

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

**NITRATO NA SOLUÇÃO DO SOLO E NA ÁGUA DE FONTES
PARA CONSUMO HUMANO NUMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA PRODUTORA DE FUMO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Douglas Rodrigo Kaiser

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**NITRATO NA SOLUÇÃO DO SOLO E NA ÁGUA DE FONTES
PARA CONSUMO HUMANO NUMA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA PRODUTORA DE FUMO**

por

Douglas Rodrigo Kaiser

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**

Orientador: Prof. Dr. Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil.

2006

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**NITRATO NA SOLUÇÃO DO SOLO E NA ÁGUA DE FONTES PARA
CONSUMO HUMANO NUMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA
PRODUTORA DE FUMO**

elaborada por
Douglas Rodrigo Kaiser

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Dalvan José Reinert
(Presidente/Orientador) - CCR - UFSM**

**Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos
CCR - UFSM**

**Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC**

Santa Maria, 24 de novembro de 2006

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Solos, que possibilitaram a realização do curso de mestrado.

Ao professor Dalvan José Reinert, pela orientação, pela dedicação, pelos ensinamentos e pela amizade, tanto durante a graduação como no mestrado;

Ao professor José Miguel Reichert, pelas sugestões, ensinamentos, e pela amizade.

Aos professores Celso Aita e Danilo Rheinheimer dos Santos, pelas sugestões e contribuições para a realização deste trabalho.

Aos demais professores do departamento de solos pelos ensinamentos e pelo incentivo.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Flávio Fontinelli, que sempre nos ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos demais colegas do programa de pós-graduação em Ciência do Solo, pelo apoio e incentivo, em especial ao Fabrício de Araújo Pedron, pelos auxílios prestados.

Aos colegas Carlos Arnaldo Streck, André Pellegrini, João Pellegrini e Celso Gonçalves pela ajuda prestada no início do trabalho.

Agradeço de maneira especial à colega e amiga Letícia Sequinatto e aos bolsistas de iniciação científica e amigos: Fabiano Braga, Leandro Dalbianco, Maurício Kunz, Adão Corcini, Stefen Pujol, Vinícius Hilbig, Olavo Gabriel Santi, André Copetti, Paulo Gubiani, Marcelo Mentges, Sidinei Stürmer. À vocês meu muito obrigado, pois cada número apresentado nesta dissertação também foi fruto de vosso trabalho e dedicação.

Aos demais colegas e amigos do Laboratório de Física do Solo, pela amizade, incentivo e pelos momentos de descontração.

À comunidade de Nova Boêmia, pela hospitalidade e pela valorização de nosso trabalho.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos e ao CNPq por parte do auxílio financeiro.

À minha família, que mesmo estando distante, pelo apoio, pelo carinho, e pelo incentivo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

NITRATO NA SOLUÇÃO DO SOLO E NA ÁGUA DE FONTES PARA CONSUMO HUMANO NUMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA PRODUTORA DE FUMO

Autor: Douglas Rodrigo Kaiser

Orientador: Dalvan José Reinert

Local e data da defesa: Santa Maria, 24 de novembro de 2006.

A fumicultura no Rio Grande do Sul é desenvolvida em propriedades familiares em regiões ecologicamente frágeis, com solos rasos e alta declividade. Nessas regiões nascem rios e ocorre a formação de pequenas bacias hidrográficas. As áreas são fragilizadas por sistemas de manejo do solo impróprios para aquelas condições e, para manter a capacidade produtiva, recebem anualmente altas doses de fertilizantes e agrotóxicos, seguindo-se um pacote tecnológico difundido pelas agroindústrias fumageiras, que desconsidera as condições ambientais e os atributos do solo. O objetivo deste trabalho foi monitorar a concentração de nitrato na solução do solo, sob diferentes condições de uso e manejo, e na água de duas fontes usadas para o abastecimento doméstico, e relacioná-las com a influência antrópica. O estudo foi conduzido na microbacia hidrografia do Arroio Lino, localizada no distrito de Nova Boêmia, Agudo-RS. A área da microbacia apresenta alta declividade e nela predominam Neossolos e Chernossolos. A solução do solo foi extraída com lisímetros de tensão com cápsulas porosas na região da zona radicular do fumo (0,15 a 0,20 m) e abaixo dessa (0,30 a 0,50 m), logo após as principais chuvas ocorridas durante o ciclo do fumo. Os dados de precipitação foram obtidos de uma micro-estação meteorológica automatizada instalada na microbacia. Na safra de 2004/2005, os lisímetros foram instalados num experimento, sob Neossolo Litólico, com sistemas de manejo para a implantação da cultura do fumo, sendo monitorado o sistema plantio direto (PD), cultivo mínimo (CM) e preparo convencional (PC). Na safra de 2005/2006, os lisímetros foram instalados em cinco transeções distribuídos na paisagem, abrangendo lavouras de fumo, mata e campo nativo. As duas fontes monitoradas estavam localizadas na encosta, sendo que uma delas apresentava uma faixa de 15 m de mata na sua volta e, acima dessa, era cultivado fumo. A outra fonte estava protegida pela mata e não apresentava influência antrópica nas suas proximidades. Nos pontos de cada transeção, avaliaram-se a densidade do solo, porosidade do solo, condutividade hidráulica saturada e curva de retenção de água. Nos sistemas de manejo do solo os teores de nitrato variaram de 8 a 226 mg L⁻¹ e foram maiores após a adubação de base e decresceram ao longo do ciclo. Os níveis mais altos foram obtidos no CM e os menores no PD. Os teores médios de nitrato na zona radicular foram de 75 no PD, 95 no CM e 49 mg L⁻¹ no PC. Abaixo da zona radicular os teores médios foram de 58 no PD, 108 no CM e 36 mg L⁻¹ de nitrato no PC. O solo nas transeções apresentou baixa densidade, baixa capacidade de armazenamento de água, alta porosidade e alta condutividade hidráulica saturada. O nitrato atingiu profundidades abaixo da zona de exploração radicular (0,5m). Os teores de nitrato foram superiores nas lavouras em relação ao campo e à mata nativa, atingindo 80 mg L⁻¹ nas áreas com fumo. A fonte (poço) que se encontrava abaixo das lavouras de fumo teve maiores concentrações de nitrato, superando o limite crítico de 10 mg L⁻¹ em alguns períodos.

Palavras-chave: fumicultura; cultura do fumo; contaminação da água; lixiviação de nitrato; bacia hidrográfica, lisímetro de tensão.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post -Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

NITRATE IN THE SOIL SOLUTION AND IN THE WATER OF WELLS USED FOR HUMAN CONSUMPTION IN A TOBACCO PRODUCING WATERSHED

Author: Douglas Rodrigo Kaiser

Adviser: Dalvan José Reinert

Place and date of the defense: Santa Maria, November 24, 2006.

