\min}^L$ foram de apenas 9%, 13,2% e 18,4% para os solos argiloso, siltoso e arenoso respectivamente. No caso do dejetos suíno, os valores foram igualmente baixos, porém mais oscilantes. Mas, não houve diferenças importantes entre os adubos orgânicos em relação à $\%N_{\min}^L$.

Enfim, se é desejável ter uma avaliação do efeito real de um determinado dejetos adicionado ao solo, dever-se-ia levar em conta a composição do adubo orgânico (especialmente da fração amoniacal) e a potencial contribuição do tipo de solo na mineralização líquida. Porém, somente com técnicas de enriquecimento do N amoniacal dos dejetos com o isótopo ^{15}N se poderia dimensionar a intensidade das transformações do N destes materiais orgânicos no solo (HUTCHISON & WALWORTH, 2007). Desde já, porém, infere-se que as diferenças entre o IELN e os parâmetros deste estudo alertam para a necessidade de aperfeiçoar a recomendação da adubação orgânica.

1.4 CONCLUSÕES

O tipo de solo afeta a imobilização do amônio e a nitrificação no solo após a adição de adubos orgânicos. Solos com maior % argila retardaram estes processos, independente do adubo orgânico adicionado, diminuindo assim o potencial poluente do nitrogênio no solo.

A mineralização líquida do nitrogênio foi maior no solo arenoso devido à menor proteção físico-química relacionada ao seu menor conteúdo de argila. Esta variável também foi maior com a adição de cama de aves de corte, mas em função quantidade de N total adicionado ter sido bem maior em relação ao dejetos líquido de suínos.

Os índices de eficiência de liberação do nitrogênio (IELN) da CQFS RS-SC (2004) estão bastante superestimados para os adubos orgânicos testados frente às variáveis $\%NDP$ (nitrogênio mineral disponível) e $\%N_{\min}^L$ (nitrogênio mineralizado líquido), o que pode levar à depleção da matéria orgânica do solo a longo prazo.

Com base nos resultados obtidos, ratifica-se a recomendação de vários autores para que a adição de N seja parcelada quando se usa estes adubos orgânicos ou similares, evitando a excessiva disponibilidade de nitrato no início dos cultivos, especialmente em solos arenosos.

Por fim, os resultados apontam a necessidade de realizar mais estudos para que o tipo de solo (textura) seja uma variável para calibrar parâmetros de recomendação do suprimento de N em solos com adubação orgânica.

CAPÍTULO 2

Eficiência e ciclagem de nutrientes com adubação orgânica e mineral em diferentes épocas de cultivos

RESUMO

O fornecimento eficiente de nutrientes via ciclagem de resíduos orgânicos é fundamental para o aumento da produtividade e a sustentabilidade da agricultura. Dentre os parâmetros utilizados para a adubação orgânica um dos mais dinâmicos é o índice de eficiência de liberação dos nutrientes- IELN (CQFS RS-SC, 2004). O IELN, porém, possui valores associados essencialmente ao tipo de resíduo, sem considerar especificamente outros fatores que afetam a mineralização, como as condições climáticas e a textura do solo, entre outros. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência produtiva e de ciclagem de nutrientes de fontes orgânicas (dejetos líquido suíno e cama de aves de corte) em sistemas de sucessão de cultivos implantados com a cultura da batata em distintas épocas de cultivo: de verão e de inverno. Foram avaliados o efeito imediato na batata e o efeito residual em dois cultivos em sucessão à mesma: trigo/milho (verão) e feijão/aveia (inverno). Determinou-se a produtividade de tubérculos e grãos, o acúmulo de matéria seca e a ciclagem de nutrientes (N, P e K). Foram calculadas a eficiência dos adubos orgânicos em relação ao mineral, bem como os índices de recuperação aparente de N, P e K (IRAN) e o índice de colheita (IC) dos tratamentos. Paralelamente a todos cultivos, implantou-se experimentos de resposta a doses crescentes de N mineral (0, 33, 67, 100, 133 e 167% do N recomendado), no intuito de calcular a máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE) nas condições reais dos experimentos nos municípios de São Martinho da Serra-RS (2007-2008) e Silveira Martins-RS (2008-2009). O solo era de textura silto-argilosa e os tratamentos principais foram um bifatorial adubação (cama de aves, dejetos suíno, adubo mineral e testemunha) X épocas de implantação dos sistemas de cultivo (verão e inverno). Os resultados apresentaram o predomínio das diferenças nas épocas de aplicação sobre as épocas de cultivo. No cultivo de verão, o efeito imediato na batata foi igual com adubo mineral, cama e dejetos, sendo que os adubos orgânicos apresentaram 22 a 29% mais eficácia no fornecimento de N em relação à fonte mineral (uréia), comparando a recomendação da CQFS, a MET e a MEE, mas sem aumento da produtividade. No inverno, o adubo mineral foi significativamente superior às fontes orgânicas na produtividade, as quais, sob temperaturas em média 10°C mais baixas, foram 10% a 20% menos eficientes no suprimento de N. A recuperação de nutrientes foi superior no adubo mineral no inverno, especialmente o IRAN do N (33%) e do K(45%), enquanto que no caso do P e no cultivo de verão não houve diferenças importantes entre as fontes orgânicas e mineral. Quanto ao efeito residual, no segundo cultivo a cama teve efeito residual menor que o dejetos no sistema de verão, mas ambos foram iguais no sistema de inverno. Isto contrariou as expectativas, visto que o IELN do N (CQFS RS-SC, 2004) no segundo cultivo deveria ser de 20% para a cama e 0% para o dejetos. Foi só no terceiro cultivo, onde o residual esperado de N para a cama era de 10%, que a cama superou o dejetos e o adubo mineral na produção de matéria seca de milho (cultivo de verão) e de aveia preta (inverno). Em relação ao índice de colheita da batata (IC), não houve diferenças entre os tratamentos (79% a 81%); também os dados de acúmulo de matéria seca e de N e K na batata já apontavam para os resultados de produtividade obtidos na colheita, sendo que o P não diferiu entre as fontes de adubação. Conclui-se que o fator condição climática afetou a eficiência de disponibilização de nutrientes, notadamente o N, tanto no

primeiro como no segundo cultivos. Houve redução de eficiência no sistema de cultivo de inverno, representada pela produtividade de tubérculos/grãos/matéria seca e ciclagem de N e K, apontando a necessidade de aumentar as doses de ambos os adubos orgânicos testados. Estes resultados reforçam a necessidade de estudos que levem em conta o efeito do fator época de cultivo (condição climática) sobre a mineralização e liberação de nutrientes nos solos com aplicação de adubos orgânicos.

Palavras chave: condição climática, mineralização, recuperação de nutrientes, adubação orgânica, batata, cama de aves, dejetos suíno.

CHAPTER 2

Efficiency and cycling of nutrient with organic and mineral fertilization in different cropping dates

RESUMO

Providing efficient nutrient cycling via organic waste is key to increasing productivity and sustainability of agriculture. Among the parameters used for organic manure is one of the most dynamic is the index of the efficiency release of nutrients-IELN (CQFS RS-SC, 2004). The IELN, however, has values associated mainly to the type of waste, without considering other factors that specifically affects the mineralization, such as climatic conditions and soil texture, among others. The aim of this study was to evaluate the productive efficiency and the nutrient cycling of the organic sources (pig slurry and chicken litter) in succession cropping systems deployed with the potato crop in different cropping seasons: “summer” and “winter”. We evaluated the immediate effect in potato crops and the residual effect in two crops in her succession: wheat/maize (summer) and bean/oats (winter). Was determined the productivity of tubers and grains, dry matter accumulation and cycling of nutrients (N, P and K). We calculated the efficiency of organic fertilizers in relation to the mineral add, as well as the indices of apparent recovery of N, P and K (IRAN) and harvest index (IC). Parallel to all crops, experiments was implemented in response to increasing doses of mineral N (0, 33, 67, 100, 133 and 167% of recommended N) in order to calculate the maximum efficient technical (MET) and economic (MEE) in the real conditions of the experiments in São Martinho da Serra, RS (2007-2008) and Silveira Martins-RS (2008-2009). The soil has silty-clay texture and the treatments were a factorial fertilizer (chicken litter, pig slurry, mineral fertilizer and control) *versus* times of implantation of the systems of crops (summer and winter). The results showed the predominance of dates of application over the organic source type. In the summer, the immediate effect in potato was the same with mineral fertilizer, pig slurry and poultry litter. The organic fertilizers were 22-29% more effective in supplying N in relation to the mineral source (urea) compared to the recommendation of CQFS, MET and MEE, but without increasing productivity. In winter, mineral fertilizer was significantly higher than the organic sources in productivity, whereas, at temperatures average 10 ° C lower, were 10% to 20% less efficient in N supply. The recovery of nutrients was higher in mineral in the winter, especially the IRAN of N (33%) and K (45%), whereas in the case of P and the cultivation of summer there were no significant differences between organic and mineral sources. As for the residual effect, the second crop the chicken bed had a residual effect smaller than the manure in summer, but both were equal in winter system. This contradicted the expectations, since the IELN-N in the second crop should be 20% for bed and 0% for waste. But it was only the third crop, where the expected residual N to bed was 10%, which the bed surpassed pig slurry and mineral fertilizer on dry matter production of maize (summer) and oats (winter). About to the potato harvest index (IC) did not differ between treatments (79% to 81%). The data for dry matter accumulation and N and K in potato has pointed to the results obtained in productivity harvest, and the P did not differ among nutrient sources. We conclude that the factor climate condition have affected the efficiency of release nutrients, especially N in the first and second crops. There was a reduction of efficiency in winter system, indicating the need to increase doses of both organic fertilizers tested. These findings reinforce the need for studies that take into account the effect of factor growing season (climate condition) on the mineralization and nutrient release in soils with application of organic fertilizers.

Keywords: climatic conditions, mineralization, recovery of nutrients, organic manure, potato fertilization, chicken litter, swine manure.

2.1 INTRODUÇÃO

O fornecimento eficaz de nutrientes via ciclagem de resíduos orgânicos é fundamental para o aumento da produtividade e redução dos custos de produção, assumindo importância na sustentabilidade da agricultura.

Vários fatores concorrem para isso, principalmente as condições climáticas, de solo e das plantas e suas interações, as quais afetam a absorção e a utilização de nutrientes pelas plantas. Para a eficiência máxima de nutrientes, esses fatores que compõem um sistema de produção devem estar no nível considerado ótimo durante o desenvolvimento da cultura. A literatura mostra que existe grande potencial de se aumentar a eficiência dos nutrientes através do manejo adequado dos componentes do sistema de produção. Em termos gerais, eficiência de recuperação de nutrientes pelas culturas anuais é muito baixa: em média a eficiência de N é de 50%, de P de 10% e de K de 40%. Esta eficiência nutricional ou de absorção pode ser expressa e calculada por diversas maneiras diferentes, como a eficiência agrônômica, fisiológica, de produção de grãos, de recuperação e de utilização (FAGERIA, 1998).

Teoricamente, a eficiência nutricional sofre redução com a sucessiva adição em níveis crescentes de um nutriente, devido à diminuição relativa da produção. Por isso, deve-se tomar cuidado na interpretação de resultados de eficiência nutricional, apesar da produtividade ser um dos melhores parâmetros para avaliação de cultivos em experimentos de campo. Com a adoção de práticas apropriadas de manejo do solo e da cultura, pode-se não só aumentar a produtividade, mas principalmente a eficiência nutricional, energética e ambiental dos sistemas produtivos.

Especificamente em relação ao nitrogênio, dada a sua alta mobilidade no solo, tem-se procurado diminuir as perdas especialmente por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e/ou emissão gases como o óxido nitroso (ANGHINONI, 1985). Dentre as inúmeras práticas citadas por Fageria (1998), pode-se relacionar algumas pela sua relação com o objeto deste estudo (adubação orgânica): fornecimento de N no estágio apropriado da cultura e em quantidade adequada; manutenção do teor de matéria orgânica em nível adequado no solo; reciclagem de nutrientes via restos culturais, adubos verdes ou dejetos animais.

No caso do fósforo, a melhor época de aplicação dos fertilizantes fosfatados continua sendo no momento da semeadura: se antecipada há perda de produtividade, pois a energia de ligação do fosfato aos grupos funcionais do solo aumenta com o tempo e, conseqüentemente, diminui a disponibilidade às plantas. Adicionalmente, a forma inadequada de aplicação de

fosfatos no solo sob sistema plantio direto vem acarretando aumentos exagerados de níveis deste nutriente na camada superficial do solo (RHEINHEIMER et al., 2008).

Quanto à fertilização com adubos orgânicos de origem animal ou simplesmente dejetos, a eficiência com que os nutrientes fornecidos serão absorvidos pelas culturas depende da taxa de mineralização de cada tipo de dejetos. Conforme visto na revisão bibliográfica geral da tese, sabe-se (e ainda se investiga) que a imobilização e a mineralização dos nutrientes no solo após a adição de adubos orgânicos varia em função da composição do dejetos, dos tipos de solo, das condições climáticas (principalmente temperatura e umidade), do modo de aplicação, do pH, entre outros.

A mineralização dos constituintes nitrogenados da fração orgânica libera para a solução do solo compostos na forma íons, principalmente o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). Ao mesmo tempo em que são formados, estes íons também podem ser transformados em outros compostos ou imobilizados pela biomassa microbiana ou ainda removidos do sistema solo-planta. A quantificação da taxa de mineralização do N é importante e serve para prever a disponibilidade potencial desse nutriente durante os cultivos e, com isso, programar a adubação nitrogenada. Tais cálculos podem ser obtidos em laboratório por meio de métodos químicos de extração do N potencialmente disponível às plantas, como o N total e a matéria orgânica do solo, em que pese haver limitações na extrapolação das recomendações (ANGHINONI, 1985).

Muitos trabalhos em síntese apontam o efeito de vários destes fatores: a concentração de N amoniacal e o pH constituem as principais características dos dejetos; a velocidade do vento, a temperatura, a umidade relativa do ar e a precipitação são as principais características das condições climáticas; e as principais características do solo seriam o pH, a taxa de infiltração de líquidos e o potencial de nitrificação do N aplicado (PORT et al., 2003). Em relação ao efeito do fator solo, abordou-se este assunto no Capítulo 1.

No tocante ao tipo de dejetos, Basso (2003) reviu vários trabalhos a respeito, sendo que, por exemplo, a aplicação de dejetos de suínos resultou em um significativo incremento na absorção de N pelas plantas quando comparado com a aplicação de dejetos de gado de corte e de leite, não diferindo significativamente da fonte de N mineral (sulfato de amônio). A explicação para a menor recuperação pelas plantas do nitrogênio proveniente do dejetos de bovinos seria por causa da alta relação C/N e C/ NH_4^+ do dejetos, onde a disponibilidade de amônio é menor do que no fertilizante mineral devido à imobilização microbiana, volatilização de amônia e desnitrificação do nitrato e nitrito formados no processo de mineralização do dejetos. A perda de nitrogênio por volatilização de amônia também é

favorecida pela prática usual e muitas vezes incontornável de aplicarem-se dejetos animais em um só momento e na superfície do solo (plantio direto, por exemplo). Ao passo que a fertilização mineral pode e é normalmente fracionada, sendo muitas vezes incorporada ao solo por se dispor mais facilmente de equipamentos adaptados.

Em relação ao efeito de condições climáticas, viu-se na revisão de literatura que especialmente em climas tropicais a subtropicais requer-se uma maior taxa de adição de materiais orgânicos ao solo para manter os estoques de carbono. Neste sentido, o uso de práticas como o plantio direto, o emprego de rotações com plantas de cobertura do solo ou adubos verdes e uso adequado dos dejetos/substratos de criações animais, entre outros, podem contribuir de forma importante para a qualidade do solo, especialmente em solos mais arenosos, que protegem menos sua matéria orgânica.

No entanto, praticamente não se observa considerações a respeito do impacto das condições climáticas em que se aplicam os adubos orgânicos sobre a eficiência dos nutrientes aplicados por dejetos e estrumes. Basso (2003), por exemplo, ao aplicar dejetos suínos em superfície em diferentes épocas do ano em argissolo em Santa Maria-RS, obteve valores de perdas de N por volatilização de amônia que variaram entre 14% no mês de maio e 38% em dezembro. Pode ser que isso ocorra em função de que as recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS RS-SC, 2004) para alguns cultivos, em especial as de menor interesse econômico, sejam sistematizadas sobre uma amplitude experimental não muito representativa. Ou seja, cultivos cujo calendário de cultivo não oscila muito do ponto de vista das condições climáticas (soja, trigo, arroz, milho, feijão e outras de maior expressão econômica) realmente não tendem a apresentar efeito da temperatura e umidade, por exemplo. No entanto isto não ocorre especialmente no caso da batata e de muitas plantas olerícolas, cujo plantio se dá em várias e bem distintas épocas do ano (verão e inverno). Ou ainda naqueles cultivos onde ocorrem plantios precoces e bem tardios na primavera-verão (ex.: milho e feijão da safra e da safrinha), principalmente em regiões de microclimas e de agricultura familiar.

Neste sentido, por exemplo, os dados das normais climatológicas na Região Sul do Brasil e demais zonas subtropicais em geral demonstram existir grandes variações entre épocas de plantio ou cultivo ao longo do ano, como pode ser constatado na região de abrangência da Universidade Federal de Santa Maria-RS (ver Anexo 3).

Segundo Fioreze (1997 e 2003), as propriedades fisiológicas e o dinamismo econômico muito peculiar da bataticultura, por exemplo, fazem com que os produtores plantem este tubérculo em muitas épocas do ano no Rio Grande do Sul, indo de julho a

dezembro (na chamada “safra” de inverno-primavera) e de janeiro a março (na “safrinha” de verão-outono). Ocorrem importantes variações edafoclimáticas nas zonas de plantio mais tradicionais, pois se planta batata desde os argissolos da Depressão Central e da Zona Sul, a menos de 200 m de altitude, até os latossolos da região dos Campos de Cima da Serra, a mais de 1.000 m do nível do mar.