The tobacco production system in Rio Grande do Sul state is mainly developed in small farms, using shallow soils in steep slope. In these areas rivers are born forming small watersheds. The areas are fragilized by use of inappropriate tillage systems causing soil degradation. To compensate this, new areas are included in the production system, after deforestation and not following environmental legislations rules. In order to maintain yield of the degraded areas is needed high fertilization rates and agrochemical application, following a technology package recommended by tobacco industry. Adding to this the fact, that tobacco has a low efficiency of nutrient use. The objective of this study, was monitored the nitrate concentration of soil solution in several soil management and use and in two domestic well used for drinking water. The study was carried out at Arroio Lino watershed, located in Nova Boemia district of Agudo county, state of Rio Grande do Sul. The area of the watershed presents high steepness and it prevails Entisols and Mollisols. The soil solution was extracted with tension lysimeters equipped with ceramic porous cup installed at rooting depth (0,15 or 0,2 m) and below this depth (0,3 or 0,5 m), after the main rains happened during the tobacco cycle. The precipitation data were obtained from an automated meteorological station installed at central part of watershed. In 2004/2005 agricultural year, the nitrate concentration was measured in lysimeters installed in a soil management experiment, in an Entisol, including tobacco no-tillage (NT), minimum tillage (MT) and conventional tillage (CT). In 2005/2006 agricultural year, the nitrate concentration was measured in five transects distributed in several places of the watershed, including tobacco plantation, forest and grass field. Two domestic wells located at lower position of landscape were monitored to nitrate concentration. One of those was located at a position which had above it 15 m stripe of forest and after had tobacco plantation, and the other had no tobacco plantation at position above it. At the points of each transect was evaluated bulk density, soil porosity, saturated hydraulic conductivity and soil water retention curve. The soil tillage systems experiment showed higher value of nitrate concentration after starter fertilization application and decreased along of plant cycle, with content varying from 8 to 226 mg L⁻¹. The highest concentration was observed at MT and lowest at NT. The average nitrate concentration in the rooting zone (0,2 m) was 75 for PD, 95 for MT and 49 mg L⁻¹ for CT. Below the rooting zone, the average was 58 for NT, 108 for MT and 36 mg L⁻¹ for CT. The soil in the transects presented low bulk density, low water storage, high porosity and high saturated hydraulic conductivity. The nitrate reached depths bellow rooting zone and its concentration was higher at tobacco plantation than at forest and grass field, reaching values as high as 80 mg L⁻¹ in tobacco plantation. The well located below tobacco plantation had higher nitrate concentration, overcoming the critical limit of 10 mg L⁻¹ in some periods.

Key words: tobacco crop; water contamination; soil solution; nitrate leaching, watershed; tension lysimeters.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Composição granulométrica do horizonte Ap e A1 do Neossolo da área experimental..... 29

Tabela 2 -Concentração média de nitrato ao longo do período de coleta..... 43

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Composição granulométrica da camada superficial do solo nos pontos monitorados..... 59

Tabela 2 -Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo..... 61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Preparo convencional (PC) do solo para a implantação da cultura do fumo.....	30
Figura 2 - Cultivo mínimo (CM) do solo para a implantação da cultura do fumo.....	31
Figura 3 - Plantio direto (PD) da cultura do fumo.....	31
Figura 4 - Precipitação e temperatura do ar durante o período das avaliações.....	34
Figura 5 - Infiltração de água durante algumas precipitações nos sistemas de manejo para a implantação da cultura do fumo. Os valores acima das colunas correspondem à precipitação ocorrida.....	35
Figura 6 – Frequência de coleta de solução do solo nas profundidades de 0,15 e 0,30 m nos sistemas de manejo do solo para a implantação da cultura do fumo.....	36
Figura 7 – Concentração de amônio na zona radicular após o transplante do fumo.....	37
Figura 8 – Concentração de amônio abaixo da zona radicular após o transplante do fumo.....	38
Figura 9 – Concentração de nitrato na zona radicular após o transplante do fumo.....	39
Figura 10 – Concentração de nitrato abaixo da zona radicular após o transplante do fumo.....	40
Figura 11 - Frequência de concentração de nitrato na solução do solo na zona radicular do fumo (0,15 m).....	42
Figura 12 - Frequência de concentração de nitrato na solução do solo abaixo da zona radicular do fumo (0,30 m).....	42

CAPÍTULO II

Figura 1 – Lisímetros de tensão com cápsulas porosas de cerâmica utilizados para extrair a solução do solo.	53
Figura 2 - Localização dos pontos de coleta na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS.....	54
Figura 3 - Distribuição dos pontos de coleta de solução do solo nas transeções na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS.....	55
Figura 4 - Condutividade hidráulica do solo saturado nos pontos localizados na transeção 1.....	62
Figura 5 - Condutividade hidráulica do solo saturado nos pontos localizados na transeção 2.....	63
Figura 6 - Condutividade hidráulica do solo saturado nos pontos localizados na transeção 3.....	64
Figura 7 - Condutividade hidráulica do solo saturado nos pontos localizados na transeção 4.....	65
Figura 8 - Curvas de retenção de água no solo para os pontos localizados na transeção 1.....	67
Figura 9 - Curvas de retenção de água no solo para os pontos localizados na transeção 2.....	68
Figura 10 - Curvas de retenção de água no solo para os pontos localizados na transeção 3.....	69
Figura 11 - Curvas de retenção de água no solo para os pontos localizados na transeção 4.....	70
Figura 12 - Precipitação e temperatura do ar durante o período das avaliações.....	71
Figura 13 - Concentração de nitrato na solução do solo dos pontos localizados na transeção 1.....	72
Figura 14 - Concentração de nitrato na solução do solo dos pontos localizados na transeção 2.....	74
Figura 15 - Concentração de nitrato na solução do solo dos pontos localizados na transeção 3.....	75
Figura 16 - Concentração de nitrato na solução do solo dos pontos localizados na transeção 4.....	76

Figura 17 - Concentração de nitrato na solução do solo dos pontos localizados na transeção 5.....	77
Figura 18 - Concentração de nitrato na água das fontes usadas para abastecimento doméstico.....	82