Com a cultura da batata existem poucos experimentos sob adubação orgânica. Por exemplo, Fioreze (2005) obteve melhor resposta de batata à adubação com cama de aves de corte do que com cama de suínos, em latossolo (460 g kg⁻¹ de argila), em função da maior disponibilização de N pelo primeiro, uma vez que P e K foram supridos com sobra por ambos os adubos orgânicos. O mesmo autor obteve maior resposta usando adubação mista com superfosfato triplo (540 kg ha⁻¹) e cama de frangos (10 Mg ha⁻¹) em comparação com a adubação tradicional dos produtores de Silveira Martins-RS, mas sem diferir significativamente da adubação apenas com cama de frango ou a mineral recomendada pela CQFS RS-SC (2004). Em outro experimento em Júlio de Castilhos-RS, Fioreze (2005) não obteve diferença significativa na produtividade da batata comparando diversas fontes e dosagens (10 Mg ha⁻¹ de cama de frangos; 1,6 Mg ha⁻¹ de esterco de peru granulado; 0,8 Mg ha⁻¹ de esterco de peru granulado; 10 Mg ha⁻¹ de húmus; 2 Mg ha⁻¹ de adubo organo-mineral; 2 Mg ha⁻¹ de adubo mineral fórmula 7-11-9 + uréia 100 kg ha⁻¹). Teixeira et al. (2000), analisando resposta da batata cv. Mondial à cama de frango, concluiu que esta foi tão eficiente quanto a adubação recomendada pela análise de solo, associada ou não à mineral. Quadros (2004) realizou avaliação dos sistemas de cultivo orgânico, integrado e convencional de batata sob vários aspectos, sendo que o primeiro resultou em maior percentual de associação micorrízica e também em maior remuneração por hora trabalhada. Darolt et al. (2005), ao comparar sistema orgânico e convencional de produção de batata na região metropolitana de Curitiba-PR, concluiu que apesar de menor produtividade, a relação benefício/custo no sistema orgânico foi 50% superior ao convencional, o que gerou uma renda líquida também maior.

Em suma, foram pesquisas direcionadas a avaliar aspectos básicos e desenvolver algumas tecnologias pontualmente aplicáveis ao processo de substituição de insumos numa possível transição agroecológica de sistemas de produção de batata.

Porém, no que tange a informações básicas para o sucesso da adubação orgânica, como por exemplo, a avaliação índices de eficiência de liberação de nutrientes (IELN) apresentados pela CQFS RS-SC (2004), existem muito poucos trabalhos, não só com a batata (onde se desconhece), mas com muitos outros cultivos. O IELN representa na verdade um

percentual médio de transformação da quantidade total de um nutriente (NPK) contido no adubo orgânico e que teoricamente ficaria disponível nos três primeiros cultivos após a aplicação. Estes importantes índices foram definidos a campo comparando a eficiência de nutrientes do dejetos em relação ao efeito dos adubos minerais solúveis prontamente disponíveis às plantas (SCHERER et al., 1996), porém com uma amplitude bastante restrita de condições edafoclimáticas e de manejos culturais e do solo, como já visto.

O cálculo do IELN pode ser melhor compreendido se examinarmos alguns experimentos, como alguns empreendidos por Scherer(1996), com dejetos suíno na cultura do milho. Tomou-se os dados de produção de cada tratamento na dose recomendada de 120 kg/ha de N e calculou-se índices de eficiência agrônômica do nitrogênio do dejetos de suínos utilizando-se a seguinte equação:

$$IELN = 100 \times [(PGE-PGT)/(PGAN-PGT)] \quad (4)$$

,onde PGD é a produção de grãos com dejetos; PGAN é a produção de grãos com adubo nitrogenado; e PGT representa a produção de grãos da testemunha, ou seja, sem dejetos e sem adubo nitrogenado.

Arns (2004), por sua vez, avaliou a eficiência da cama sobreposta de suínos para fornecer N à cultura da aveia branca em duas épocas de aplicação (30 dias antes e no dia da semeadura) de uma forma um pouco diferente. Considerou o rendimento obtido com a aplicação de 30 kg de N ha⁻¹ (= 100% da recomendação de N mineral), obteve-se equação polinomial e estimou-se a quantidade de N total que deveria ser adicionada através da cama sobreposta de suínos para obter esse mesmo rendimento. Os resultados mostraram uma necessidade de 7,67 kg de N total (aplicados na forma de cama sobreposta e 30 dias antes da semeadura) para equivaler a 1 kg de N mineral. Ou seja, a eficiência fertilizante da cama sobreposta em suprir N à cultura da aveia foi de apenas 13 % (ou 15%, quando houve aplicação da cama de suínos no dia da semeadura). A referência mais próxima (cama de aves de corte), porém, possui um IELN de 50% (CQFS RS-SC, 2004), revelando potenciais problemas na extrapolação do uso deste parâmetro para a cama de suínos e outras camas que não constem na publicação oficial.

Enfim, é desejável que este índice seja obtido com a maior base experimental possível, referenciando-se à dose de N correspondente à máxima eficiência técnica (MET) ou, se possível, à máxima eficiência econômica (MEE). Esta, aliás, é a base “filosófica” para o

sistema de recomendação oficial de adubação e de calagem no RS e SC, mas estes indicadores variam com as condições edafoclimáticas e também com os parâmetros financeiros (preços dos insumos e serviços agropecuários). Em média, o citado Manual vem considerando os seguintes índices de eficiência de liberação dos nutrientes: no primeiro cultivo, de 50% do N, 60% do P e 100% do K para os resíduos orgânicos sólidos e 80% do N, 80% do P e 100% do K nos dejetos líquidos. Outros 20% do N e 30% do P dos resíduos sólidos e 20% do P dos resíduos líquidos ficariam disponíveis no segundo cultivo. No terceiro cultivo, somente os resíduos sólidos com uma menor taxa de mineralização ainda seriam capazes de liberar cerca de 10% do N e do P para as plantas.

Outros indicadores muitas vezes utilizados para estudos de eficiência de fertilizantes e resíduos orgânicos são o índice de recuperação aparente dos nutrientes (IRAN) e o índice de colheita (IC).

O IRAN é um parâmetro auxiliar para avaliar a intensidade com que se deu acumulação e a partição dos nutrientes nas plantas que receberam determinadas formas de adubação em relação à testemunha, ou seja, descontando a capacidade natural do solo em suprir nutrientes.

O índice de colheita (IC) é mais interessante para analisar a eficiência da planta em promover a alocação dos fotoassimilados para o produto final colhido, conforme o tratamento a que foi submetida a cultura.

Segundo PAULA (2005), que trabalhou com a cultivar de batata Asterix em soluções nutritivas, essa eficiência fotossintética (IC) atingiu valores entre 0,5-0,6 no outono e 0,4-0,6 na primavera e não foi afetada pela concentração da solução nutritiva. Isso significa que a partição de fotoassimilados entre a parte aérea e os tubérculos foi pouco influenciada pelas condições ambientais.

Enfim, o objetivo dos estudos neste Capítulo 2 foi determinar a eficiência técnica e econômica do fornecimento de nutrientes pela cama de aves de corte e dejetos líquidos de suínos, assim como a adequabilidade das recomendações de suprimento de N via adubação orgânica do Manual de Adubação e de Calagem (CQFS RS-SC, 2004) sob duas condições climáticas distintas: cultivo de verão ou “safrinha” e cultivo de inverno ou “safra”.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização, épocas de plantio, solo, adubos e outros insumos

Em duas propriedades rurais da Região Central do RS foram implantados os dois Experimentos de campo, tendo a batata como cultivo inicial e principal. Foram adotados sistemas de cultivo cuja seqüência foi composta por três culturas em sucessão, reproduzindo-se assim arranjos comuns aos bataticultores da região. O primeiro deles (“cultivo de verão”) localizou-se em São Martinho da Serra-RS e foi implantado em fevereiro de 2007, ou seja, foi iniciado com um plantio de verão, também conhecido entre os bataticultores da região como “safrinha”. O outro experimento de campo (“cultivo de inverno”) foi implantado no mês de agosto de 2008 no município de Silveira Martins-RS, iniciando-se com um plantio de inverno ou “safra” de batata. Uma visualização espacial das duas áreas pode ser vista no Anexo 1.

A figura 5 representa a sucessão de culturas no “cultivo de verão”, onde se fez o plantio de batata em fevereiro de 2007, no município de São Martinho da Serra – RS, em área localizada a 510 m de altitude (29°28’S e 53°46’W). O sistema de rotação de culturas teve a seguinte seqüência: 1º) batata (plantio convencional), 2º) trigo (idem) e 3º) milho (plantio direto).

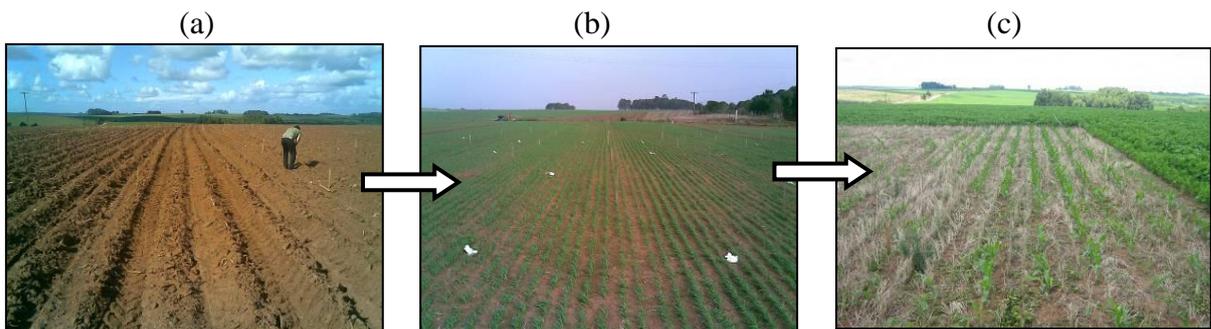


Figura 5 – Cultivos e tipos de manejo adotados no sistema de cultivo verão: a) plantio convencional de batata; b) semeadura convencional de trigo e c) semeadura direta de milho. São Martinho da Serra-R, 2007-2009.

O experimento denominado “cultivo de inverno”, foi implantado no final de agosto de 2008 no município de Silveira Martins – RS (figura 6), em área situada na altitude de 490m, latitude 29°36’S e longitude 53°34’O. Neste sistema de rotação foi utilizada outra seqüência de cultivos, com pequena alteração no modo de preparo do solo do último cultivo.

A seqüência de cultivos ficou, então, assim estabelecida: 1º) batata (plântio convencional), 2º) feijão (idem) e 3º) aveia (cultivo mínimo).

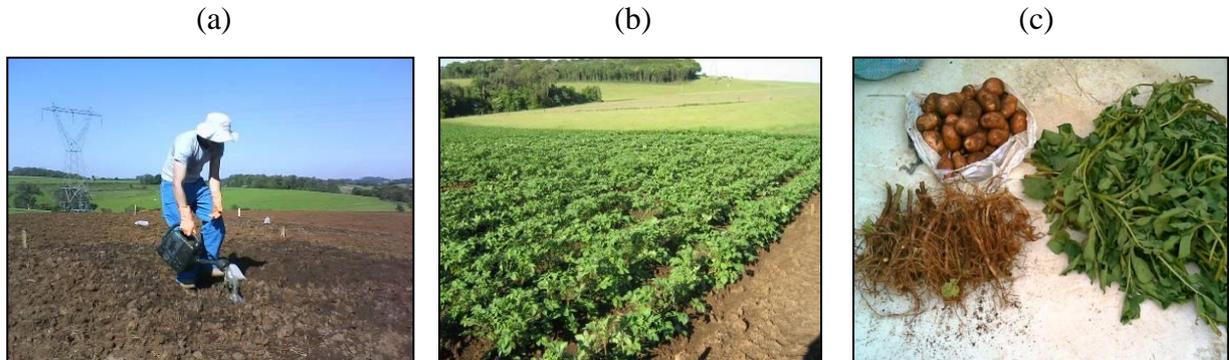


Figura 6 – Detalhes da condução experimental no cultivo da batata de inverno: a) aplicação de dejetos suíno em pré-plantio; b) plantas em fase vegetativa, após a adubação de cobertura; c) separação de partes de plantas colhidas na floração para as análises. Silveira Martins-RS, 2008.

O emprego destes modos de preparo do solo nos experimentos a campo, especialmente no cultivo da batata, justifica-se por serem os únicos viáveis que se tenha conhecimento até o momento, em se tratando de cultivos comerciais. O fato dos cultivos subsequentes à batata serem do tipo de convencional deve-se ao modo de colheita dos tubérculos, no qual o solo obrigatoriamente é revolvido pelos equipamentos utilizados, sejam eles manuais (enxadas) ou semi-automatizados (“arrancadeiras”) (FIOREZE, 2003).

O clima da região onde foram realizados ambos os experimentos a campo foi classificado como do tipo “Cfa de Köppen” (subtropical, úmido, sem estiagem), sendo a temperatura média anual de 19,1°C, a temperatura média das mínimas de 14,6°C e a média anual das máximas de 25°C; a precipitação pluviométrica média anual foi de 1.427 mm (dados normais de 1960-1991). Os dados climáticos referentes ao município de Silveira Martins-RS e São Martinho da Serra-RS, assim como as normais climatológicas detalhadas registradas pela Estação Meteorológica de Santa Maria da UFSM (Santa Maria-RS), situada a cerca de 40 km das áreas experimentais, estão detalhados nos Anexos 2 e 3.

Em relação às duas *épocas de plantio* utilizadas para avaliar o efeito do fator clima (ou melhor, das “condições climáticas”), elas foram definidas por corresponder ao calendário normal de plantio da batata na região Central do RS. O plantio de verão ou “safrinha” ocorre na metade do verão e o ciclo se estende até o fim do outono, apresentando temperaturas do solo e do ar mais elevadas e menor umidade do solo no início do ciclo, muitas vezes requerendo irrigação complementar. O plantio de inverno ou “safra” é realizado no final do

inverno, entre meados de julho e de setembro, onde as temperaturas do solo e do ar são bem mais baixas e a umidade no solo geralmente maior na metade inicial do ciclo; na metade final é comum necessitar de irrigação. A diferença de temperaturas do ar entre as duas épocas é normalmente próxima a 10°C, conforme se visualiza na figura 7.

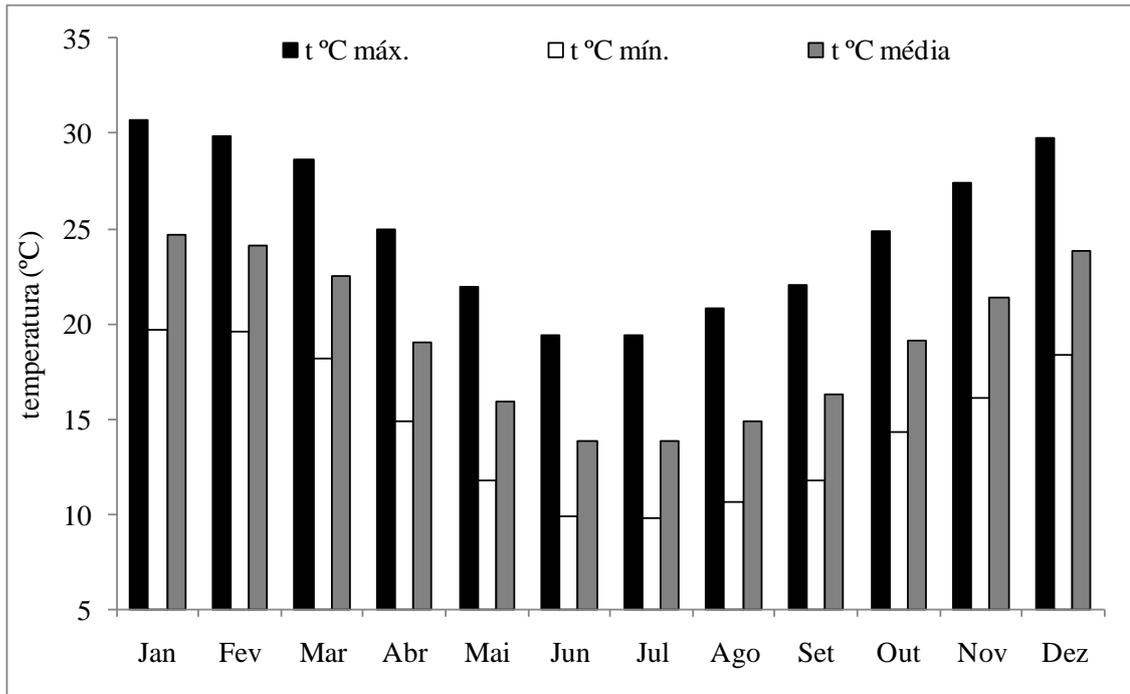


Figura 7 – Temperaturas normais na região de Santa Maria-RS (INPE, 1992).

Os tipos de *adubos orgânicos* utilizados foram a cama de aves de corte e o dejetos líquido de suínos. A cama foi obtida em criações comerciais da região de Estrela-RS, as quais possuíam entre 4 a 6 lotes de engorda de frangos. Os dejetos líquidos foram coletados em criações de suínos da própria região: no cultivo da batata de verão foi empregado dejetos de uma terminação de Nova Palma – RS e no cultivo de inverno o material foi coletado numa terminação de suínos de Santa Maria - RS.

Na tabela 6 a seguir é apresentada a composição dos adubos orgânicos em termos de teor de N, P e K e conteúdo de matéria seca.

Tabela 6 – Composição média de nutrientes (em base úmida) e matéria seca das fontes de adubação orgânica utilizadas nos experimentos a campo.

Fonte	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	M S
----- <i>Cultivo de verão</i> -----				
Cama de aves de corte (kg Mg ⁻¹)	15,0	2,72	2,62	75,0
Dejeto líquido de suínos (kg m ⁻³)	0,25	0,11	0,05	2,2
----- <i>Cultivo de inverno</i> -----				
Cama de Aves (kg Mg ⁻¹)	2,15	2,46	2,22	70,2
Dejeto Líquido (kg m ⁻³)	0,20	0,13	0,06	1,2

Em relação ao tipo de solo dos experimentos, é interessante esclarecer que no cultivo da batata no Sul do Brasil utiliza-se praticamente todo *tipo de solo*, exceto os mal drenados e os extremamente argilosos (com mais de 65-70% de argila) ou arenosos (com menos de 10% de argila, aproximadamente). No RS, os solos das principais regiões de produção variam muito, indo desde os muito argilosos e ricos em MOS da região dos Campos de Cima da Serra e Planalto Superior, passando pelos franco-arenosos a argilo-siltosos da Depressão Central e bordas do Planalto Médio, até os solos arenosos a franco-arenosos na Zona Sul.

Os solos de ambos os experimentos foram do mesmo tipo morfogeológico e classificados como Argissolo vermelho-amarelo, horizonte A proeminente, textura argilo-siltosa, relevo suave ondulado e origem basáltica (EMBRAPA, 2006). Não foi possível implantar os dois cultivos na mesma propriedade devido ao costume dos bataticultores buscar sempre áreas novas (muitas vezes em terras arrendadas) e pela necessidade de ter irrigação disponível para não por em risco o trabalho experimental.