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - a) Principais municípios produtores de fumo; b) Principais classes de solos (Streck et al, 2002) e c) Principais bacias hidrográficas do RS (Atlas sócio econômico do RS, 2006).....	99
ANEXO B - a) Distribuição dos pontos de coleta nas transeções 1, 2, 3 e 4 na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS. b) Ilustração da metodologia utilizada na coleta da solução do solo na zona radicular e abaixo desta..	100
ANEXO C - Caracterização dos parâmetros relacionados às coletas e análise da solução do solo nos sistemas de manejo para a implantação da cultura do fumo.....	101
ANEXO D - Composição granulométrica da fração menor que 2 mm da camada superficial do solo nos pontos de coleta monitorados.....	105
ANEXO E - Parâmetros da equação de van Genuchten utilizados para o ajuste das curvas de retenção de água no solo.....	106
ANEXO F - Caracterização dos parâmetros relacionados às análises da solução do solo obtida nos diferentes pontos da paisagem na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS.....	107
ANEXO G - Mapa de solos semi-detalhado da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS.....	110
ANEXO H - Mapa de aptidão agrícola das terras da microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS.....	111
ANEXO I - Concentração de nitrato na solução do solo em diferentes condições de uso do solo da microbacia hidrográfica do Arroio Lino-Agudo-RS.....	112

SUMÁRIO

1 . INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 . OBJETIVO GERAL.....	18
2.1 . Objetivos específicos.....	18
3 . Hipóteses	19
4 . CAPÍTULO I: Concentração de nitrogênio na solução do solo em sistemas de manejo para a implantação da cultura do fumo	20
Resumo	20
4.1 . Introdução	21
4.2 . Material e métodos	28
4.3 . Resultados e discussão.....	33
4.3.1 . Precipitação e infiltração de água no solo	34
4.3.2 . Frequência de coletas de solução do solo	36
4.3.3 . Concentração de nitrogênio na solução do solo.....	37
4.4 . Conclusões	44
5 . CAPITULO II: Caracterização físico-hídrica e concentração de nitrato na solução do solo e na água de fontes numa microbacia hidrográfica cultivada com fumo	45
Resumo	45
5.1 . Introdução	46
5.2 . Material e métodos	51
5.2.1 . Caracterização da microbacia em estudo	51
5.2.2 . Metodologia de coleta da solução do solo.....	53
5.2.3 . Caracterização físico-hídrica do solo	57
5.3 . Resultados e discussão.....	58
5.3.1 . Densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada do solo	58
5.3.2 . Retenção de água no solo.....	66
5.3.3 . Precipitação e temperatura do ar durante o período de avaliações	70
5.3.4 . Concentração de nitrato na solução do solo	71
5.3.5 . Concentração de nitrato na água das fontes usadas para o consumo humano	80

5.4 . Conclusões	88
6 . CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
7 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
8 . ANEXOS	98

1 .INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, a cultura do fumo é a principal fonte de renda de muitas propriedades familiares e o país tornou-se, nas últimas décadas, o segundo maior produtor mundial de fumo e o principal exportador. O sul do país é a principal região produtora, com destaque especial para o Rio Grande do Sul, onde mais de 90 mil famílias de pequenos agricultores dependem dessa cultura para manterem-se no campo. O fumo é típico de pequenas propriedades familiares devido à alta mão-de-obra necessária para a sua implantação, condução e colheita e, também, pela alta renda gerada em pequenas áreas cultivadas.

A produção fumageira por si só é uma atividade conflitante com o bem estar da humanidade, uma vez que não traz nenhuma contribuição à vida, apenas o produto final (o cigarro) é responsável por encurtar a vida de muitas pessoas, lota hospitais e fragiliza muitas famílias. Além disso, é uma atividade ambientalmente desastrosa, tanto pelo sofrimento humano para a sua produção, assim como pelo desrespeito aos princípios básicos da natureza. Dessa forma, os dois extremos da cadeia da fumicultura (produtores e consumidores) são vítimas de um sistema produtivo que só traz benefícios reais aos intermediários (indústrias multinacionais e ao governo). O governo fica com a maior parte da fatia do dinheiro gerado (impostos) e esquece de investir em programas sociais e ambientais para atender aos fumicultores, que vivem esquecidos no meio de ambientes frágeis e, muitas vezes, já degradados. As empresas fumageiras buscam o lucro a qualquer custo, independentemente se o pacote tecnológico adotado está destruindo em pouco tempo o ambiente que a natureza levou séculos para construir, além dos danos gerados à saúde humana. Além disso, a população brasileira e, em especial, a população rural, tem a falsa impressão de que a água de qualidade é um bem infinito, sendo isso fruto da ausência de uma assistência técnica e educacional de qualidade, no meio rural, o que gera indivíduos mais facilmente domináveis pelo pensamento capitalista do sistema.

O sistema produtivo é baseado na integração, onde as grandes agroindústrias fumageiras fornecem os insumos e a assistência técnica e compram o fumo produzido. As famílias produtoras participam com a terra e a mão-de-obra para

garantir a boa produtividade e qualidade final do produto e, normalmente, sofrem os prejuízos advindos da má utilização dos recursos naturais. A assistência técnica das indústrias fumageiras, para simplificar o processo produtivo, adota pacotes tecnológicos que são disseminados igualmente entre todos os produtores, desconsiderando-se aspectos sociais e ambientais. Dentro desses pacotes está incluído o uso de grandes quantidades de agrotóxicos de vários princípios ativos e altas doses de fertilizantes, com vistas a garantir alta produtividade e qualidade do produto final, não sendo considerado o impacto advindo do uso desses insumos sobre o ambiente, a água e a saúde dos fumicultores.

Para agravar a situação, grande parte da produção de fumo é desenvolvida em regiões ecologicamente frágeis, com predomínio de áreas declivosas e solos pedogeneticamente jovens. Normalmente, nessas regiões formam-se pequenas bacias hidrográficas, onde nascem muitos rios e também ocorre a recarga do lençol freático.

O sistema de manejo do solo predominante é o convencional e o solo é revolvido para a implantação da cultura e para as adubações de cobertura, o que também gera a produção de grande quantidade de sedimentos enriquecidos com nutrientes e moléculas de agrotóxicos que são carregados aos mananciais de água. Com a degradação do solo, novas áreas que deveriam ser preservadas são desmatadas, e assim se elimina a faixa natural de preservação do solo e contenção de sedimentos e da água.

A recomendação da adubação é baseada na precaução, não se levando em consideração os teores de nutrientes e matéria orgânica presentes no solo. Dessa forma, anualmente são adicionadas altas doses de fertilizantes, mesmo que os teores presentes sejam suficientes para se obterem produtividades satisfatórias. A adubação nitrogenada é ajustada de acordo com a intensidade e freqüências das precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura, isso para compensar as perdas ocorridas para o ambiente. Além disso, a cultura do fumo possui baixa eficiência na absorção de nutrientes. O melhoramento genético dessa cultura buscou o aprimoramento da parte aérea, que apresenta valor econômico, deixando de lado o sistema radicular, cuja baixa capacidade de exploração do perfil do solo compromete o uso eficiente dos nutrientes.

Dentre os insumos utilizados na cultura do fumo, o nitrogênio tem chamado atenção devido a sua biodinâmica no ambiente e por grande parte do nitrogênio já

ser adicionada na forma de nitrato, cuja energia de ligação é extremamente baixa com os colóides do solo, tornando-o móvel no solo e com potencial de atingir a água subsuperficial em condições de alta umidade do solo.

Em nível de Brasil, a grande maioria das pesquisas voltadas ao estudo da dinâmica do nitrogênio, busca melhorar o seu aproveitamento pelas culturas, ou busca viabilizar sistemas de manejo com plantas de cobertura ou dejetos de animais como fontes alternativas. Os estudos de contaminação da água pelo nitrogênio usado na agricultura são escassos no Brasil, especialmente em sistemas produtivos como a fumicultura.

A contaminação da água por nitrato é lenta e gradual na natureza e, dessa forma, não chama a atenção da população. No entanto, quando altas concentrações são atingidas em corpos de água superficiais, é comum o aparecimento e crescimento de algas e aguapés, o que reduz o nível de oxigênio e, muitas vezes, ocasiona a morte de peixes, processo esse conhecido por eutroficação. Por outro lado, o aumento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas, normalmente, só é percebido quando essa atinge níveis críticos que passam a prejudicar a saúde humana. Nessas condições, o processo de contaminação já atingiu magnitudes elevadas e difíceis de serem remediadas.

As perdas de solo e nutrientes por erosão hídrica é um grave problema em microbacias hidrográficas manejadas com alto grau de revolvimento para a implantação da cultura do fumo. Os resultados da degradação do solo pela erosão são facilmente visíveis no ambiente e geram um maior impacto visual na comunidade rural e científica. No entanto, em se tratando de qualidade de água superficiais e subsuperficiais, em que a qualidade não é totalmente dependente da aparência e sim da concentração de substâncias orgânicas e minerais, o impacto não é tão visível e influente na opinião pública. Dessa forma, estudos buscando-se a avaliação da composição da água de drenagem e da água em fontes usadas para abastecimento humano tornam-se uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água e para alertar a sociedade e fornecer subsídios para o melhor planejamento das atividades agrícolas.

Com base nisso, nesse trabalho, avaliou-se a concentração de nitrogênio na camada explorada pelo sistema radicular do fumo e abaixo dessa, em diferentes sistemas de manejo do solo para a implantação da cultura do fumo, em diferentes condições de uso do solo (lavoura de fumo, mata e campo nativo), posições do

relevo e em duas fontes de água para consumo humano, na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino.

2 .OBJETIVO GERAL

Quantificar a concentração de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) na solução do solo e na água de duas fontes e relacioná-las com a influência antrópica.

2.1 .Objetivos específicos

1 - Quantificar a concentração de nitrato e amônio na solução do solo na zona radicular e abaixo da zona radicular da cultura do fumo em diferentes sistemas de manejo para a implantação da cultura à campo;

2 - Quantificar a concentração de nitrato e amônio na solução do solo na zona radicular e abaixo da zona radicular da cultura do fumo em diferentes posições da paisagem da microbacia;

3 - Quantificar a concentração de nitrato e amônio na solução do solo na mata nativa e campo nativo;

4 - Quantificar a concentração de nitrato e amônio na água de duas fontes localizadas no interior da mata nativa, sendo que uma apresenta lavouras de fumo acima e a outra está totalmente protegida pela mata;

5 - Relacionar a concentração de nitrato encontrada na solução do solo com a aplicação de fertilizantes e com as condições climáticas ocorrentes.

3 .HIPÓTESES

1 - Os maiores picos de perdas de nitrato ocorrem nas primeiras chuvas, que saturam o solo, após a aplicação dos fertilizantes na lavoura de fumo;

2 - As maiores concentrações de nitrato serão encontradas nas posições mais baixas das encostas;

3 - Nas encostas que apresentam mata nativa, as perdas de nitrato por fluxo lateral serão menores, pois as árvores por possuírem um sistema radicular mais desenvolvido e profundo, atuam como uma “barreira”, absorvendo grande parte do nitrato que seria perdido.

4 . CAPÍTULO I: CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PARA A IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DO FUMO

Resumo

No Rio Grande do Sul, a cultura do fumo é a principal fonte de renda para mais de 90 mil famílias. Uma boa parte da produção é desenvolvida em terras com alta declividade, em solos rasos e nas proximidades de recursos hídricos. A busca de altas produtividades tem levado ao uso indiscriminado de insumos agrícolas através de pacotes tecnológicos disseminados sem critérios técnicos e ambientais. Dentre os insumos usados, os fertilizantes nitrogenados representam maior risco, por serem usados em altas doses. O fumo apresenta um sistema radicular pouco agressivo e com baixo potencial de explorar o solo, o que reduz o aproveitamento dos nutrientes. O objetivo deste trabalho foi monitorar a concentração de nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+) na solução do solo da região do sistema radicular (0,15 m) e abaixo deste (0,30 m), em fumo cultivado sob preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD), em Neossolo Litólico. O estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, localizada no município de Agudo – RS. A adubação de base foi de 850 kg ha^{-1} de 10-18-24 (N-P-K) e a adubação de cobertura foi de 400 kg ha^{-1} de 14-0-14 (Salitre do Chile). A coleta da solução do solo foi realizada com lisímetros de tensão, após as principais chuvas ocorridas durante o ciclo da cultura do fumo. O teor de amônio e de nitrato foi analisado pelo método da destilação e titulação. Os dados de precipitação foram obtidos de uma estação meteorológica automatizada instalada na microbacia. Os teores de nitrato e amônio foram maiores após a adubação de base e decresceram ao longo do ciclo. Os teores de nitrato variaram de 8 a 226 mg L^{-1} . Os níveis mais altos foram obtidos no CM e os menores valores no PD. Os teores médios na zona radicular foram de 75 no PD, 95 no CM e 49 mg L^{-1} de nitrato. Abaixo da zona radicular os teores médios foram de 58 no PD, 108 no CM e de 36 mg L^{-1} de nitrato no PC. O teor de nitrato apresentou-se mais alto até os 40 dias após o transplante do fumo e após ocorreu redução devido às perdas e pela absorção pelas plantas.

Palavras-chave: lixiviação de nitrato; cultura do fumo; manejo do solo; bacia hidrográfica; contaminação da água; lisímetro de tensão.