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 20 cm e, de acordo com os procedimentos recomendados pela CQFS RS-SC (2004), foram efetuadas análises químicas de rotina no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFSM, sendo que os principais atributos químicos e físicos foram constam na tabela 7 adiante:

Tabela 7 – Resultados das análises químicas dos solos dos experimentos de campo.

Áreas dos experimentos	pH H ₂ O	Índice SMP	MO ---- g kg ⁻¹ ----	Argila	P --- mg dm ⁻³ ---	K
S. Martinho da Serra-RS (cultivo de verão)	5,8	6,1	25,5	320	28,2	92,4
Silveira Martins-RS (cultivo de inverno)	5,7	5,9	32,5	360	6,8	50,0

Para determinar as quantidades a aplicar de cama de aves, dejetos suíno ou adubo mineral, tomou-se como referência para os cálculos, além dos resultados das análises dos solos e dos insumos e resíduos orgânicos, a recomendação de N da CQFS RS-SC (2004). Dentre os motivos da escolha do N como referência, os principais são: a) o nitrogênio é o nutriente mais limitante em geral à produtividade das plantas em nossas condições do solo; b) é o nutriente em maior concentração na maior parte dos adubos orgânicos e é considerado o de maior potencial poluente; c) também porque foi o nutriente escolhido para avaliar a mineralização no experimento de incubação no Capítulo 1 (AITA, 2000; SCHERER, 2000; BASSO, 2003; GIACOMINI, 2005).

Nos primeiros cultivos (batata), as doses de NPK foram calculadas para alcançar produtividades acima de 20 Mg de tubérculos ha⁻¹, haja vista ser este o nível médio das lavouras da Região Central do RS. Aplicou-se no cultivo de verão (“safrinha”) doses equivalentes à demanda de 160 kg ha⁻¹ de N, 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 140 kg ha⁻¹ de K₂O; no cultivo de inverno (“safra”) foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de N, 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O.

O nitrogênio (N) foi parcelado também de acordo com a recomendação oficial, ou seja, aplicando-se metade no plantio e os demais 50% em cobertura. Adotou-se os índices de eficiência de liberação do nitrogênio (IELN) preconizados pela CQFS RS-SC (2004), ou seja, de 0,5 (ou 50%) para a cama de aves de corte e de 0,8 (ou 80%) para o dejetos líquido de suínos. Em relação ao fósforo e potássio, também foram considerados os índices de eficiência de P e K, sendo que, quando necessário, foi realizada a complementação no plantio com superfosfato triplo (42% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O). A adubação de cobertura com os demais 50% da demanda de N foi realizada com adubo mineral, sendo escolhida a uréia (45% de N), por sua disponibilidade e por ser mais usual.

A adubação nitrogenada foi parcelada porque, caso fosse aplicada a totalidade da demanda de N no plantio, as doses de adubo orgânico seriam bastante elevadas, especialmente de dejetos suíno, dada sua baixa concentração de matéria seca. E também porque haveria sobras muito grandes de outros nutrientes, especialmente de K, e substâncias indesejáveis (patógenos e metais pesados, por exemplo). Outra razão para o parcelamento do N se deu em função de algumas características específicas de absorção do nitrogênio na cultura da batata e da experiência própria com pesquisas sobre nutrição desta cultura desde 1990 (junto à EMATER, UFSM, FEPAGRO e EMBRAPA). Primeiro porque transcorre um período de tempo relativamente grande do plantio à emergência efetiva da cultura da batata, variando entre 10 a 30 dias conforme estado de brotação dos tubérculos e a temperatura do solo

(registre-se que no presente estudo, a emergência efetiva ocorreu aos 12 dias no verão e 38 dias no inverno). A literatura aponta ainda que o pico de absorção de N ocorre entre 40-80 dias após o plantio (YORINORI, 2003). No caso da cultivar Asterix, utilizada nos experimentos por ser a mais plantada no Sul do Brasil, ANDRIOLO et al.(2006) observaram que aos 43 dias após o plantio as plantas haviam absorvido somente 30,5% do N total, enquanto que os restantes 69,5% foram nos demais 56 dias do ciclo.

A título de informação, esta aplicação de N em cobertura é uma operação conhecida pelos bataticultores da região como “amontoa”, onde o insumo (uréia, no caso) é esparramado a lanço e muitas vezes de forma manual, seguindo-se a incorporação com uma espécie de arado cultivador chamado popularmente de “fussão” (Figura 8).



Figura 8 – Aplicação de dejetos em pré-plantio (a) e incorporação da uréia em cobertura cerca de 30 dias após o plantio de batata no verão de 2007(b). São Martinho da Serra-RS, 2007.

2.2.2 Tratamentos, delineamento experimental e operações

Cada experimento de campo (verão e inverno) foi dividido em duas partes, que foram localizadas uma do lado da outra, onde se empregou os mesmos procedimentos técnicos e tratamentos culturais (mesmas cultivares, data de plantio, equipamentos, tratamentos culturais e data de colheita). Essas duas partes foram denominadas da seguinte forma:

➤ *Experimento de avaliação das fontes de adubação orgânica e mineral*, onde os dois adubos orgânicos escolhidos (cama de aves de corte e dejetos líquidos suínos) foram comparados em relação à adubação mineral e à testemunha. Sendo assim, os tratamentos principais neste experimento foram: cama de aves de corte, dejetos líquidos suínos, adubo mineral e testemunha.

➤ *Experimento de resposta ao N mineral*, no qual foram aplicadas seis doses crescentes e equidistantes de nitrogênio de origem mineral, configurando os tratamentos 0%, 33%, 66%, 100%, 133% e 166% da dose recomendada de N. O objetivo foi obter as curvas de resposta de todos os cultivos ao N mineral e as respectivas equações e correlações, para calcular parâmetros importantes na discussão, como a máxima eficiência técnica (MET) e a máxima eficiência econômica (MEE) da adubação nitrogenada.

Houve avaliação da produtividade, do acúmulo de matéria seca e da ciclagem de nutrientes (NPK), que se classificou de *efeito imediato* (na batata) e *efeito residual* (nos outros dois cultivos em seqüência). Para obter as respostas ou efeito direto foram aplicadas as doses integrais de NPK através da adubação orgânica e mineral, conforme já explicado. Para o efeito residual foi utilizada adubação com e sem nitrogênio (N) no segundo e terceiro cultivos em sucessão à batata, onde as parcelas foram divididas em duas sub-parcelas. Nas sub-parcelas, houve reposição de NPK em uma delas (por isso denominada “com N”), enquanto na outra foi repostos apenas o P e o K (“sem N”). Essa reposição do nitrogênio se deu na forma de N orgânico nos tratamentos com cama de aves e dejetos líquido suíno, enquanto no tratamento com adubo mineral a reposição foi com uréia, aplicada metade no plantio e o restante em cobertura. Para calcular a dose de N a ser repostas nas sub-parcelas “com N”, considerou-se o efeito residual definido pelos diferentes índices de eficiência de nutrientes (IELN) para o segundo e terceiros cultivos de cada fonte de adubação orgânica (CQFS RS-SC, 2004). O P e o K foram repostos via orgânica e complementados via mineral, quando necessário.

Tratamentos

Em resumo, foram os seguintes os tratamentos (parcelas e sub-parcelas) aplicados nos dois experimentos a campo, seja no cultivo de verão e no cultivo de inverno:

- Parcelas (somente no primeiro cultivo com batata):
 - Cama de aves de corte (cama)
 - Dejetos líquido suíno (dejetos)
 - Adubo mineral (mineral)
 - Testemunha
- Sub-parcelas (somente nos 2º e 3º cultivos):
 - Com reposição do nitrogênio (com N)
 - Sem reposição do nitrogênio (sem N)

No cultivo de verão, iniciado em fevereiro de 2007, a sucessão de cultivos e os respectivos cultivares, espaçamentos e populações de plantas foram os seguintes:

- ✓ 1º cultivo - Batata, cv. Asterix, com 75 cm entre linhas, densidade de 3 tubérculos m^{-1} e estande final médio de 38 mil tubérculos ha^{-1} ; NPK integral.
- ✓ 2º cultivo - Trigo cv. Nova Era, de porte baixo, com 20 cm entre linhas e com uma densidade média final de 300.000 plantas ha^{-1} ; PK integral e subparcelas com N e sem N.
- ✓ 3º cultivo - Milho híbrido Biomatrix, semi-precoce, com 40 cm entre linhas e 3 sementes viáveis m^{-1} linear e com uma população média final de 50 mil plantas por hectare. PK integral e subparcelas com N e sem N.

Esta seqüência experimental esquema pode ser melhor visualizada na figura 9:



Figura 9 – Sucessão de três culturas no sistema de cultivo de batata de verão, na propriedade do Sr. Idino Anversa. São Martinho da Serra-RS, 2007 - 2008.

No outro experimento ou sistema de cultivo de inverno, iniciado em agosto de 2008, a seqüência foi de acordo como demonstrada na figura 10:

- ✓ 1º cultivo - Batata cv. Asterix, com 75 cm entre linhas, densidade de 3 tubérculos m^{-1} e estande final médio de 38 mil tubérculos ha^{-1} . NPK fornecido de forma integral.
- ✓ 2º cultivo- Feijão preto cv. Uirapuru, hábito indeterminado, com 40 cm entre linhas e 8 sementes viáveis m^{-1} e uma densidade média final de 150 mil plantas ha^{-1} ; se forneceu PK integral e o nitrogênio em subparcelas com N e sem N.
- ✓ 3º cultivo - Aveia Preta cv. “crioula”, de porte baixo, a lanço, com um estande médio final de 280 mil plantas ha^{-1} . PK integral e subparcelas com N e sem N.

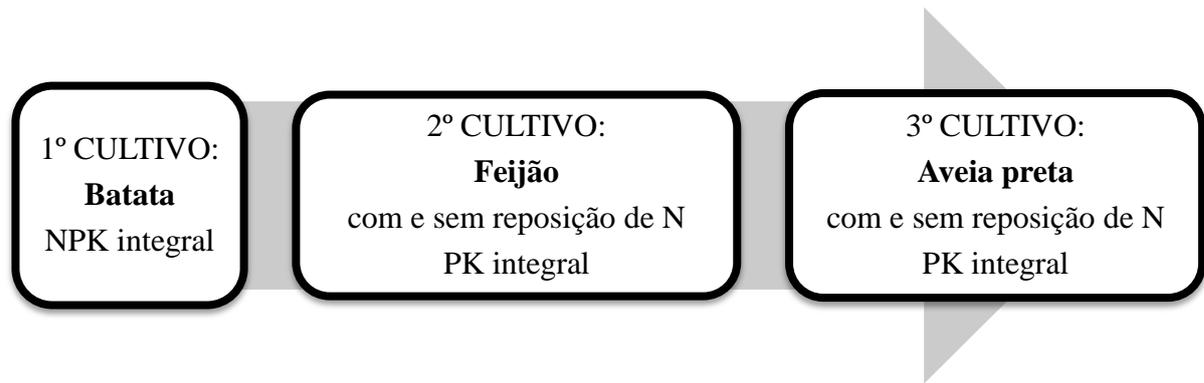


Figura 10 – Sucessão de três culturas no sistema de cultivo de batata de inverno, na propriedade do Sr. Décio Bolson. Silveira Martins-RS, 2008-2009.

Os tratamentos foram distribuídos num delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. No experimento de resposta à adubação orgânica e mineral, as parcelas possuíam uma área de 36 m² (batata) e as sub-parcelas tinham 18m² (2º e 3º cultivos). As dimensões de cada parcela foram de 4,5 m de largura (equivalentes a 6 linhas de batata com 0,75m entre linhas) e 8,0 m de comprimento (utilizou-se 3 tubérculos de tamanho médio por metro linear). Para o segundo e terceiro cultivos, as dimensões das parcelas foram iguais, variando apenas espaçamento e densidade de semeadura de cada espécie, sendo que as sub-parcelas com ou sem N tiveram mesma largura (4,5 m), porém metade do comprimento (4 m).

Já as parcelas do experimento de resposta à aplicação de N mineral tinham as seguintes dimensões: 3,0 m de largura (4 linhas de batata) e 5,0 m de comprimento, totalizando uma área de 15 m².

Todos os demais tratos culturais adotados nos dois experimentos foram os mesmos empregados pelos agricultores nas suas lavouras onde estavam inseridos os experimentos de campo (tipos de agrotóxicos usados para o controle de pragas e doenças, épocas de plantio e pulverizações, adubação de cobertura, irrigação, colheita).

Operações de plantio e semeadura

No cultivo de batata, as fontes orgânicas e minerais foram aplicadas a lanço, sem incorporação, porém seguindo-se imediatamente o plantio mecânico dos tubérculos com plantadeira de duas linhas (este equipamento abre o sulco, deposita inseticida de solo, tubérculo semente e, quando necessário, adubo mineral).

Nos demais cultivos em sucessão, as operações foram similares, ou seja, os adubos foram dispostos a lançar e em superfície, sem incorporação, com a semeadura sendo feita logo em seguida com máquinas específicas para plantio direto (milho: Semeato SAM-200; trigo: Semeato SSM-23) ou convencional (feijão: Vence Tudo AS-7300). No caso da aveia preta, a semeadura foi manual seguida de grade leve para incorporação.

Adubação de cobertura

Esta operação foi realizada tão somente na batata pelas razões expostas anteriormente. Empregou-se como fonte mineral de N a uréia agrícola (45% de N), a qual foi aplicada aos 20 e 45 dias após o plantio de verão e de inverno, respectivamente (o tempo de emergência das plântulas varia muito com as condições climáticas), por ocasião da amontoa, quando as plantas alcançaram cerca de 10-15 cm de altura. Para as demais culturas em sucessão, a demanda de N foi suprida via Adubação Orgânica realizada no plantio, exceto nos tratamentos com Adubo Mineral e a na Testemunha.

Controle de plantas invasoras, pragas e doenças

O controle de plantas invasoras na cultura da batata foi realizado mecanicamente junto com a operação de amontoa, como acontece nas lavouras comerciais (algumas vezes, em caso de infestações precoces de plantas voluntárias como o azevém e o nabo, os agricultores utilizam dessecantes não sistêmicos na pré-emergência).

Nas demais culturas em sucessão, o controle foi realizado de forma convencional, usando os mesmos métodos e produtos dos agricultores em suas lavouras no entorno da área experimental, assim como para o caso de pragas e doenças.

2.2.3 Avaliação da produtividade de tubérculos e grãos

Procurou-se avaliar produtividade final das culturas que integraram os sistemas de rotação ou sucessão (três cultivos) de acordo com as seguintes áreas úteis:

➤ Batata: no experimento de avaliação da adubação orgânica, colheu-se duas fileiras centrais, com 6m de comprimento cada uma, totalizando 9 m²; no experimento de resposta ao N mineral foram 2 fileiras centrais de 3m, totalizando 4,5m² de área útil; o número de plantas foi

contado para eventuais ajustes no cálculo da produtividade, dada a considerável diferença que pode ocorrer quando faltam plantas na área útil.

- Trigo: colheu-se as cinco fileiras centrais da parcela, com 3 m lineares cada, perfazendo uma área útil de 3 m².
- Feijão: foram colhidas as quatro linhas centrais, com 2 m lineares cada, perfazendo uma área útil de 3,6 m².
- Milho: não foi realizada a colheita de grãos devido ao ataque de animais silvestres, restando apenas os resultados de matéria seca (floração).
- Aveia-preta: não foi determinada a produtividade de grãos, somente matéria seca por não haver interesse na colheita deste grão por parte do produtor.

2.2.4 Acúmulo de matéria seca e de nutrientes

Para determinar a matéria seca (%MS) e o acúmulo de nutrientes, a coleta de plantas foi realizada na fase de plena floração das culturas. Na cultura da batata, a área útil foi composta de quatro plantas inteiras por repetição no experimento de avaliação da adubação orgânica e duas plantas/ repetição no experimento de resposta ao N mineral.

Após a coleta das plantas inteiras de batata, estas foram separadas em raízes, tubérculos e parte aérea (figura 6). Em seguida, estas partes foram limpas dos resíduos do solo, pré-secadas em estufa comum, secadas em estufa a 65°C, quando se determinou a matéria seca⁷. Após serem moídas e armazenadas, posteriormente se determinou os teores de N, P, K, Ca e Mg (TEDESCO et al., 1995). O acúmulo de matéria seca e de nutrientes pela batata foi determinado nas plantas coletadas na época da floração, sendo que no cultivo de verão a coleta foi aos 51 dias após o plantio e no plantio de inverno a coleta foi aos 67 dias após o plantio (devido ao maior tempo decorrido do plantio à emergência).

Diferentemente da batata, nas demais culturas analisou-se apenas a parte aérea nesta época da plena floração, sendo que as determinações foram as mesmas já citadas. A razão disso é que o sistema radicular destes cultivos não tem a mesma significância do que na batateira no cômputo geral da matéria seca acumulada. Para o trigo e a aveia-preta, as plantas foram cortadas rente ao solo num quadrado de 0,50m X 0,50m (0,25 m²); no caso do milho,

⁷ A matéria seca dos tubérculos é considerada indicador da qualidade culinária e industrial: quanto maior o seu conteúdo, menor é o gasto de energia e gordura para o processamento da batata (FRACARI, 2004).

foram coletadas quatro plantas, que em média representaram uma área útil de 0,89 m²; para a cultura do feijão, também se coletou quatro plantas, significando uma área útil de 0,31 m².

2.2.5 Recuperação de nutrientes e eficiência na colheita

2.2.5.1 Índice de Recuperação Aparente de Nutrientes (IRAN)

A recuperação aparente dos nutrientes aplicados via adubação ou simplesmente IRAN, indica o percentual (%) de nutriente recuperado pela planta ao longo do seu ciclo de cultivo em relação do total de nutriente aplicado no plantio. Descontou-se a quantidade de nutriente acumulado pelas plantas no tratamento testemunha, pois este representa, em síntese, a capacidade do solo em, por si só, suprir a planta com o referido nutriente. Este índice tem o apropriado adjetivo “aparente”, porque na verdade expressa uma recuperação apenas parcial do referido nutriente. Ou seja, não considera que a taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo, por exemplo, possa ser afetada pelo nutriente aplicado com os dejetos ou com a fonte mineral (AITA & GIACOMINI, 2003).

A expressão matemática para o cálculo do IRAN é a seguinte (FAGERIA, 1998):

$$IRAN (\%) = \frac{\text{Nutriente acumulado } TRAT - \text{Nutriente acumulado } TEST}{\text{Nutriente aplicado } TRAT} \quad (5)$$

, onde *TRAT* é o tratamento a ser avaliado e *TEST* é o tratamento controle. Em relação ao denominador “*nutriente aplicado TRAT*” referente ao nitrogênio (N), ao invés de se utilizar o valor do N total aplicado (orgânico + mineral), optou-se por empregar o valor do nitrogênio disponível às plantas (NDP). Para tanto, no caso da adubação orgânica, somou-se a quantidade de N mineral aplicada no plantio que foi liberada no solo pela mineralização, com a quantidade de N aplicada em cobertura.