4.1 . Introdução

O fumo é o principal cultivo não alimentício em todos os continentes e, apesar do produto final sustentar um vício maléfico à saúde humana, o sistema produtivo trouxe importantes contribuições socioeconômicas para essas regiões. O sistema integrado de produção de fumo implantado na década de 20 e os avanços tecnológicos, principalmente com a chamada revolução verde, são fatores que contribuíram para a expansão do setor. No período de 1980 a 2005, a área plantada por família cresceu 20%, já a produção teve um incremento de 48% e a produtividade aumentou 24% nesse mesmo período (AFUBRA, 2006). Essa expansão da fumicultura trouxe importantes contribuições, principalmente nas exportações e geração de empregos. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor e principal exportador mundial de fumo.

No Brasil, existem 198.040 famílias produtoras de fumo, as quais se caracterizam pela produção em pequenas propriedades, cuja estrutura é familiar. A alta demanda de mão de obra exigida para a produção de fumo e a alta renda gerada em pequenas áreas são responsáveis pelo caráter familiar desse sistema produtivo. A cadeia produtiva envolve 831.760 pessoas que trabalham diretamente na lavoura fumageira e gera mais 257.000 empregos sazonais, principalmente durante o plantio e a colheita. Mais de 125 mil famílias (63,5%) possuem menos de 20 ha de terra (AFUBRA, 2006) e outras 39 mil famílias (20%) não possuem terra e trabalham em regime de parceria ou na forma de arrendatários.

Os estados do sul do Brasil são responsáveis por 96% da produção nacional de fumo. O Rio Grande do Sul é o principal estado produtor com 241.808 ha plantados na safra 2004/2005 (IBGE, 2005) e mais de 90 mil famílias de pequenos agricultores familiares dependem dessa cultura para manterem-se no campo, principalmente pela renda proporcionada pelo cultivo do fumo (AFUBRA, 2006).

As principais regiões produtoras de fumo no RS encontram-se nas encostas basálticas e no escudo cristalino (SCP, 2003) (Anexo A). Essas regiões apresentam extensas áreas de solos pedogeneticamente jovens e de baixa aptidão agrícola para culturas anuais (Anexo G), principalmente devido à alta declividade e pedregosidade das áreas (Streck et al., 2002). É nessas regiões declivosas que nascem muitos rios

e ocorre a formação de pequenas bacias hidrográficas, que vão se aglomerando e formando bacias maiores e também são importantes áreas de recarga do lençol freático (Merten & Minella, 2002).

A pressão econômica exercida sobre os fumicultores na busca de altas produtividades tem levado à intensa exploração desses ambientes frágeis. A utilização de práticas agrícolas incompatíveis com o potencial de uso dessas terras e a utilização de altas doses de fertilizantes e pesticidas tornam a fumicultura uma atividade com grande potencial de contaminação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas e levam a um rápido declínio da capacidade produtiva do solo e da qualidade da água nesses locais (Gonçalves, 2003; Pellegrini, 2005; Gonçalves et al., 2005).

O grande dilema existente entre a agricultura e a sociedade é que a produção agrícola deve ser ampliada para atender a demanda futura de alimentos e a economia é favorecida com o incremento na produtividade, o que leva ao aumento do uso de fertilizantes minerais industrializados. O uso de tecnologias modernas, como a adubação nitrogenada, tem aumentado a produção de muitas culturas e isso tem levado, muitas vezes, ao uso de solos pobres ou muito frágeis a serem usados com agricultura, aumentando o impacto sobre o ambiente. Dessa forma, tem-se esquecido que a sustentabilidade e a dignidade no campo somente são atingidos quando as atividades agrícolas são ambiental e economicamente viáveis.

As atividades agrícolas têm contribuído grandemente no aumento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas. O nitrogênio aplicado ao solo está sujeito a várias transformações bioquímicas, sendo muitas delas responsáveis pela redução da eficiência no seu uso. As formas NH_2 e NH_3 quando usadas são rapidamente transformadas em formas de amônio (NH_4^+) e este, quando não absorvido pela planta ou microrganismos, sofre nitrificação. O nitrato possui baixa energia de ligação com os colóides do solo e, na solução do solo, está sujeito à absorção pelas plantas ou microrganismos, pode ser perdido pela lixiviação ou sofrer desnitrificação. A desnitrificação é um processo natural caracterizado pela redução bioquímica de formas de N oxidadas para formas gasosas. De acordo com Moreira & Siqueira (2002), essas transformações são desencadeadas por bactérias anaeróbicas facultativas (gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e outros). No entanto, para ocorrer a desnitrificação é necessário ter condições de baixo suprimento de oxigênio (anaerobiose) e presença de compostos orgânicos

facilmente decomponíveis. O nitrato não utilizado pela cultura e que se encontra abaixo da zona radicular pode passar de nutriente a poluente da água.

A preservação dos recursos naturais e a busca de uma agricultura menos impactante sobre o solo e a água são fatores essenciais para a manutenção da capacidade produtiva em longo prazo. A degradação do ambiente e a qualidade da água têm sido avaliadas e discutidas em várias partes do mundo, sendo a agricultura apontada como uma fonte de contaminação difusa (Rheinheimer et al, 2003) e a lixiviação de nitrato através do perfil do solo, como um dos principais problemas de impacto sobre a qualidade da água (Goss et al, 1995., Grignani et al., 2000; Rao & Puttanna, 2000).

Os sistemas de manejo intensivo do solo levam-no a um rápido esgotamento, principalmente devido às perdas de solo e nutrientes via erosão e devido à baixa entrada de resíduos culturais, o que torna o solo mais vulnerável a ação dos agentes erosivos (Pellegrini, 2006) e também reduz os estoques de carbono e nitrogênio orgânico do solo. Solos com baixos teores de matéria orgânica apresentam baixa taxa de mineralização (Aita, 1997) e necessita maiores quantidades de nitrogênio via insumos (Amado et al., 2002).

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais exigidos pela cultura do fumo para obtenção de alta produtividade e qualidade das folhas. Ao mesmo tempo, pela sua biodinâmica no solo, o nitrogênio é o nutriente mais limitante ao incremento de produtividade (McCants & Woltz, 1967) e possui potencial de contaminar a água subterrânea quando lixiviado abaixo da zona radicular. Essa situação é agravada, quando o manejo desses insumos é feita sem critérios técnicos e ambientais, objetivando principalmente a obtenção de altas produtividades e qualidade do fumo produzido. O pacote tecnológico das empresas fumageiras recomenda a utilização de aproximadamente 800 kg ha⁻¹ de NPK (10-18-20 ou 10-18-24), no momento da implantação da cultura, e aproximadamente 400 kg ha⁻¹ de salitre do Chile (14-00-14) e/ou uréia (45-00-00), em cobertura. No entanto, esse pacote é aplicado a todos os produtores de forma homogênea, sem considerar os aspectos sociais e, principalmente, as condições do solo.

Esses pacotes tecnológicos simplificam o sistema produtivo e segue-se o critério da precaução com doses ajustadas de acordo com as chuvas que ocorrem após a aplicação. Em levantamentos realizados em três microbacias hidrográficas produtoras de fumo, Rheinheimer et al. (2001ab e 2003) constatou que e os teores de

nutrientes (P, K, Ca, Mg) presentes no solo estavam em níveis suficientes para produção sem necessidades de adições complementares em curto prazo, enquanto os teores de matéria orgânica do solo apresentaram-se baixos, devido à baixa entrada de resíduos culturais e a adoção de sistemas de manejo com alto grau de revolvimento do solo.

O salitre do Chile é usado preferencialmente em cobertura como fonte de nitrogênio e potássio. A vantagem desse fertilizante é a ausência de cloro e N-NH_4 que, quando absorvidos em excesso, reduzem o poder de queima do fumo (combustão), reduzindo a qualidade do produto para a fabricação de cigarros e charutos (McCants & Woltz, 1967). Além disso, altas concentrações de amônio reduzem a absorção de potássio pelas plantas de fumo (Scherer et al., 1984). No entanto, após períodos freqüentes de chuva são necessárias aplicações suplementares de nitrogênio em cobertura, para compensar as perdas de N-NO_3^- (Whitty & Gallaher, 1998), pois, caso contrário, ocorre menor eficiência na absorção de outros nutrientes, levando ao menor desenvolvimento das plantas de fumo e o amarelecimento das folhas (McCants & Woltz, 1967). Sifola & Postiglione (2003) constataram que o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados aumenta o custo de produção, podendo resultar em contaminação da água, sem grandes benefícios à produtividade do fumo.

A lixiviação do nitrato é caracterizada pela sua movimentação para camadas profundas do solo, abaixo da zona radicular das culturas, podendo atingir o lençol freático. O deslocamento do nitrato é favorecido pela sua alta solubilidade e baixa energia de adsorção do ânion NO_3^- com as partículas do solo, principalmente em solos com predomínio de cargas negativas, o que o torna extremamente móvel e seu movimento diretamente ligado ao fluxo de água no solo.

Em solos tropicais altamente intemperizados, a lixiviação de nitrato no perfil é retardada pela presença de cargas positivas nos horizontes subsuperficiais (Alcântara & Camargo, 2005). No entanto, essa não é a realidade das principais áreas cultivadas com fumo no RS, onde os solos predominantes são poucos desenvolvidos (Neossolos e Chernossolos), devido à alta declividade das áreas. Nesse tipo de solo o teor de óxidos de ferro é reduzido devido ao baixo nível de intemperismo atingido e, dessa forma, a presença de cargas positivas deve ser pouco freqüente. Além disso, a baixa quantidade de resíduos deixada na superfície do solo após a colheita do fumo (Pellegrini, 2006; Rheinheimer et al., 2001) e as

grandes perdas de solo superficial pela erosão hídrica (Sequinatto et al., 2006) impedem o acúmulo de nitrogênio orgânico no sistema, o que desfavorece a atividade microbiana e a imobilização de parte do nitrogênio, potencializando as perdas por lixiviação.

A carga de nitrato na água de superfície é função do volume transportado (quantidade de água) e da concentração de nitrato na água. O volume de água de drenagem é função de características climáticas e propriedades do solo (precipitação, textura, taxa de infiltração). A distribuição temporal da precipitação ao longo do ano também influencia a drenagem (Randall & Mulla, 2000). Em períodos de altas precipitações, o solo permanece saturado por mais tempo, favorecendo o fluxo de água no solo e permitindo que parte considerável da água drene abaixo da zona radicular ficando inacessível para as plantas (Lier, 1999) e recarregando o lençol freático. Em solos rasos, a saturação pode ser atingida mais rapidamente durante as precipitações, o que aumenta o escoamento e também favorece o fluxo saturado no solo. Além disso, a alta pedregosidade presente nessas áreas pode aumentar a taxa de infiltração de água no solo (Mandal et al., 2005) e favorecer a perda de água e nutrientes por lixiviação.

O entendimento dos processos de transporte de fertilizantes no solo auxilia na redução da sua lixiviação para as camadas subsuperficiais. Fatores como sistema de preparo do solo, tipo de solo e forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados podem influenciar tanto o fluxo de água, quanto na concentração de nitrato na solução do solo (Sangoi et al., 2003). Solos de textura grosseira e pedregosa possuem menor capacidade de retenção de água e maior condutividade hidráulica (Hillel, 1998), o que intensifica a lixiviação de nitrato.

As perdas de nitrato por lixiviação podem ser maiores quando o nitrogênio aplicado é incorporado. Em contrapartida, quando aplicado em superfície, pode ser perdido por escoamento superficial, principalmente em períodos de alta precipitação, e contribuir para a eutroficação das águas dos rios. Portanto, o fator que dita a magnitude da lixiviação dos nutrientes é a sua disponibilidade no horizonte superficial do solo e o excesso de precipitação em relação à evapotranspiração (Staver & Brinsfield, 1990; Paramasivam et al., 2000).

As características da cultura também interferem na eficiência de utilização dos nutrientes. A cultura do fumo apresenta um sistema radicular pivotante e pouco agressivo, com abundância de raízes secundárias distribuídas na forma de

touceiras, e normalmente se concentra nos primeiros 0,20 m de profundidade (Pellegrini, 2006). Além disso, o fumo apresenta baixa eficiência na absorção de nutrientes (Sifola & Postiglione, 2003) e, em condições de baixa disponibilidade de nitrato, o sistema radicular das plantas é estimulado à ramificação (Zhang et al., 1999; Touraine et al., 2001), o que desfavorece o desenvolvimento da parte aérea e prejudica a produção de folhas no fumo.

A concentração de nitrato na água de drenagem está relacionada com o sistema de rotação de culturas, mais a quantidade e frequência de aplicação do fertilizante nitrogenado. Randall et al., (1997), trabalhando com culturas perenes e anuais, encontraram perdas de nitrato de 30 a 50 vezes maiores para culturas anuais quando comparadas às culturas perenes. Weed & Kanwar (1996) encontraram maiores concentrações e perdas de nitrato em parcelas plantadas continuamente com milho quando comparadas com as parcelas que receberam a rotação milho/soja. Costa et al. (2002), avaliando a concentração de nitrato em águas subterrâneas, encontraram que a distribuição espacial das altas concentrações de nitrato estava relacionada à intensidade de cultivo do solo. Áreas cultivadas com batata e milho apresentavam os maiores níveis de nitrato na água subterrânea comparada às áreas cultivadas com plantas forrageiras e pastagens.