Para este cálculo utilizou-se o índice de eficiência de liberação de nutrientes recomendado pela CQFS RS-SC (2004) e considerou-se o denominador com o valor de 160 kg ha⁻¹, tanto no caso da cama de aves de corte como do dejetos líquido suíno.

2.2.5.2 Índice de Colheita (IC)

O IC é um indicador utilizado para comparar a eficiência produtiva de um dado tratamento em relação aos demais. Ele estabelece uma relação entre a matéria seca (MS) acumulada na colheita pelo órgão de interesse comercial das plantas (exemplo: em grãos de feijão ou tubérculos de batata), com a MS total acumulada na planta inteira em sua fase de maior acúmulo de fitomassa, que normalmente ocorre na plena floração. Considerando que as condições ambientais são as mesmas para todos os tratamentos em um experimento, o IC pode indicar se houve uma disponibilização equilibrada e balanceada de um dado nutriente em relação à demanda da planta, ao longo do ciclo produtivo, o que é importante para alcançar uma maior eficiência da adubação testada. Para calcular o IC, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$IC (\%) = \frac{MS \text{ acumulada no órgão de colheita}}{MS \text{ acumulada em toda planta}} \quad (6)$$

2.2.6 Avaliação econômica

Uma avaliação puramente produtivista é insustentável, pois uma tecnologia também deve ser viável do ponto de vista financeiro e pelo menos não agravar o passivo sócio-ambiental. E isto é especialmente verdadeiro na bataticultura da Região Sul do Brasil, onde os distúrbios sócio-econômicos e os problemas ambientais são conhecidos e levaram à exclusão de milhares de pequenos produtores da cadeia produtiva (FIOREZE, 2003 e 2005).

Por isso, a máxima eficiência econômica (MEE) é um avanço como parâmetro para as recomendações de adubação do Manual de Adubação e de Calagem (CQFS RS-SC, 2004), mesmo sendo calculada de uma forma “simples” (margem bruta da prática de adubação em questão). Entretanto, essa avaliação da MEE é mais representativa e consistente para as principais culturas (exemplo: soja, milho, arroz e trigo), enquanto noutras de menor expressão econômica ou típicas da agricultura familiar, as recomendações carecem de uma rede representativa de ensaios.

Os dados dos experimentos paralelos de avaliação da respostas da cultura da batata às doses crescentes de N mineral (item 2.2.2) permitiram construir uma função matemática do

tipo polinomial de 2º grau, a partir da qual pode-se calcular a máxima eficiência técnica (MET) e também a máxima eficiência econômica (MEE).

A MET foi obtida pela derivação da curva de resposta Y em função de X, onde $dX / dY = 0$ para o valor máximo de X. Prosseguindo a dedução matemática, obtém-se a equação:

$$X = \frac{-b}{2a} \quad (7)$$

, onde a e b são os coeficientes da equação $Y = ax^2 + bx + c$.

Deste modo, esse valor calculado de “X” (em kg ha^{-1} de N) correspondeu à Máxima Eficiência Técnica (MET), ou seja, equivale ao valor máximo de “Y” (produtividade de grãos ou de tubérculos). Para o cálculo da Máxima Eficiência Econômica (MEE) foram considerados os preços do insumo “ i ” (= kg de N fornecido via uréia, em R\$) e do produto “ p ” (= kg de batata, em R\$), calculando-se pela a fórmula a seguir:

$$X = \frac{(i/p) - b}{2a} \quad (8)$$

Portanto, a MEE é obtida com a dose “X” de insumo (em kg ha^{-1}), à qual corresponde uma produtividade equivalente a “Y” (em kg ha^{-1} de tubérculos), onde “Y” é calculado pela mesma equação polinomial obtida no experimento de resposta às doses de N mineral. Assim, é possível comparar as produtividades obtidas nos experimentos de avaliação das fontes orgânicas e mineral com os alcançados pelas doses crescentes de N mineral. Pode-se então confirmar ou não a adequação da recomendação de adubação nitrogenada para a cultura feita através do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS RS-SC, 2004).

2.2.7 Análises estatísticas

Os dados de produtividade de matéria seca (MS), acúmulo de nutrientes (N, P e K), produtividade de tubérculos ou de grãos, foram submetidos à análise da variância e as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando-se o Teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro, utilizando o suporte do software SAS.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cabe esclarecer inicialmente que, por coerência com os objetivos do estudo, os resultados foram aqui apresentados e discutidos em dois blocos, ou seja, quanto ao **Efeito Imediato** (no cultivo da batata) e ao **Efeito Residual** (no segundo e no terceiro cultivos após a aplicação dos adubos orgânicos na batata). Dentro destes, foram apresentados os dados obtidos com o Experimento **Cultivo de Verão** (2007-2008) e com o Experimento **Cultivo de Inverno** (2008-2009). Quando foi julgado necessário e no intuito de melhor explicar os resultados obtidos, ou mesmo de estabelecer algumas inferências, houve relacionamentos com o estudo de incubação dos três tipos de solos (Capítulo 1).

2.3.1 Efeito imediato das adubações

Produtividade da batata

Os resultados de produtividade de tubérculos sob os diferentes tratamentos de adubação foram bastante satisfatórios de um modo geral, tanto no cultivo de Verão como no de Inverno, conforme pode se ver na Figura 11. Os dados ficaram muito próximos à produtividade obtida nas lavouras dos produtores situadas no entorno experimental⁸, porém foram melhores que média histórica regional e estadual (Anexo 4).

Observa-se inicialmente que o tratamento Testemunha também teve bom desempenho de produtividade, o que demonstra o bom nível de fertilidade dos solos e também da tecnologia utilizada nos cultivos de verão e de inverno, com destaque ao suprimento de água via irrigação por aspersão quando necessário. Porém, há que se registrar que o desempenho comercial nestes tratamentos testemunha foi fraco em ambos os cultivos, ou seja, houve um grande número de tubérculos de pequeno tamanho, com cerca de 40% de tubérculos considerados abaixo dos padrões atuais de comercialização de batata no Brasil (FIOREZE, 2003).

⁸ As lavouras dos produtores receberam, porém, altíssima adubação mineral (em média 3.200 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8), com níveis de nutrientes muito acima dos recomendados pela CQFS RS-SC (2004).

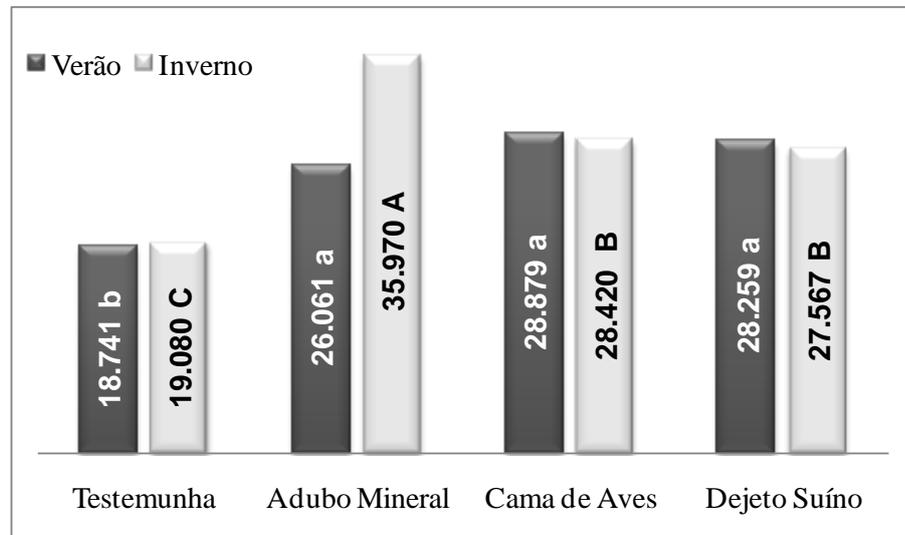


Figura 11 - Produtividade de tubérculos de batata no sistema de cultivo de verão, em São Martinho da Serra-RS (2007) e no cultivo de inverno, em Silveira Martins-RS (2008), em kg ha⁻¹. As letras minúsculas comparam entre si as médias no verão e as maiúsculas no inverno, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Analisando as produtividades nos tratamentos com os *adubos orgânicos*, os resultados foram muito similares entre si e nas duas épocas de cultivo (verão e inverno). Nos tratamentos com *adubo mineral*, todavia, houve significativo aumento de produtividade no cultivo de inverno em relação às fontes de adubação orgânica. Isso resultou numa importante diferença de mais de 100 sacos de 50 kg ha⁻¹ de tubérculos de batata. As possíveis razões para esta diferença entre as duas épocas de cultivo da batata, bem como inferências sobre a adequabilidade da recomendação da CQFS RS-SC (2004), serão abordadas mais adiante.

Desta forma, para avaliar de forma mais consistente estes resultados da adubação orgânica e mineral, realizou-se em paralelo os estudos de resposta a doses crescentes de N mineral (0%, 33%, 67%, 100%, 133% e 167% da recomendação oficial de N), donde obtiveram-se as funções polinomiais de segundo grau, conforme a Figura 12 adiante.

Estas funções matemáticas foram úteis para calcular a dose de insumo (nitrogênio) correspondente à máxima eficiência técnica (MET) e econômica (MEE). Desse modo a MET foi calculada em 97,31% da dose de N mineral no cultivo de verão ou “safrinha”, equivalente a 156 kg ha⁻¹ de N mineral, quando a recomendação oficial foi de 160 kg N ha⁻¹, portanto doses próximas entre si. Para o cultivo de inverno ou “safra” de batata, a MET foi bem mais alta, ou seja, de 136,06% da recomendação de N, equivalente a X=191 kg ha⁻¹ de N mineral, sendo que a recomendação oficial foi de 140 kg N ha⁻¹.

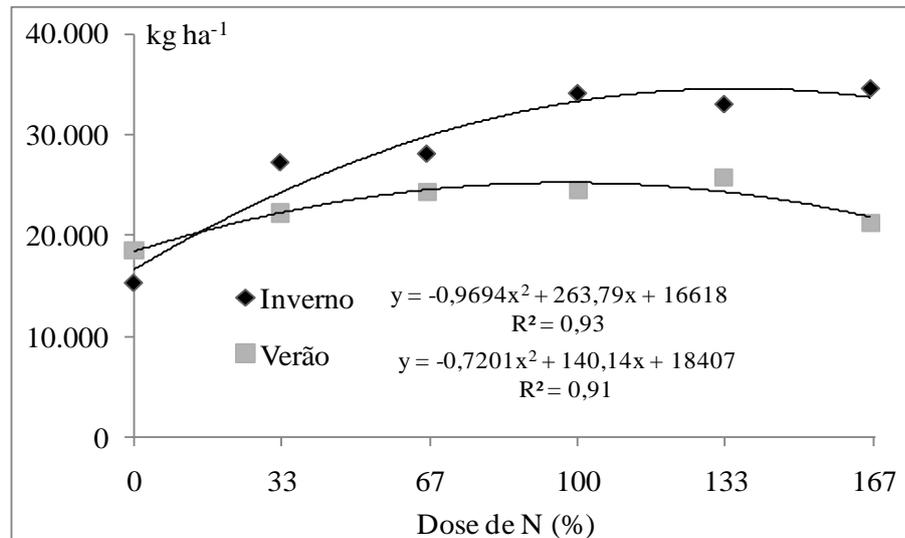


Figura 12 – Produtividade (kg ha^{-1}) da batata cultivada no plantio de verão e de inverno em resposta a doses crescentes de N mineral (em % da recomendação oficial).

Assim sendo, no *cultivo de verão* a dose de N que correspondeu à máxima eficiência técnica daria uma produtividade teórica máxima de $22.770 \text{ kg ha}^{-1}$ de tubérculos. Esta produtividade máxima ficou abaixo ao obtido pela adubação mineral ($26.061 \text{ kg ha}^{-1}$), cama de aves de corte ($28.879 \text{ kg ha}^{-1}$) e dejetos líquidos suíno ($28.259 \text{ kg ha}^{-1}$). Por outro lado, no *cultivo de inverno* a dose de N que correspondeu à MET representou uma produtividade de $31.690 \text{ kg ha}^{-1}$, o qual no caso foi inferior à produtividade do adubo mineral ($35.970 \text{ kg ha}^{-1}$), mas bem superior aos $28.420 \text{ kg ha}^{-1}$ da cama de aves e aos $27.567 \text{ kg ha}^{-1}$ do dejetos líquidos de suínos.

Uma possível explicação para essa diferença de eficiência imediata das fontes de adubação orgânica entre as duas épocas de cultivo da batata pode ser encontrada justamente no efeito das condições climáticas, indo ao encontro de uma das hipóteses deste trabalho. Sabe-se que no cultivo de inverno, o plantio da batata é realizado sob temperaturas baixas, as quais em normalmente são cerca de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ menores que no plantio de verão. Em função desta diferença importante de temperatura, ocorre redução da atividade microbiana e das reações bioquímicas no ambiente solo⁹, podendo reduzir substancialmente a mineralização do N no solo sob adubação orgânica. Com isso, pode ter ocorrido uma falta de sincronismo entre a disponibilização de N mineral e a absorção das plantas de batata, comprometendo

⁹ Relacionada à Lei de Van't Hoff, em que teoricamente uma elevação de 10°C duplica a velocidade de uma reação, citada por BAYER & MIELNICZUK (1999).

significativamente a produtividade final nos tratamentos com cama de aves e dejetos suínos nesta época de cultivo.

Outra possibilidade é de ter havido perdas significativas de N através de lixiviação e escoamento superficial, pois nesta época do ano normalmente chove mais e a emergência das plantas é bem mais demorada devido ao frio e a umidade afetarem diretamente a brotação dos tubérculos-semente. Ao analisar os registros de chuvas durante o cultivo de verão (fevereiro a maio de 2007) e de inverno (agosto a novembro de 2008), verifica-se que neste último choveu bem mais do que a média normal (quase 180 mm a mais); além disso, o mês setembro, crucial para a emergência da lavoura que foi plantada em fins de agosto, foi mais chuvoso e frio que o normal (ver Apêndices 1 e 2). Prova disso é que a emergência demorou 12 dias no cultivo de verão, como esperado, frente a 38 dias no inverno, quando a expectativa era de 20-25 dias.

Para calcular a MEE, consideraram-se os preços do insumo (kg de N mineral fornecido via uréia = $i = \text{R\$ } 2,40 \text{ kg}^{-1}$) e do produto (kg de batata = $p = \text{R\$ } 0,65 \text{ kg}^{-1}$), através de pesquisas de preços médios históricos pagos e recebidos pelos produtores fornecidos pela EMATER-RS, IPEA-SP e IBGE. Sendo assim, a MEE calculada foi de $X = 152$ e 188 kg N ha^{-1} , respectivamente, para o cultivo de verão e de inverno, o que resultaria numa produtividade $Y=23.103 \text{ kg ha}^{-1}$ (verão) e $Y=31.966 \text{ kg ha}^{-1}$ (inverno). Portanto, no caso do cultivo de verão, a dose de nitrogênio para obter a MEE está um pouco abaixo da recomendação da CQFS RS-SC (2004) para a batata (160 kg N ha^{-1}), enquanto no cultivo de inverno a dose da MEE (188 kg N ha^{-1}) é bem maior que a recomendada (140 kg N ha^{-1}).

Com base nestes parâmetros, pode-se fazer um cálculo da eficiência relativa (%) dos adubos orgânicos em comparação à dose de N mineral da CQFS e da MET e da MEE calculadas no local do experimento. Os resultados estão na tabela 8.

Tabela 8- Eficiência relativa (%) da cama de aves e do dejetos suíno em relação a fontes de N mineral com base na recomendação da CQFS RS-SC (2004) e calculado via MET e MEE.

Adubação orgânica	Época de plantio	Eficiência relativa (%) à dose de N mineral em relação à :		
		CQFS-2004	MET	MEE
Cama de aves	Verão	+29%	+27%	+25%
	Inverno	-18%	-10%	-11%
Dejeto de suínos	Verão	+26%	+24%	+22%
	Inverno	-20%	-13%	-14%

Como se observa na tabela 8, a eficiência relativa das duas fontes orgânicas em suprir N à batata foi positiva e similar no cultivo de verão (de 22 a 29%) em relação aos três parâmetros avaliados (CQFS, MET e MEE). Porém, no cultivo de inverno, a eficiência relativa foi negativa (entre 10% a 20% abaixo da fonte de mineral, no caso a uréia). Estes dados sinalizam no sentido de que os índices de eficiência de liberação de N (IELN) para ambos os adubos orgânicos não tenham sido adequados, especialmente no cultivo de inverno, já que a produtividade e a eficiência relativa ficaram aquém, trazendo prejuízos com seu uso.

Estes dados não corroboram plenamente com a conclusão do trabalho de Arns (2004), que atribuiu esta baixa eficiência nutricional (apenas 13 a 15%) fornecimento de N pela cama sobreposta de suínos a diferenças de composição com a cama de aves (utilizada como referência, com seus 50% de IELN). Ao contrário, o comportamento das duas diferentes fontes utilizadas neste trabalho (a cama de aves, com 14% de N amoniacal, e o dejetos suíno com 47%), sinaliza para a preponderância do efeito do fator época de cultivo (condição climática) sobre o tipo de adubo orgânico aplicado.

Acúmulo de matéria seca e de nutrientes

A Tabela 9 contém os resultados de produtividade de MS dos diversos órgãos da planta de batata (parte aérea, tubérculos e raízes).

Tabela 9 – Matéria seca da parte aérea, tubérculos e raízes (em kg ha⁻¹) na época da floração da batata nos sistemas de cultivo de verão e de inverno.

Tratamento	Parte aérea		Tubérculos		Raízes		Total	
	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
	----- kg ha ⁻¹ -----							
Adubo mineral	1183 a	1.377 A	629 a	1.175 A	139 a	187 A	1.951 a	2.738 A
Cama de aves	1017 a	1.058 B	640 a	1.034 B	122 a	146 B	1.779 a	2.238 B
Dejeto suíno	1250 a	1.105 B	601 a	949 B	138 a	146 B	1.989 a	2.199 B
Testemunha	750 b	506 C	510 a	871 C	114 a	132 B	1.374 b	1.509 C

As letras minúsculas comparam entre si as médias no sistema de cultivo de verão e as maiúsculas no sistema de inverno (Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro).