Quanto ao teor de matéria orgânica no solo, Randall & Mulla (2001) encontraram que solos com alto teor de matéria orgânica podem mineralizar significativas quantidades de nitrato, que será suscetível à perda pela drenagem, especialmente quando anos muito úmidos com alta precipitação vierem depois de anos secos com baixa precipitação. Quanto ao tipo de cultivo, encontraram que esse não influencia o fluxo de nitrato na drenagem subsuperficial. Apesar de um volume um pouco maior de água ter sido drenado nas parcelas sob plantio direto, a concentração de nitrato foi menor comparado com a água drenada nas parcelas que receberam preparo do solo. Basso (2003), trabalhando com aplicação de dejetos líquidos de suínos em plantio direto, encontrou que as perdas de nitrogênio por escoamento superficial foram pequenas, porém as concentrações observadas nos maiores picos poderiam contaminar as águas superficiais. Nesse mesmo trabalho, avaliando perdas de nitrogênio por lixiviação, encontrou que as concentrações de nitrato na solução do solo, nos maiores picos de perda, podem contaminar as águas subsuperficiais.

Para a implantação da cultura do fumo a maioria dos fumicultores utiliza o sistema convencional de preparo do solo. Nesse sistema de manejo, o solo é revolvido com arado de aiveca sob tração animal, cujo objetivo é a eliminação de plantas daninhas e a construção dos camalhões para incorporação da adubação de base e plantio das mudas de fumo. Além disso, novos revolvimentos são feitos para incorporação da adubação de cobertura. A perda da camada superficial desses solos rasos os torna impróprios para a agricultura, o que leva ao abandono de muitas áreas e o desmatamento de novas áreas, aumentando o impacto sobre o ambiente (Pellegrini et al., 2005). Outros sistemas de manejo menos impactante, como o plantio direto e cultivo mínimo podem reduzir as perdas de solo, nutrientes e pesticidas aplicados (Pellegrini, 2006), além de ser menos oneroso aos agricultores e apresentar menor custo. Por outro lado, pesquisas sobre a influência de sistemas conservacionistas sobre a lixiviação de nitrato são inexistentes para a cultura do fumo.

A contaminação da água por nitrato e pesticidas tem se tornado um sério problema ambiental e de saúde pública, visto que as áreas agrícolas possuem diferentes graus de exploração e potencial de poluição do lençol freático, dependendo do tipo de solo, relevo, geologia, clima e principalmente das práticas agrícolas adotadas em cada região. O nitrato quando atinge níveis acima de 10 mg L^{-1} (N-NO_3^-) na água de consumo pode trazer graves problemas à saúde humana (Fewtrele, 2004; Addiscott & Benjamim, 2004).

A busca de alternativas para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados ou retardar a sua lixiviação são fatores importantes para reduzir os riscos de contaminação da água. A concentração de nitrato na solução do solo abaixo da zona radicular tem sido apontada como um bom indicador na avaliação do potencial de contaminação da água subterrânea (Websteretal, 1993; Grignani & Zavattaro, 2000).

No Brasil, apesar da vasta área agrícola, trabalhos nesse sentido são poucos. Se nos referirmos ao caso específico da produção fumageira, que tem grande importância para Região Sul do país e possui alta entrada de insumos em áreas de baixa aptidão agrícola, os trabalhos são quase inexistentes. Dessa forma, o conhecimento e a quantificação da concentração de nitrato abaixo da zona radicular da cultura do fumo torna-se uma importante ferramenta na avaliação do potencial de contaminação da água pelos sistemas de manejo do solo e poderá auxiliar na

tomada de decisões para planejamento futuro do uso do solo em microbacias hidrográficas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de nitrato e amônio na solução do solo na zona radicular e abaixo desta, ao longo do ciclo da cultura do fumo, em diferentes sistemas de manejo para a implantação da cultura à campo, incluindo preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto.

4.2 . Material e métodos

O estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica do Arroio Lino (MBH) localizada no Distrito de Nova Boêmia, município de Agudo – RS, na transição entre o planalto e a depressão central, entre as coordenadas UTM 6.733.500 – 6.737.000N e 280.000 – 283.500E. A microbacia encontra-se sobre áreas de relevo fortemente ondulado a escarpado, com altitudes que vão de 120 a 480 metros. Nos patamares predominam os Chernossolos e nos relevos mais declivosos os Neossolos Litólicos (Dalmolin et al., 2004) (Anexo G). A área da microbacia é de 480 ha e abrange 36 propriedades familiares que possuem uma área média de 10 ha e dependem economicamente do cultivo do fumo (Gonçalves, 2003). Na safra de 2005/2006, aproximadamente 80 ha foram cultivados com fumo, sendo que o preparo convencional ocupou 54 ha, o cultivo mínimo 26 ha e o plantio direto apenas 0,86 ha. Há intensa utilização de fertilizantes, agrotóxicos e madeira de vegetação natural, que é usada para a secagem do fumo em fornos de estufa (Pellegrini, 2005).

O clima da região é subtropical úmido (tipo Cfa), segundo a classificação de Köppen, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C. As chuvas são normalmente bem distribuídas, variando de 1300 a 1800 mm ano⁻¹, sendo os meses de maio e junho os mais chuvosos (Moreno, 1961).

A área utilizada para o experimento pertence ao agricultor Adair Stefenon e vinha sendo cultivada há aproximadamente oito anos com fumo na safra e milho na safrinha. Essa propriedade apresenta um dos melhores índices de produtividade da

microbacia e destaca-se por usar rotação de culturas e plantas de cobertura do solo. O cultivo mínimo era o manejo do solo predominante para a implantação da cultura do fumo nesta área. Após o fumo, geralmente era implantada a cultura do milho e, no inverno, implantava-se a cultura de aveia ou ervilhaca no local. O solo da área é um Neossolo Litólico eutrófico típico (EMBRAPA, 1999). O material de origem predominante é de rochas efusivas básicas (basaltos) da Formação Serra Geral, mas também ocorrem arenitos e siltitos em menor escala (Dalmolin et al., 2004). Na tabela 1 podem ser observados os valores médios da composição granulométrica desse solo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com três repetições. As parcelas possuíam dimensões de 10 x 15 m. Os sistemas de manejo estudados foram: preparo convencional (PC), cultivo mínimo (CM) e plantio direto (PD).