Em relação aos adubos orgânicos (cama de aves e dejetos suíno), o desempenho de ambos foi estatisticamente semelhante nas duas épocas de cultivo (verão e inverno), em todos

os órgãos (parte aérea, tubérculos e raízes) e fases de cultivo (floração e colheita). Como os experimentos obrigatoriamente tiveram que ser feitos em épocas diferentes para se avaliar o efeito da época de cultivo (condição climática), não se comparou estatisticamente uma safra com outra. Porém, pode-se observar o desempenho dos dois adubos orgânicos em relação ao adubo mineral foi melhor no cultivo de verão do que no de inverno, onde o adubo mineral foi estatisticamente superior. Isto pode ser atribuído à melhor oferta e disponibilidade de N mineral no início do ciclo na safrinha, conforme discutido no item anterior.

As diferenças de produção de MS nos diferentes órgãos das plantas de batata, entre o cultivo de verão e de inverno, podem ser melhor visualizadas na Figura 13 a seguir, permitindo uma discussão mais esclarecedora dos efeitos dos tratamentos em relação às épocas de cultivo.

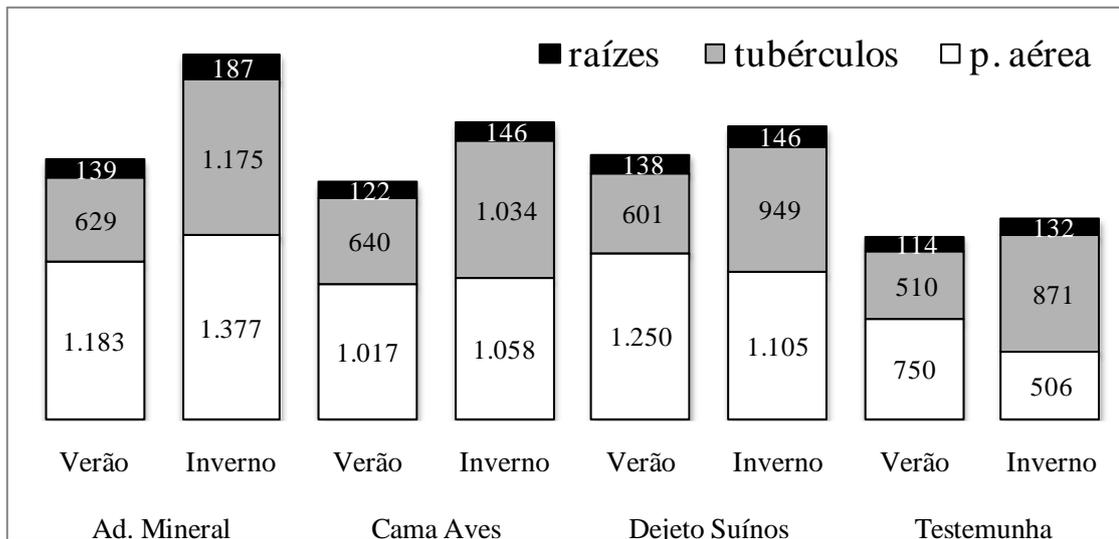


Figura 13 - Matéria seca distribuída nos órgãos (parte aérea + tubérculos + raízes) das plantas de batata na floração, nos sistemas de cultivo de verão e de inverno (em kg ha⁻¹).

Primeiramente em relação à parte aérea na floração, por ser um importante indicador de produtividade potencial, a figura 14 mostra que o cultivo de inverno houve maior acúmulo de matéria seca com o adubo mineral em relação aos demais tratamentos. Além do mais, o adubo mineral também foi superior no acúmulo de MS nas raízes e nos tubérculos. Ou seja, já eram fortes os indicativos de melhor suprimento de N em relação às fontes orgânicas. Essa diferença de absorção de N e acúmulo de MS acabou refletindo-se mais tarde na colheita de tubérculos, pois havia maior área fotossintética, capacidade de absorção, mais nutrientes e fotoassimilados acumulados para serem realocados ao órgão de reserva (tubérculos), significando maior expectativa de colheita, o que, aliás, acabou se confirmando.

Em relação à testemunha, pode-se dizer que o acúmulo de MS nos tubérculos foi bastante razoável, especialmente no verão. Isso comprova uma característica marcante da cultura da batata que é a de, em ambientes de escassez de nutrientes, promover uma maior concentração de fotoassimilados e nutrientes no órgão de reprodução da espécie (tubérculos).

Em relação ao acúmulo de nutrientes (NPK) na época da floração, a figura 14 adiante contém os resultados gerais na parte aérea das plantas de batata.

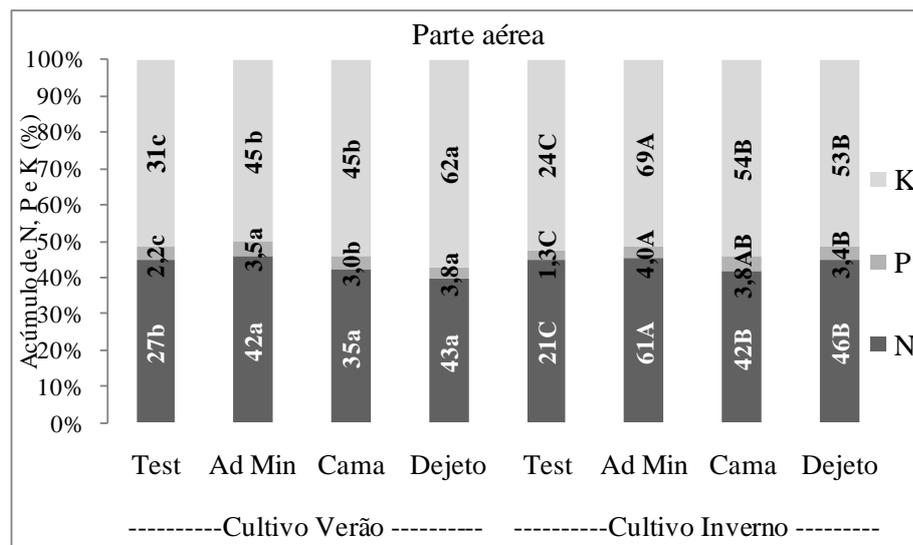


Figura 14 – Acúmulo de N, P e K na *parte aérea* da batata na floração (em % eixo Y e em kg ha⁻¹, nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos (eixo X) para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas para o verão e letras maiúsculas para o inverno).

Pode-se observar no eixo Y da figura 14, onde foi colocada a produção de matéria seca da parte aérea em termos relativos (%), permitindo uma boa visualização do “ranking” dos nutrientes NPK, que se confirmam dados da literatura quanto à maior absorção de potássio e nitrogênio pela cultura da batata, bem superior aos níveis de fósforo.

Na safra, mais uma vez ficou evidenciada a superioridade do tratamento com adubação mineral em termos de acúmulo de N e K, o que corrobora ainda mais para explicar a diferença significativa no resultado de acúmulo da matéria seca na floração e na produtividade de tubérculos na colheita, para este mesmo tratamento. No cultivo de verão, por outro lado, não houve diferença estatística em relação aos tratamentos com adubação orgânica e mineral.

Cabe registrar que, em relação ao acúmulo de K, a diferença a favor dos dejetos suínos no verão não se refletiu em maior produtividade final, corroborando com resultados de experimentos conduzidos no Departamento de Solos (UFMS) em parceria com a EMATER de Silveira Martins-RS, na região central do RS, onde a resposta ao K foi muito baixa ou nula.

Interessante também é que este maior acúmulo de K não foi acompanhado pelo N, fato que normalmente ocorre nas plantas de batata; neste sentido, Cogo (2006), trabalhando com a cv. Asterix em solução nutritiva observou acúmulo de 1,9 kg de K para cada 1 kg de N extraído pela cultura, concluindo que a dose ideal de potássio deveria ser 66% maior para atingir altas produtividades (no caso, 33 Mg ha⁻¹).

Isso só reforça a hipótese de que a boa disponibilidade de potássio proporcionada pelos adubos orgânicos (sempre sobrou boas quantidades deste nutriente nas doses aplicadas via cama de aves ou dejetos suíno, pois elas foram referenciadas à demanda de N) não foi acompanhada pela disponibilização do nitrogênio. Trata-se de mais uma evidência sobre o efeito das condições climáticas (baixas temperaturas na primeira metade do ciclo) na mineralização das formas orgânicas adicionadas ao solo, bem como da inadequação do IELN do nitrogênio preconizado pela CQFS RS-SC (2004).

Em relação aos *tubérculos* e *raízes* de batata na floração, os resultados de acúmulo de NPK em cada época de cultivo foram sintetizados na Figura 15 e 16 adiante.

Desde já e reforçando o que foi constatado em relação à matéria seca na testemunha, as respostas de acúmulo de NPK nos tubérculos mostram que houve uma tendência de maior acúmulo em relação aos demais órgãos das plantas de batata, especialmente no cultivo de verão. Ou seja, ocorre um maior acúmulo de nutrientes nos tubérculos em ambientes de escassez de nutrientes e água.

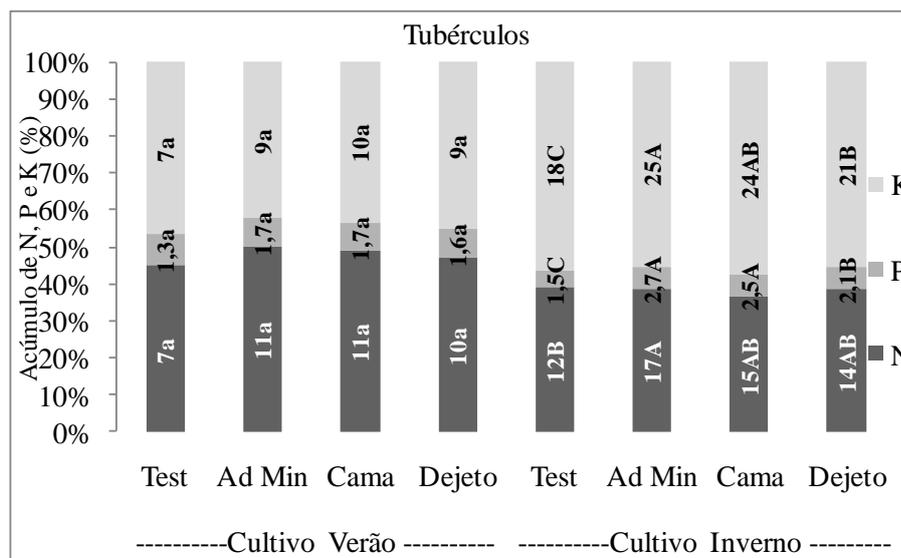


Figura 15 – Acúmulo de N, P e K nos *tubérculos* da batata na época da floração (em %, no eixo Y e em kg ha⁻¹, nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas-verão e letras maiúsculas-inverno).

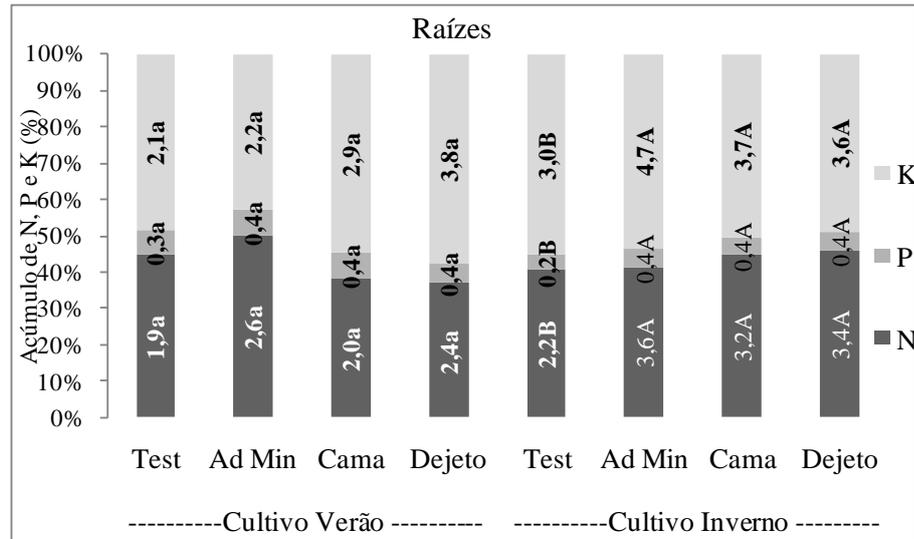


Figura 16 – Acúmulo de N, P e K nas raízes da batata na época da floração (em %, no eixo Y e em kg ha^{-1} , nas barras verticais). As médias foram comparadas entre os tratamentos para cada nutriente (NPK) e dentro de cada época de plantio (letras minúsculas-verão e letras maiúsculas-inverno).

No cultivo de inverno mais uma vez o tratamento adubo mineral foi superior aos adubos orgânicos no acúmulo de NPK nos tubérculos (nas raízes não houve diferença significativa), certamente por ter provido melhor os nutrientes ao longo do tempo, já que, conforme visto, a eficiência nutricional e a mineralização líquida dos adubos orgânicos ficou aquém da expectativa.

Também reforça a noção de que o sistema radicular (figura 16) da batata realmente tem uma participação baixa na matéria seca total da batata na floração (6,5% a 8,8%), tornando o suprimento de nutrientes e água crucial para o bom desempenho produtivo desta cultura. Do mesmo modo, evidencia a necessidade de aporte de resíduos orgânicos e nutrientes através de um eficiente sistema de rotação de culturas, adubação verde e/ou utilização de dejetos animais ou adubos minerais em sistemas de produção de batata.

Recuperação, exportação e eficiência nutricional

Com os dados de produtividade obtidos na colheita dos tubérculos e a concentração de nutrientes pelas análises de tecido, pode-se avaliar e comparar a “exportação” de matéria seca e de nutrientes (NPK) em ambas as épocas de cultivo ou de plantio da batata (Tabela 10). Para tanto, utilizou-se na seqüência os indicadores índice de recuperação aparente de

nutrientes (IRAN), o índice de colheita (IC) e a eficiência nutricional (IELN), todos eles expressos termos relativos (%).

Tabela 10 – Acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes (NPK) nos tubérculos de batata colhidos nos cultivos de verão e de inverno, em resposta às fontes de adubação. As letras minúsculas comparam entre si as médias dos tratamentos no cultivo de verão e as maiúsculas no cultivo de inverno (teste de Tukey a 5% probabilidade).

Adubações	Produtividade kg ha ⁻¹	MS %	N		P		K	
			%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
-----Cultivo de Verão-----								
Testemunha	18.741 b	20,5 a	1,64	63 b	0,24	9 b	1,19	46 b
Ad. mineral	26.061 a	19,6 a	1,88	96 a	0,24	12 a	1,45	74 a
Cama aves	28.879 a	19,7 a	1,84	106 a	0,26	15 a	1,48	84 a
Dejeto suíno	28.259 a	19,0 a	1,96	105 a	0,23	12 a	1,49	80 a
-----Cultivo de Inverno-----								
Testemunha	19.080 C	21,1	0,85	34 C	0,15	6 B	1,80	72 C
Ad. mineral	36.685 A	20,6	0,99	75 A	0,16	12 A	1,74	131 A
Cama aves	28.420 B	21,7	0,92	56 B	0,18	11 A	1,66	102 B
Dejeto suíno	29.611 B	20,3	0,93	56 B	0,17	10 A	1,79	107 B

Com base nestes dados, calculou-se o IRAN (Índice de Recuperação Aparente de Nutrientes, em %) do N, P e K em duas épocas: na floração e na colheita.

O IRAN do N (nitrogênio) apresentou desempenho similar entre as fontes orgânicas na colheita, principalmente no cultivo de verão, superior aos índices de inverno (Figura 17).

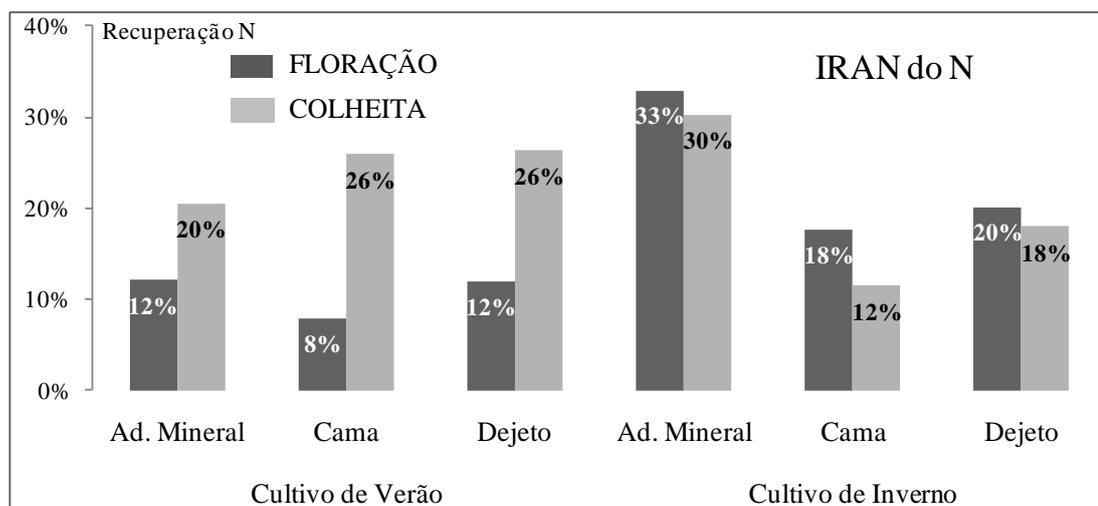


Figura 17 – Índices de recuperação do N aplicados (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação no sistema de cultivo de verão e de inverno (eixo X).

A adubação mineral teve no cultivo de verão uma recuperação um pouco inferior (20 %) em relação às duas fontes de adubação orgânica (26 %), mas sem resultar em diferença significativa na produtividade. Porém no cultivo de inverno, a recuperação do N da adubação mineral foi bem superior (30 %) à cama de aves (12 %) e ao dejetos suíno (18 %), tendo em vista que teve uma produtividade significativamente maior, pelas razões ligadas à mineralização X condições climáticas, já discutidas anteriormente.

Na safra de inverno, a maior recuperação do N na adubação mineral na floração da batata (33 %) já indicava uma nutrição boa com nitrogênio, muito superior à cama de aves (18 %) e ao dejetos (20 %). Isso demonstra a importância do manejo global da cultura da batata (boa nutrição, suprimento de água, controle de pragas e doenças, plantio na época apropriada, etc.) visando maior produtividade de matéria seca na parte aérea, pois isso significa maior potencial para redistribuição dos nutrientes e fotoassimilados para os tubérculos (colheita).

Dados de literatura indicam que 98% da quantidade total de N pode ser absorvida na fase de crescimento vegetativo da cultura da batata, durante a qual ocorre 80% do crescimento dos tubérculos. A fração restante (20% do crescimento dos tubérculos) ocorre na fase seguinte, pela translocação de assimilados e remobilização do nitrogênio da parte vegetativa. Dessa forma, as quedas de produtividade por deficiência de N são atribuídas tanto ao crescimento reduzido como à menor duração do ciclo da cultura (PAULA, 2005).

Em relação ao IRAN do fósforo, constata-se que a recuperação do P foi muito baixa para qualquer tratamento ou época de plantio, sem diferenças maiores entre eles (Figura 18).

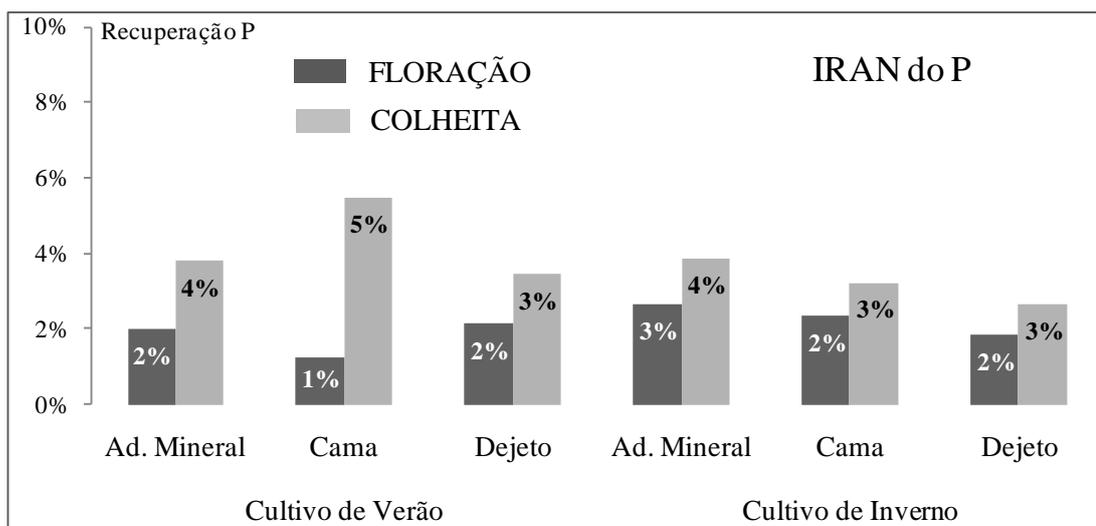


Figura 18 – Índices de recuperação do P aplicado (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação tanto na safra como na safrinha (eixo X).

Cabe lembrar que houve aplicação em excesso de fósforo (consumo de luxo) no tratamento cama de aves no plantio de verão (sobra de $31 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$), devido ao cálculo da dosagem deste dejetos ter sido realizado pela concentração de N para suprir 50% da demanda da batata. No cultivo de inverno isso não ocorreu devido à demanda de P_2O_5 ser bastante alta (quase o dobro ou 360 kg ha^{-1}), havendo então necessidade de complementação via adubo mineral, tanto no tratamento com cama de aves como no dejetos líquido suíno. No caso do dejetos, inclusive, houve necessidade de complementação com P_2O_5 em ambos os cultivos (verão, com adição de $+139 \text{ kg ha}^{-1}$ e inverno, com $+309 \text{ kg ha}^{-1}$).

Esses dados reforçam a idéia de se calcular as dosagens de adubos orgânicos tendo como referência a demanda parcial de nitrogênio (em torno de 50%), pois se fosse pela demanda total de P, por exemplo, as dosagens de cama de aves e, principalmente, de dejetos líquido de suínos seriam muito elevadas. Conseqüentemente, o potencial poluente seria muito maior.

Registre-se que em relação ao potássio (K), também houve consumo de luxo ou aplicação de excesso de K no tratamento cama de aves na “safrinha” de verão (sobra de 139 kg ha^{-1}), de modo que o IRAN do K na floração foi de apenas 8 %, índice bem mais baixo que nos demais tratamentos, especialmente o dejetos líquido suíno (30 %), conforme se observa na Figura 19 adiante.

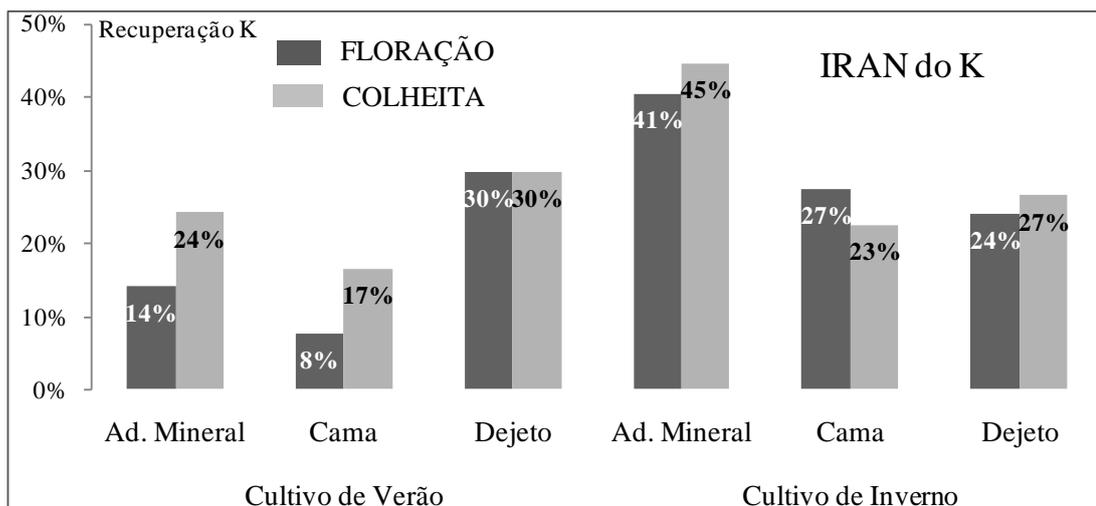


Figura 19 – Índices de recuperação do K aplicado (em %, no eixo Y) pelas diferentes fontes de adubação tanto na safra como na safrinha (eixo X).

Porém, como se observa, esta diferença já não ocorreu na “safra” de inverno (27% para ambos adubos orgânicos), onde a demanda de potássio pela batata foi maior e até houve necessidade de complementação mineral (15,4 kg ha⁻¹).

Enfim, de um modo geral, observa-se que a recuperação do K aplicado é maior do que a do P e muito similar ao N, tendo atingido níveis bem mais altos no tratamento com adubo mineral no inverno (41 a 45%), em virtude da sua alta produtividade. Estudos sobre este tema da absorção de nutrientes pela planta de batata informam que, para produzir 1 tonelada de batata são necessários de 3 a 5 kg de N e entre 4 a 6,5 kg de K, ou seja, “a exportação de potássio é normalmente 1,5 vez a de nitrogênio e 4-5 vezes a de fósforo (YORINORI, 2003). E mais, quando a disponibilidade de K é abundante, pode ocorrer o “consumo de luxo”, afetando a composição da planta e interferindo na absorção e na disponibilidade fisiológica de Ca e Mg¹⁰ (REIS JR. & FONTES, 1996).

Outras pesquisas indicam que níveis elevados de adubação potássica não afetam a produtividade e nem promovem o escurecimento dos chips de batata, o que é importante uma vez que grande parte da batata cultivada no Brasil provém de lavouras conduzidas em solos com teores naturalmente elevados de K (FRACARI, 2005; FIOREZE, 2005).

Índice de Colheita (IC)

O IC foi igual em todos os tratamentos, e atribui-se isso à uma característica peculiar da cultura da batata e de outras culturas tuberosas e de raízes, onde a proporção da matéria seca no produto final (tubérculos colhidos) é muito superior ao acumulado na floração (equivalente à soma da parte aérea + raízes + tubérculos em início de formação). Tanto é que neste trabalho teve que se utilizar uma fórmula adaptada para chegar ao denominador (MS total), computando-se a matéria seca dos tubérculos da colheita. Caso não se procedesse assim, o índice de colheita produziria resultados muito acima de 100%, o que não seria razoável (Tabela 11).

¹⁰ Também foram realizadas determinações de Ca e Mg, mas esses dados não foram discutidos neste estudo em função do enfoque ser a ciclagem de N (especialmente) e P e K (secundariamente).

Tabela 11 – Matéria seca na floração da parte aérea, tubérculos e raízes nas plantas de batata nos cultivos de verão e de inverno e de tubérculos na colheita e seu índice de colheita (IC %).

Tratamentos	MS na Floração (kg ha ⁻¹)						MS Colheita		I C			
	Parte aérea		Tubérculos		Raízes		Total		(kg ha ⁻¹)		(%)	
	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.
Testemunha	750	506	510	871	114	132	1374	1509	3874	4016	82 a	86 A
Adubo mineral	1183	1377	629	1175	139	187	1951	2738	5103	7557	79 a	83 A
Cama de aves	1017	1058	640	1034	122	146	1779	2238	5700	6160	83 a	84 A
Dejeto suíno	1250	1105	601	949	138	146	1989	2199	5347	6006	79 a	83 A

O índice de colheita (IC) tem relação com a partição da massa seca entre a parte aérea e os tubérculos da planta de batata, fenômeno que passa a ocorrer após o início do crescimento dos tubérculos. No início da senescência das plantas, ocorre a remobilização do N das partes vegetativas para os tubérculos, que passam a exercer uma espécie de efeito de diluição dos nutrientes, devido à elevada fração ponderal na massa seca total.

Outros trabalhos com a cv. Asterix, a mesma utilizada neste estudo, chegaram a um IC praticamente igual, ou seja, de 81% (PAULA, 2005).

2.3.2 Efeito residual da adubação no 2º e 3º cultivos em sucessão à batata

Os resultados e a discussão do efeito residual dos adubos orgânicos e mineral foram apresentados na ordem de cultivos após a batata. Ou seja, inicialmente para os primeiros cultivos: *trigo* (após o cultivo de verão da batata) e *feijão* (após o cultivo de inverno da batata). Em seguida, os resultados dos segundos cultivos: de *milho* (após o trigo) e *aveia-preta* (após o feijão).

Foram analisados os resultados de produtividade de grãos, acúmulo de matéria seca e de nutrientes (NPK), comparando as parcelas COM e SEM reposição do nitrogênio. Importante lembrar que a reposição do N se deu via adubação orgânica, exceto nos tratamentos adubo mineral e testemunha. Não se fez a discussão do índice de recuperação de nutrientes (IRAN) e índice de colheita (IC) nestes cultivos em sucessão à batata porque pouco contribuiria para os propósitos deste estudo.

Cultivo do trigo

Este cultivo ocorreu imediatamente em sucessão à batata cultivada no verão, no inverno de 2007, e apresentou os seguintes resultados de produtividade de grãos (figura 20):

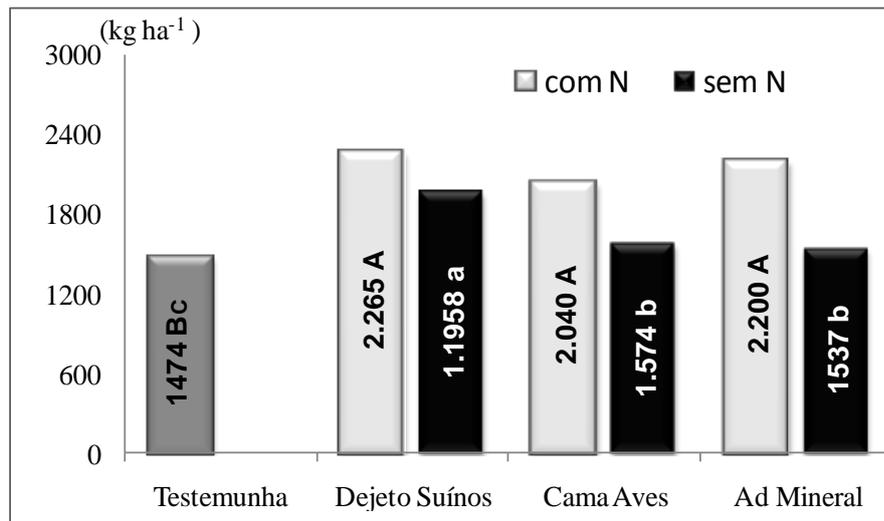


Figura 20 - Produtividade de grãos de trigo nas sub-parcelas COM e SEM reposição de N. As letras maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas as médias sem reposição de N (Teste de Tukey a 5% de probabilidade). São Martinho da Serra-RS, 2007.

Observa-se nos tratamentos com fontes orgânicas (cama e dejeito) e com adubo mineral que houve efeito positivo da reposição do N na produtividade do trigo. Nas sub-parcelas sem reposição do N, a maior produtividade foi obtida no tratamento com dejeito líquido, provavelmente devido ao maior teor de N amoniacal presente no primeiro (em média, os dejetos apresentaram 47% de N amoniacal e a cama apenas 14% em relação ao N total).

Esse resultado, no entanto, contraria a expectativa inicial de que a cama de aves apresentasse melhor efeito residual que o dejeito. O próprio Manual de Adubação e de Calagem (CQFS RS-SC, 2004) aponta um índice de eficiência de liberação do nitrogênio (IELN) para o segundo cultivo após a aplicação equivalente a 20% para a cama de aves e de 0% para o dejeito. Como foram aplicados 160 kg ha⁻¹ de N para a batata, era esperado teoricamente um residual para o trigo de 32 e 0 kg ha⁻¹ para a cama de aves e dejeito suíno, respectivamente, o que proveria 46% dos 70 kg ha⁻¹ requerido pelo trigo.

Uma possível explicação para esta diferença em favor do dejetos suíno é que o plantio do trigo ocorre sob baixas temperaturas e maior umidade no solo, de modo que a deficiência de N se fez sentir mais no tratamento com cama de aves, insumo mais lignificado e que possui menos N amoniacal. Assim, possivelmente, boa parte do N orgânico contido na fração mais recalcitrante da cama de aves demorou ainda mais para ser mineralizado/nitrificado no inverno. Também pode ter havido um residual bem menor do que os 20% da cama de aves em função da sua aplicação ter ocorrido em condições de alta temperatura e em um cultivo de batata de verão. Este fato favorece uma maior mineralização do N, uma vez que a própria eficiência relativa do nitrogênio aplicado via cama de aves no plantio de verão foi 29% superior à adubação mineral. Por outro lado, sabe-se que são maiores as perdas por volatilização da amônia no cultivo de verão (GIACOMINI & AITA, 2006), ainda mais que a aplicação dos adubos foi feita a lanço, sendo que a semi-incorporação pela própria plantadeira não pode ser feita na hora, uma vez que a operação de plantio de batata é um tanto quanto demorada (FIOREZE, 2005).

Do mesmo modo, os resultados sinalizam para que o residual do dejetos líquido suíno não deva ter sido igual a zero depois do cultivo da batata no verão (CQFS RS-SC, 2004). Na verdade, é bem razoável supor que tenha havido retardamento na nitrificação do N orgânico em função da pluviosidade acima da média (ver dados climatológicos nos Anexos 2 e 3), bem como adsorção do amônio pelos argilominerais do solo. Essa dinâmica da mineralização do N foi discutida no Capítulo 1, onde se observou na incubação do solo franco-argiloso (o mesmo deste estudo a campo) que houve uma severa redução da mineralização líquida do N adicionado via dejetos, principalmente na metade final da incubação. Isto significa que neste período houve uma importante contribuição da fração organomineral do próprio solo na disponibilidade de N mineral no solo, fazendo com que houvesse uma menor demanda de mineralização e, conseqüentemente, uma maior sobra para a safra seguinte (trigo).

Enfim, os resultados confirmam a tendência já apontada na discussão do efeito imediato na batata, qual seja de que é necessário considerar não só o tipo de solo, mas também a época de aplicação ou de cultivo (condição climática, dada pelas “normais” de temperatura do solo e umidade/pluviosidade), para uma indicação mais acurada do índice de eficiência de liberação de nutrientes em sucessão de cultivos, especialmente do N.

As equações obtidas através do experimento paralelo de resposta do trigo às doses crescentes de N mineral, tanto para produtividade de grãos como para produção de matéria seca, tiveram ótimas correlações, mostrando a adequação dos dados (figura 21).

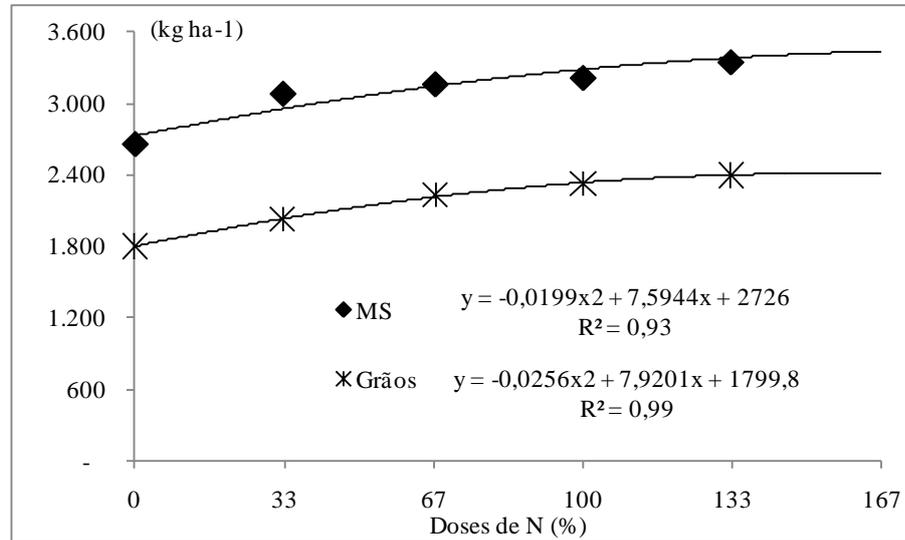


Figura 21 - Produtividade de matéria seca e de grãos do trigo em resposta a doses crescentes de N mineral. São Martinho da Serra-RS, 2007.

Em relação ao acúmulo de matéria seca e de nutrientes do cultivo do trigo, a tabela 12 adiante demonstra que, das sub-parcelas sem reposição de N, somente naquelas onde foi aplicado dejetos líquidos de suínos no verão anterior é que houve desempenho similar à sub-parcela com reposição do nitrogênio, o que se refletiu mais tarde na boa produtividade de grãos na colheita, conforme já discutido.

Tabela 12 – Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de N, P e K na cultura do trigo em sucessão ao cultivo de verão de batata. As letras minúsculas comparam as médias entre todas as subparcelas (Tukey a 5%). São Martinho da Serra-RS, 2007.

Tratamentos	Sub-parcela	MS kg ha ⁻¹	N		P		K	
			%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
Testemunha	-	1.417 c	2,4	37 c	0,3	3,7 c	3,3	46 c
Adubo mineral	Com N	3.293 a	2,7	90 a	0,3	10,5 a	3,5	115 a
	Sem N	2.387 b	2,3	54 b	0,3	6,8 b	3,3	79 b
Cama de aves	Com N	2.600 ab	2,4	64 ab	0,3	8,5 a	3,5	91 ab
	Sem N	2.147 b	2,4	52 b	0,3	7,1 ab	3,3	72 b
Dejetos líq. suínos	Com N	3.187 a	2,4	78 a	0,3	10,4 a	4,0	129 a
	Sem N	2.787 ab	2,3	66 ab	0,3	9,2 a	3,9	109 a

Cultivo do feijão

Os resultados do feijão preto mostram que não houve diferença significativa entre as produtividades obtidas com adubação orgânica e mineral, assim como nas sub-parcelas COM ou SEM reposição de N (Figura 22). Ou seja, neste segundo cultivo após a aplicação da cama de aves e dos dejetos suínos no plantio de inverno da batata, não se observou diferenças de efeito residual no cultivo do feijão, nem mesmo no tratamento adubo mineral.

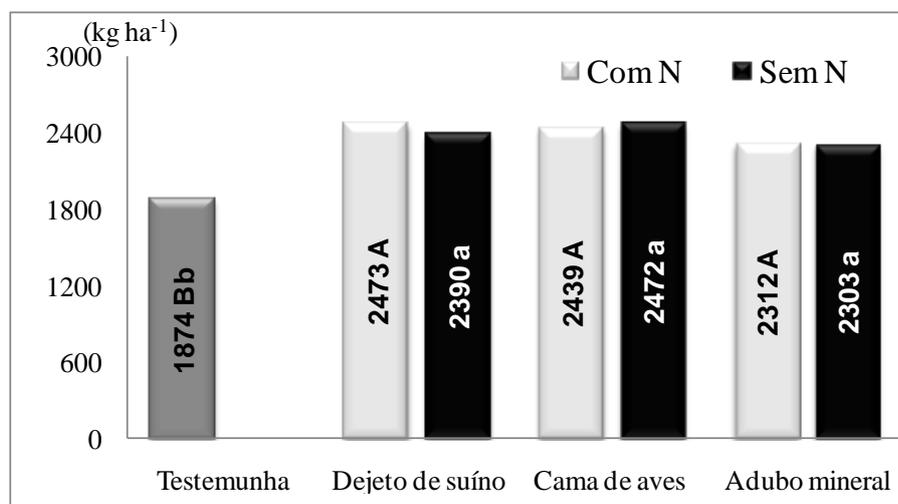


Figura 22 - Produtividade de grãos de feijão nas sub-parcelas COM e SEM reposição de N. As letras maiúsculas comparam entre si as médias COM reposição de N e as minúsculas as médias SEM reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). Silveira Martins-RS, 2008.

Para explicar estes resultados com feijão, inicialmente registre-se que a demanda do feijão era de apenas 50 kg ha⁻¹, menos que os 70 kg ha⁻¹ requeridos pela cultura do trigo. Associado isso, o feijão foi cultivado no resíduo da aplicação ao cultivo de batata de inverno, plantada no final de agosto e cuja emergência demorou 38 dias. Ou seja, que boa parte do ciclo da batata ocorreu sob umidade maior e temperaturas baixas, em média 10°C inferior nos primeiros meses pós-plantio em relação à batata de verão. Então houve um longo período inicial com menor atividade microbiana, principalmente da comunidade nitrificadora. Esta situação pode ter provocado um maior efeito residual dos dois adubos orgânicos no feijão.

Vale lembrar também que, conforme visto na tabela 08, a cama de aves e o dejeto suíno apresentaram no cultivo de batata de inverno uma eficiência negativa relativa à fonte mineral. Em outras palavras, o IELN dos adubos orgânicos para o segundo cultivo foi, na

realidade, maior do que o preconizado pela CQFS RS-SC (2004), em função do efeito climático. Assim, mais uma vez, ficou sinalizado que a condição climática pode ter sido mais impactante que o tipo de resíduo orgânico na eficiência do N, inferindo-se que o IELN não pode ser definido exclusivamente pela composição do adubo orgânico em questão.

As equações obtidas através do experimento paralelo de resposta do feijão às doses crescentes de N mineral, tanto para produtividade de grãos como para produção de matéria seca de feijão, obtiveram ótimas correlações dos dados (figura 23).

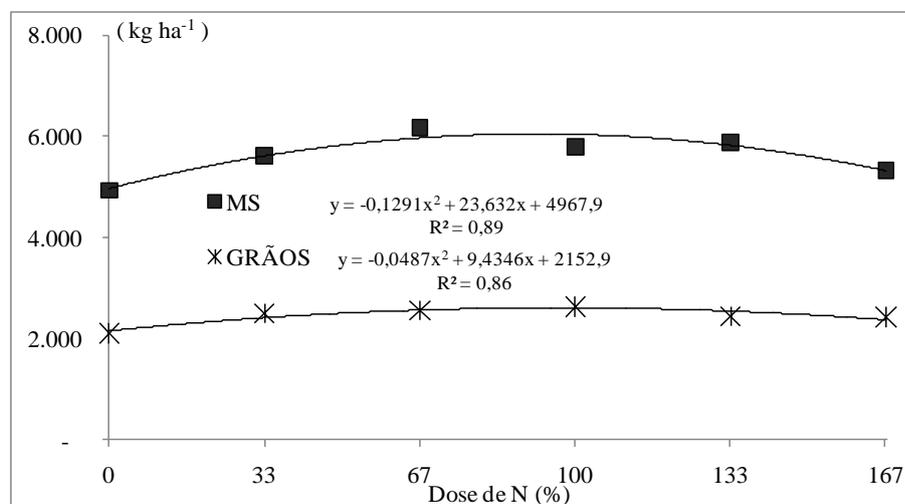


Figura 23 - Produtividade de MS e de grãos de feijão em resposta a doses de N mineral. Silveira Martins-RS, 2008.

Em relação ao acúmulo de matéria seca e de nutrientes do feijoeiro, a tabela 13 adiante demonstra que não houve grandes diferenças em termos de acúmulo de nutrientes entre os tratamentos e sub-parcelas com ou sem reposição do nitrogênio na cultura do feijoeiro, fato que também acabou se refletindo na produtividade final (apesar de ter havido diferença na matéria seca do tratamento com cama de aves, isso não se refletiu na colheita, conforme a figura 22).

Tabela 13 – Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de N, P e K na cultura do feijão em sucessão ao cultivo de inverno da batata. As letras maiúsculas comparam as médias entre todas as subparcelas (Tukey a 5%). Silveira Martins-RS, 2008.

Tratamento	Sub-parcela	MS kg ha ⁻¹	N		P		K	
			%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
Testemunha		4.556 B	2,6	119 B	0,2	9,8 B	2,7	125 B
Adubo mineral	Com N	5.556 A	2,5	138 A	0,3	14,3 A	3,2	178 A
	Sem N	4.978 AB	2,5	124 B	0,3	13,1 A	3,1	154 A
Cama de aves	Com N	5.244 A	2,7	143 A	0,3	12,9 A	2,7	139 AB
	Sem N	4.533 B	2,9	131 A	0,3	12,9 A	2,7	120 B
Dejeto líquido suínos	Com N	5.511 A	2,5	136 A	0,2	13,1 A	2,8	154 A
	Sem N	5.300 A	2,5	134 A	0,3	13,9 A	2,7	143 A

Cultivo do milho

O milho foi o terceiro cultivo em sucessão à aplicação de adubos para o cultivo de verão da batata, sucedendo a cultura do trigo. Nesta cultura não foi possível aproveitar os dados de colheita (produtividade de grãos) em função do ataque de pássaros e animais na fase de maturação. Sendo assim, neste trabalho constam somente os resultados de produção de matéria seca (MS) e acúmulo de nutrientes (N, P e K) pela cultura do milho na época do pendoamento, onde em tese ocorre a maior concentração de fotoassimilados (figura 24).

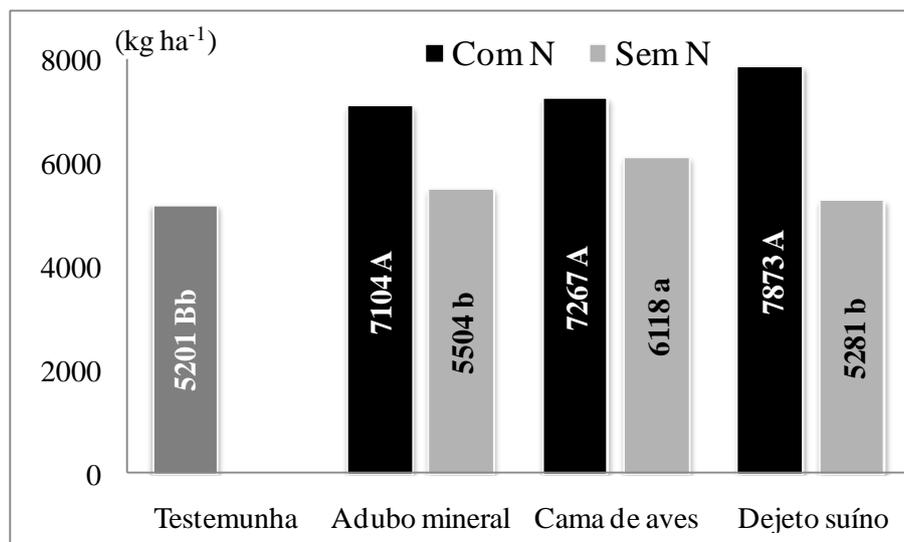


Figura 24 - Produtividade de MS de milho nas sub-parcelas COM e SEM reposição de N. As letras maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas sem reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). São Martinho da Serra, 2007-2008.

No caso do milho se observou diferenças nos tratamentos sem reposição de N, tendo sido significativamente melhor a produção de matéria seca na sub-parcela onde houve adubação com cama de aves. Ou seja, houve efeito residual para este dejetos no terceiro cultivo, conforme preconizado pela CQFS RS-SC (2004).

Foram aplicados 10,7 Mg ha⁻¹ de cama no cultivo de batata de verão (1º cultivo); deste total, restariam na sub-parcela sem reposição 20% para o segundo cultivo (trigo) e 10% ou 16 kg ha⁻¹ de N disponível para o terceiro cultivo (milho). Isso foi o fator determinante para esta resposta positiva na sub-parcela, a qual não ocorreu para o dejetos suíno (cujo IELN oficial é de 0% desde o segundo cultivo pós batata) e, claro, para o tratamento com adubo mineral.

Na tabela 14 a seguir se observa nos tratamentos sem reposição de nitrogênio que houve certo destaque para a matéria seca produzida e no acúmulo de nutrientes no tratamento com cama de aves em comparação com os dejetos suínos. Este resultado, mesmo não sendo acompanhado por maiores acúmulos de N (só de P e K) já sinalizava para que houvesse também um melhor efeito residual na produção de grãos. Porém, esta avaliação final não foi possível realizar pelos motivos expostos no material e métodos.

Tabela 14 – Produção de matéria seca, concentração (%) e acúmulo de NPK na cultura do milho (experimento “safrinha”). São Martinho da Serra-RS, 2008. As letras comparam as médias entre todas as subparcelas de todos os tratamentos (Tukey a 5% de probabilidade).

Tratamentos	Sub-parcela	N		P		K	
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
Testemunha	-	1,37	71 b	0,17	9 b	0,89	46 c
Adubo Mineral	Com N	1,35	95 a	0,14	10 b	1,03	73 b
	Sem N	1,21	66 b	0,22	12 b	1,23	68 bc
Cama de aves de corte	Com N	1,09	79 a	0,23	17 a	1,50	109 a
	Sem N	0,98	60 b	0,21	13 ab	1,34	82 ab
Dejetos líquido de suínos	Com N	1,27	100 a	0,23	18 a	1,24	97 a
	Sem N	1,11	59 c	0,21	11 b	1,25	66 bc

Cultivo da aveia preta

A aveia preta foi o terceiro cultivo em sucessão à aplicação de adubos para o cultivo de inverno da batata, sucedendo a cultura do feijão preto. Nesta cultura tão somente os resultados de produção de MS e acúmulo de nutrientes (N, P e K) foram avaliados porque a cultura não tem finalidade de grãos (Figura 25 e na Tabela 15).

No caso da aveia também se observou efeito residual nos tratamentos sem reposição de N, tendo sido significativamente melhor a produção de MS da sub-parcela ligada ao tratamento com cama de aves, de modo semelhante do que ocorreu no milho no “cultivo de verão”.

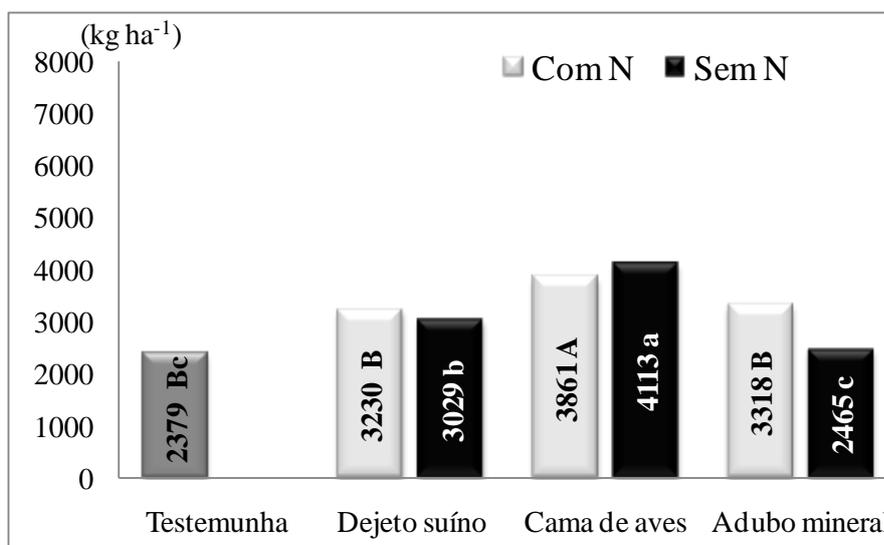


Figura 25 - Produtividade de matéria seca de aveia nas sub-parcelas COM e SEM reposição de N. As letra maiúsculas comparam as médias com reposição de N e as minúsculas sem reposição de N (Tukey a 5% de probabilidade). Silveira Martins - RS, 2009.

O efeito residual no feijão preto se deveu à aplicação de 6,5 Mg ha⁻¹ no “cultivo de inverno” de batata (1º cultivo, quase 10 meses antes), dose esta estabelecida para atender as recomendações de 140 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Deste total, restaram em tese para o terceiro cultivo um residual de N de 10% (14 kg ha⁻¹) para a aveia preta na sub-parcela sem reposição,

fator determinante para esta resposta significativa de MS. O mesmo não ocorreu para o dejetto líquido suíno e o adubo mineral, pelo residual de 0% desde o segundo cultivo após a batata.

Em relação à absorção de nutrientes (Tabela 15), nas sub-parcelas sem reposição de N, o dejetto suíno acumulou menos N, P e K na matéria seca da aveia em relação à cama de aves, comprovando o menor efeito residual do dejetto, em acordo com a CQFS RS-SC (2004).

Tabela 15 – Produção de matéria seca, concentração (%) e acúmulo de NPK na cultura da aveia preta (sistema de cultivo de inverno). Silveira Martins-RS, 2009.

Tratamentos	Sub-parcela	N		P		K	
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
Testemunha	-	1,99	47 bc	0,18	4 b	1,60	38 c
Ad. Mineral	Sem	1,72	42 bc	0,21	5 b	2,16	53 b
	Com	1,58	53 b	0,24	8 a	2,38	79 a
Cama de aves	Sem	1,62	67 a	0,23	10 a	2,15	88 a
	Com	1,62	63 a	0,26	11 a	2,28	88 a
Dejetto de suíno	Sem	1,65	50 b	0,25	8 a	2,12	64 b
	Com	1,96	63 a	0,25	8 a	2,26	73 a

2.4 - CONCLUSÕES

O suprimento de N no cultivo de batata com a aplicação de cama de aves corte e do dejetto líquido de suínos, adotando seus respectivos índices de eficiência de liberação preconizados pela CQFS RS-SC (2004), foi adequada no cultivo de verão, mas no inverno significativamente abaixo da eficiência do adubo mineral.

Os resultados de efeito residual dos adubos orgânicos nos segundo cultivos dos sistemas de verão e inverno, também não confirmaram as expectativas da recomendação oficial. A cama de aves de corte, que tem um IELN de 20% no segundo cultivo (CQFS), teve desempenho inferior ao esperado na comparação com o dejetto suíno e adubo mineral.

Somente nos terceiro cultivos dos sistemas de verão e inverno é que as expectativas de efeito residual dos adubos orgânicos se confirmaram, com maior eficácia para a cama de aves, cujo residual previsto é de um IELN de 10% (CQFS).

Estes resultados reforçam a necessidade de estudos sobre o efeito do fator “condição climática” ou época de cultivo sobre a decomposição, mineralização e liberação de nutrientes nos solos com aplicação de adubos orgânicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A idéia de avaliar o efeito dos fatores tipo de solo e época de cultivo (condições climáticas) nos capítulos 1 e 2 mostrou-se válida na medida em que confirmou o impacto de ambos na dinâmica e na mineralização do N em solos onde foram adicionados dois tipos distintos de adubos orgânicos. E mais, indicou claramente que estes fatores tiveram influência preponderante sobre o tipo de adubo orgânico, fator este considerado praticamente exclusivo no estabelecimento da eficiência de liberação de nutrientes pela CQFS RS-SC (2004).

Ficou comprovado no estudo de incubação (capítulo 1) que o tipo de solo (textura e/ou área superficial específica) impacta significativamente no processo de imobilização amoniacal e mineralização líquida do nitrogênio sob adubação orgânica e que isso pode gerar importantes implicações agronômicas (na disponibilização adequada do nitrogênio e outros nutrientes) e ambientais (perdas de N do sistema solo).

Em relação às condições climáticas (capítulo 2), na medida em que reconhecidamente há diferenças significativas de regime térmico e hídrico em regiões subtropicais como o Sul do Brasil, fica evidente necessidade de aprofundar estudos aplicados principalmente àquelas culturas que são cultivadas em várias épocas do ano, como é o caso da maioria das olerícolas e da própria cultura da batata.

Em relação às tendências apontadas pelos resultados aqui obtidos, estas foram em síntese: 1º) o fator condição climática aponta para uma redução do IELN no cultivo de inverno com a necessidade de aumentar as doses de adubos orgânicos; 2º) o fator tipo de solo, a curto prazo, favorece a liberação de N e aumenta o potencial de perdas de nitrato, podendo se pensar em aumentar o IELN para solos mais arenosos, bem como praticamente torna obrigatório o parcelamento da adubação nitrogenada.

A grande diversidade climática e textural / mineralógica dos solos do Sul do Brasil, justifica a realização de mais pesquisas para aperfeiçoar o sistema oficial de recomendação da adubação orgânica para a cultura da batata e diversos outros cultivos, pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do RS e SC. Inclusive utilizando-se de técnicas e

de metodologias que permitam avaliar a interação dos dois fatores (condições climáticas e tipo de solo) e uma amplitude maior de resíduos orgânicos.

Finalmente, e considerando:

- que a Agroecologia (que é uma Ciência, mas infelizmente é confundida ou propositalmente reduzida a um tipo de produto) traz desafios aos profissionais das Ciências Agrárias em todos os campos do conhecimento para um esforço concentrado de construção de bases científicas para uma agricultura mais sustentável;
- que o foco da pesquisa pública agropecuária deveria, em minha opinião, ter prioridade na agricultura familiar, por suas inúmeras vantagens multifuncionais (segurança alimentar, geração de emprego e renda, patrimônio cultural e preservação da biodiversidade, entre outros).
- que os recursos disponíveis para a agricultura, inclusive a pesquisa, são insuficientes e tem-se produções cada vez maiores e mais concentradas de resíduos orgânicos.

Enfim, torna-se urgente e vital também que haja mais investigações sobre eficiência da adubação orgânica e o desenvolvimento de parâmetros relacionados ao seu uso adequado e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; FRIES, M. R.; GIACOMINI, S. J. **Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais**. Apresentação na FERTBIO 2000. Santa Maria. 47p. 2000.

AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**. V.27, n.4. p. 601-612. 2003.

ANDRIOLO, Jerônimo L. et al. Curva crítica de diluição de nitrogênio da cultivar Asterix de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.41. n.7. p. 1179-1184. 2006.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. **Adubação nitrogenada no Brasil**. CEPLAC-SBCS, p.244-273. 1985.

ARNS, A.P. **Eficiência fertilizante da cama sobreposta de suíno**. 2004. 99p. Dissertação de mestrado. Universidade de Passo Fundo.

AZEEZ, J.O. & AVERBEKE, W. Van. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. **Bioresource Technology**. V. 10. p.1016. 2010.

BARCELLOS, L. A. R. **Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos**. 1992. 108 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. 2003. 144p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; SILVEIRA, M. J.; PAVINATO, P. S. Perdas de nitrogênio do esterco líquido de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**. V. 34. p. 1773-1778. 2004.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. p. 9-26. 1999.

BECHINI, L. & MARINO, P. Short-term nitrogen fertilizing value of liquid dairy manures is mainly due to ammonium. **SSSAJ**. V. 73. n. 6. p. 2159-2169. 2009.

BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos**. 2006. 102 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 107p. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

CALDERÓN, F. J. et al. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. **Biol. Fertil. Soils**. V. 41. p 328–336. 2005.

CARGNIN, R. H. **Biotransformações do nitrogênio no solo durante a decomposição de palha de trigo e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 74p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável**. Programa de Formação Técnico-Social da EMATER-RS. Texto. Porto Alegre-RS, 2002.

CERETTA, C. A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 38, n. 6, p. 729-735.2003.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I- perdas de N e P na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**. V. 35. p. 1296-1304,2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS) RS-SC. **Manual de Adução e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. P. Alegre: 394p. 2004.

DAROLT, M. R. et al. Análise comparativa entre o sistema orgânico e o convencional de batata comum. 15p. 2003. In: AHRENS, D. et al. **Agroecologia no IAPAR: resumos de projetos de pesquisa e trabalhos publicados de 2004 a 2009**. 163p. 2009.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C. e TUMELERO, I. L. Manejo de dejetos de suínos. **BIPERS** (Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão Rural – EMBRAPA Suínos e Aves e EMATER/RS). nº 11. 32 p. 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro: 211 p.1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA/CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª edição. Brasília. 306p. 2006.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Rev. Bras. Eng. Agrícola & Ambiental**. V. 2. p. 6-16. 1998.

FIGUEROA, E.A.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; WIETHÖLTER, S. **Efeito do esterco de ave poedeira no rendimento de grãos de trigo**. I SIGERA. p. 316-320. 2009. Florianópolis. Anais.

FIGUREZE, C.; THUROW, S.; ROJAHN, P.; SECCHIN, J. **Diagnóstico das regiões produtoras de batata do Rio Grande do Sul**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO DA CULTURA DA BATATA. 1997. Santa Maria. Anais: UFSM: CCR. 997.

FIGUREZE, C. Aspectos sócio-econômicos da bataticultura no RS. In: PEREIRA, A.S. & DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA-Clima Temperado, Informação Tecnológica. p. 450-467. 2003.

FIGLIANO, C. **Transição agroecológica em sistemas de produção de batata**. 2005. 118p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

FIGLIANO, C. & CERETTA, C. A. Fontes orgânicas de nutrientes em sistemas de produção de batata. **Revista Ciência Rural**. V. 36. n.6. p.1788-1793. 2006.

FRACARI, P. R.; FIGLIANO, C.; KUBOTA, E. H.; CERETTA, C. A. **Teores de carboidratos e matéria seca em tubérculos de batata cv. Macaca, sob nutrição orgânica e mineral**. In: FERTBIO, 2004, Lages. 1CD. 2004.

FRANCHI, E. A. **Dinâmica do N no solo e produtividade de milho, aveia e ervilhaca com o uso de dejetos de suínos em plantio direto**. 2001. 70p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

FROTA, J. N. & REBOUÇAS, M. A. Relação matéria orgânica – nitrogênio em solos do Ceará - Brasil. **Ciência Agrônômica**. V.4. p. 31-33. 1974.

GAMA-RODRIGUES, E. F. & DE-POLLI, H. **Biomassa na ciclagem de nutrientes**. Santa Maria: Fertbio 2000, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 1 CD.

GIACOMINI, S. J. **A avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos**. 2005. 247p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

GIACOMINI, S. J. & AITA, C. Uso de dejetos animais em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. et al. (org.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre. Genesis. 216 p. 2006.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos sustentáveis em agricultura sustentável**. Ed. UFRGS, Porto Alegre. 653p. 2001.

GIANELLO, C. et al. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. **Rev. Bras. de Ciência do Solo**. V. 24. p. 93-101. 2000.

GREENLAND, D.J. et al. Organic matter dynamics in soil of the tropics: from myth to complex reality. In: **Myths and science of soils of the tropics**. ASA / SSA, p. 17-33. 1992.

GRIFFIN, T.S. & HONEYCUTT, C.W. Manure composition affects net transformation of nitrogen from dairy manures. **Plant and Soil**. V. 273. p. 29–38. 2005.

HUTCHISON, C. M. W.; WALWORTH, J. L. Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization and nitrification on nitrogen fertilizer availability in soil experimentally contaminated with diesel. **Biodegradation**. V. 18. p. 133-144. 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: INMET. 84 p. 1992.

JANTALIA, C. P. et al. Estoques de C e N no solo após 17 anos sob preparo convencional e plantio direto em dois sistemas de rotação de culturas em Cruz Alta. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 13**. EMBRAPA Agrobiologia. 42p. 2006.

KHALIL, M. I. et al. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of subtropic treated with organic materials. **Soil Biology and Biochemistry**. V. 37. p. 1507-1518. 2005.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. V Seminário Técnico da Cultura de Milho de Videira-SC. 16p. 2003.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.27. p. 821-832. 2003.

MARQUES, M.G. **Transformações do carbono e do nitrogênio no solo e produção de aveia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto**. 2005. 85p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

McLAUHLAN, K. K. Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture. **Geoderma**. V.136. p. 289-299. 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A & CAMARGO, F.A.O. (org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. p. 1-8. 1999.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 1v. 626 p. 2002.

MÜLLER, T.; HOPPER, H. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: consequences for model applications. **Soil Biology and Biochemistry**. V. 36. p. 877-888. 2004.

MYIAZAKA, S. et al. Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas em SP. **Fundação Cargill**. 44 p. 1984.

NEVES, M. C. P. et al. Por que não utilizar uréia como fonte de n na agricultura orgânica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. V.19. n.2. p. 313-331. 2002.

NEME, Rafael et al. Adição de gesso agrícola em três tipos de cama de aviário na fixação de nitrogênio e no desempenho de frango de corte. **Ciência Rural**. V. 30. p. 687-692. 2000.

PANDOLFO, C. M. & CERETTA, C. A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**. V.38. p. 1572-1580. 2008

PAULA, A.L de. **Acúmulo de massa seca e nitrogênio durante o crescimento e desenvolvimento da cultura da batata**. 37p. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria.

PAVINATO, P.C. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ciência do Solo**. V. 32. p. 911-920. 2008.

PILLON, C. N. Manejo da matéria orgânica em agroecossistemas. **Embrapa Clima Temperado**. Pelotas. 16 p. Série: Documentos nº 150. 2005.

POLIDORO, J. C. **Fertilizantes orgânicos reduzirão dependência brasileira de nutrientes.** In:<http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acessado em 15/10/2009.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, V. 38. n. 7. p. 857-865. 2003.

QUADROS, V. J. et al.. Associações biológicas e atributos econômicos em sistemas de cultivo orgânico de batata, soja, feijão e milho. **Resumos PPGCS UFSM**. Santa Maria. 4 p. 2004.

REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e Test.e. **Ciência Rural**. V. 36. n. 6. p.1931-1935. 2006.

REIS JÚNIOR, R. A. & FONTES, P. C. R. Qualidade de tubérculos da batateira em função de doses de adubação potássica. **Horticultura Brasileira**. Brasília. V. 14. p. 170-174. 1996.

RHEINHEIMER, D.; GATIBONI, L. C. e KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**. V. 38. n.2. p. 576-586. 2008.

SAGGAR, A. S et al. ¹⁴C-labelled ryegrass turnover and residence times in soils varying in clay content and mineralogy. **Soil Biology & Biochemistry**. V.28. p. 1677-1686. 1996.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da Região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. **Boletim Técnico EPAGRI**, nº 79. 46 p. 1996.

SCHERER, E. E. . Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante. **Boletim Técnico Epagri**. Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar. 11p. 2000.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos suínos são um fertilizante ou um poluente? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília. V 16. n. 3. P. 129-141. 1999.

SISTANI, K. R. et al. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. **Bioresource Technology**. V. 9. p. 2603–2611. 2008.

SÖRENSEN, P. Short-term nitrogen transformations in soil amended with animal manure. **Soil Biology & Biochemistry**. V. 33. p. 1211-216. 2001.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 174. 1995.

TELES, C. R., MUNARO, C. J. & CASSINI, S. T. A. Modelagem da decomposição aeróbia de lodo de esgoto em solos com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.13. n.2. p.197–203. 2009.

TEIXEIRA, L. et al. Adubação orgânica e mineral na produtividade da cultura da batata cv Mondial. **Resumos**. Curso de Engenharia Agrônômica. Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal– SP. 2 p. 2000.

TIECHER, T. L. et al. Produção de grãos e material seca em culturas com o uso de diferentes doses e fontes de nutrientes. Londrina: FERTBIO, 2008. 1CD.

THOMSEN, I. K. et al. Mineralization of ¹⁵N-labelled sheep manure in soils of different texture and water contents. **Biology & Fertility Soils**. V. 37. p.295–301. 2003.

WANG, W. J. et al. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biology and Biochemistry**. V.35, p. 273-284, 2003.

WEILER, D. A. et al. **Avaliação do potencial de nitrificação e mineralização do N de dejetos suínos no solo**. Gramado: XXXI CBCS, 2007. 1 CD.

YORINORI, G.T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. Atlantic**. 79 p. 2003. Dissertação Mestrado. ESALQ - Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Anexo A - Imagem de satélite das duas aéreas experimentais: acima a “safrinha de verão” (captada 18/02/2008) e abaixo a “safra de inverno” (captada em 29/09/2009), ambas extraídas do software *Google Earth*.



Anexo B - Dados climáticos de janeiro de 2007 a dezembro de 2009

Período		Temperatura (°C)		Precipitação (mm)		
Ano	Mês	Máx. ¹	Mín. ¹	Santa Maria ¹	Silveira Martins ²	S. Martinho da Serra ²
2007	Jan	30,8	20,5	163,9	234,0	97,5
	Fev	31,1	19,5	145,2	135,0	184,0
	Mar	30,1	20,4	173,6	134,0	180,0
	Abr	27,5	16,7	116,0	129,0	104,5
	Mai	20,1	9,3	102,8	208,0	180,0
	Jun	19,2	10,3	131,6	139,0	108,0
	Jul	16,8	7,0	75,6	142,0	45,0
	Ago	19,4	9,0	112,8	100,0	96,0
	Set	24,8	14,9	211,3	347,9	220,0
	Out	26,0	16,6	113,2	197,5	128,0
	Nov	27,1	14,6	105,0	94,0	35,0
	Dez	31,3	18,2	202,1	211,0	145,0
2008	Jan	30,3	19,1	95,7	61,0	88,0
	Fev	30,6	18,7	127,3	170,0	131,0
	Mar	29,4	18,1	106,9	49,0	72,0
	Abr	26,1	13,3	131,9	157,0	70,0
	Mai	22,7	11,3	131,7	191,0	203,0
	Jun	17,5	8,2	157,7	159,0	147,0
	Jul	21,0	12,8	176,8	223,0	199,0
	Ago	20,9	10,2	124,1	151,0	124,0
	Set	20,9	10,3	120,8	219,0	61,5
	Out	24,6	14,8	255,3	327,0	404,0
	Nov	29,6	17,2	55,6	49,0	72,0
	Dez	30,8	18,1	46,7	78,0	53,0
2009	Jan	29,9	18,1	162,1	108,0	203,5
	Fev	30,3	19,8	166,1	220,0	268,0
	Mar	29,2	18,4	131,7	126,0	121,0
	Abr	27,1	13,9	25,6	23,0	15,0
	Mai	23,6	12,1	96,5	137,0	144,0
	Jun	18,5	7,3	85,2	100,0	10,0
	Jul	17,1	6,1	91,4	100,0	95,0
	Ago	23,2	11,4	196,9	240,0	238,0
	Set	20,8	12,5	345,6	259,0	225,0
	Out	25,5	13,5	108,7	131,0	35,0
	Nov	28,3	19,2	519,6	496,0	200,0
	Dez	29,8	19,9	296,7	262,0	155,0

Fontes: INPE(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-UFSM)¹ e Brigada Militar/Defesa Civil-RS²

**Anexo C - Dados climatológicos normais registrados na Estação Meteorológica da
Universidade Federal de Santa Maria – RS (1960-1991).**

Mês	t °C máxima	t °C mínima	t °C média	Amplitude térmica	Precipitação (mm)
Jan	30,7	19,7	24,7	11,0	148,0
Fev	29,9	19,6	24,1	10,3	134,9
Mar	28,6	18,2	22,5	10,4	137,3
Abr	25,0	14,9	19,0	10,1	143,3
Mai	21,9	11,8	15,9	10,1	150,5
Jun	19,4	9,9	13,8	9,5	155,4
Jul	19,4	9,8	13,8	9,5	143,4
Ago	20,8	10,6	14,9	10,2	126,8
Set	22,0	11,8	16,3	10,3	159,8
Out	24,9	14,3	19,1	10,6	159,1
Nov	27,4	16,1	21,4	11,3	120,1
Dez	29,8	18,4	23,8	11,5	133,7

Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 1992.

Anexo D - Evolução da produtividade média de tubérculos de batata (kg ha^{-1}) em várias unidades administrativas do Brasil entre os anos de 2001 e 2008.

Unidade	Ano			
	2001	2004	2006	2008
Brasil	18.499	21.352	22.380	25.372
Região Sul do Brasil	13.749	15.569	16.857	20.158
Rio Grande do Sul (RS)	10.371	11.360	13.884	16.192
Silveira Martins (RS)	12.840	15.500	16.875	19.333
São Martinho da Serra (RS)	14.250	13.875	13.125	14.625

Fonte: IBGE-SIDRA (<http://www.sidra.ibge.gov.br>). Acessado em abril 2010.

Anexo E - Índice de Recuperação Aparente de Nutrientes (IRAN) do Nitrogênio, Fósforo e Potássio nas várias fases e órgãos da planta de batata nos experimentos “cultivo de verão” e “cultivo de inverno”. São Martinho da Serra-RS e Silveira Martins-RS (2007 a 2009).

Fonte de Adubação da Batata	N total disp.	IRAN Nitrogênio (%)					P total disp.	IRAN Fósforo (%)					K total disp.	IRAN Potássio (%)				
		Floração				Colheita		Floração				Colheita		Floração				Colheita
		PA	Tub.	Raiz	Total	Tub.		PA	Tub.	Raiz	Total	Tub.		PA	Tub.	Raiz	Total	Tub.
<i>.....Experimento Batata – Cultivo de de verão</i>																		
Adubo Mineral	160	9,3%	2,3%	0,4%	12,1%	20,5%	87	1,5%	0,4%	0,1%	2,0%	3,8%	116	12,4%	1,6%	0,2%	14,2%	24,2%
Cama de aves	160	5,3%	2,5%	0,1%	7,9%	25,9%	101	0,8%	0,4%	0,1%	1,3%	5,5%	232	6,2%	1,1%	0,4%	7,7%	16,6%
Dejeto suíno	160	10,1%	1,6%	0,3%	12,0%	26,3%	87	1,7%	0,3%	0,1%	2,1%	3,4%	116	26,6%	1,7%	1,5%	29,8%	29,8%
<i>.....Experimento Batata – Cultivo de inverno</i>																		
Adubo mineral	140	28,5%	3,5%	1,0%	33,0%	30,2%	157	1,7%	0,8%	0,1%	2,7%	3,9%	133	34,0%	5,3%	1,3%	40,6%	44,6%
Cama de aves	140	14,9%	2,1%	0,7%	17,7%	11,5%	157	1,6%	0,6%	0,1%	2,3%	3,2%	133	22,4%	4,6%	0,5%	27,5%	22,6%
Dejeto suíno	140	17,9%	1,5%	0,8%	20,2%	17,9%	157	1,3%	0,4%	0,1%	1,8%	2,7%	133	21,4%	2,3%	0,4%	24,1%	26,5%