Tabela 1 – Composição granulométrica do horizonte Ap e A1 do Neossolo da área experimental.

Horizonte	Profundidade -----m-----	Calhaus	Cascalho	Areia	Silte	Argila
		-----g kg ⁻¹ -----				
Ap	0 - 0,2	150	134	351	290	75
A1	0,2 - 0,4	260	50	281	286	108

Calhaus (>20 mm); cascalho (2-20 mm); areia (2-0,05 mm); silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm).

O preparo convencional (PC) (Figura 1) caracterizou-se por uma aração e gradagem sobre área mantida em pousio no inverno e um posterior preparo do camalhão para a incorporação da adubação de base e plantio das mudas de fumo. O cultivo mínimo (Figura 2) foi implantado sobre resteva de aveia. No inverno, o solo dessas parcelas foi arado e gradeado e recebeu o cultivo de aveia. Antes do transplante, a área foi dessecada e construiu-se o camalhão para a incorporação da adubação de base e plantio das mudas (Pellegrini, 2006). O preparo do solo foi realizado com arado de aiveca reversível e grade triangular de pinos, sendo utilizado a tração animal. Os equipamentos utilizados e a forma de manejo do solo foram feitos de acordo com a metodologia predominante na região (Pellegrini, 2006).

A adubação do solo para a cultura do fumo foi baseada na recomendação das agroindústrias fumageiras, aplicando-se 850 kg ha⁻¹ da fórmula 10-18-20 de NPK no momento da implantação da cultura e 400 kg ha⁻¹ de salitre do Chile (14-0-14) em cobertura, aos 40 e 68 dias após o transplante, sendo aplicado 200 kg ha⁻¹ em cada vez. A adubação de base foi aplicada utilizando-se um distribuidor manual (semelhante a um regador de jardim) com regulagem da vazão adaptada à dose a ser aplicada e a velocidade do operador.

O plantio direto (Figura 3) foi implantado sobre resteva de aveia. Nas parcelas sob plantio direto a aveia foi implantada no inverno sob uma aração e gradagem do solo. A adubação de base no PD foi feita em um pequeno sulco (0,1 m de profundidade) aberto com um arado de aiveca estreito. Após a aplicação do fertilizante no sulco, fez-se a incorporação com um novo sulco aberto lateralmente ao primeiro. O plantio das mudas de fumo também foi feito sobre esse sulco.



Figura 1 – Preparo convencional (PC) do solo para a implantação da cultura do fumo.



Figura 2 – Cultivo mínimo (CM) do solo para a implantação da cultura do fumo.



Figura 3 - Plantio direto (PD) da cultura do fumo.

As mudas de fumo foram transplantadas no dia 12-09-2004, utilizando-se um espaçamento de 0,5 m entre plantas e 1,2 m entre as linhas, o que resulta em uma população de aproximadamente 17 mil plantas por ha. A adubação de cobertura foi realizada com auxílio de uma máquina manual semelhante a um saraquá. Dessa forma, o fertilizante era aplicado próximo às plantas e a uma profundidade de 0,05 a 0,10 m. No PC e no CM, foi realizada a incorporação (aterramento) com arado de aiveca, após a aplicação do fertilizante em cobertura, enquanto no PD não houve revolvimento.

Após a colheita da cultura do fumo, 140 DAT, o agricultor implantou a cultura do milho na área, usando para isso um saraquá. Para a implantação da cultura do milho, o solo não foi revolvido e não foi aplicada adubação de base nem de cobertura.

Para a coleta da solução do solo instalaram-se lisímetros de tensão equipados com cápsulas porosas de cerâmica, a 0,15 m e a 0,30 m de profundidade. As cápsulas porosas utilizadas possuíam 0,061 m de diâmetro e 0,065 m de altura e estavam conectadas a canos de PVC de 0,05 cm de diâmetro e 0,18 ou 0,40 m de altura. A 0,15 m é o local de maior concentração do sistema radicular do fumo (Pellegrini, 2006) e a 0,30 m é a profundidade do horizonte Ap do solo da área experimental. Para a instalação dos lisímetros, abriu-se um buraco com auxílio de um trado holandês, inserindo o lisímetro, e o espaço restante foi preenchido com solo umedecido e compactado para proporcionar melhor contato entre o solo e a cápsula. Após compactar o solo, foi adicionada uma camada de bentonita (argilomineral expansivo) sobre a camada de solo compactada, para proporcionar melhor vedação e evitar o fluxo lateral entre o solo e a parede do lisímetro.

Para extrair a solução do solo, foi aplicada uma tensão de -50 kPa em cada lisímetro, com auxílio de uma bomba de vácuo manual, logo após as principais chuvas ocorridas durante o ciclo da cultura (Anexo C). Durante o período de estudo, foi aplicada tensão nos lisímetros num total de 9 vezes. Considerando-se os três sistemas de manejo, seria possível obter um total de 27 coletas por tratamento. A coleta da solução do solo dos lisímetros foi realizada de 3 a 4 dias após a aplicação da tensão. Com essa metodologia é possível coletar a solução do solo em condições de umidade abaixo da capacidade de campo, e o pequeno diâmetro dos poros da cápsula impede a entrada de partículas grosseiras no meio (Hendershot & Courchesne, 1991). As amostras de solução foram armazenadas em frascos de

vidro de 50 mL, previamente lavados em solução limpeza a 0,0125 N de HCl e secas em estufa a 105° C por 24 horas. Entre uma coleta e outra as mangueiras da bomba de vácuo foram limpas com água destilada para evitar a contaminação das amostras.

Os dados de precipitação foram obtidos de uma estação meteorológica automatizada instalada no centro da microbacia. A coleta da solução do solo só foi possível em condições de alta umidade do solo; dessa forma, em alguns períodos não se obteve coleta suficiente de solução do solo. A partir dos dados de precipitação e dos dados de escoamento obtidos por Pellegrini (2006), calculou-se o volume de água infiltrada em cada tratamento. Para os dados de infiltração, não se fez análise estatística, pois obteve-se apenas duas repetições por tratamento (Pellegrini, 2006).

Os frascos contendo as amostras de solução coletadas foram armazenados em caixas de isopor e mantidas sob refrigeração até serem analisadas. A determinação do teor de nitrogênio foi realizada pelo método da destilação e titulação com aparelho semi-micro-Kjedahl (Tedesco et al., 1995). Essa metodologia mostrou-se bastante precisa, quando comparada à cromatografia líquida de alta eficiência, para determinar os teores de nitrogênio na solução do solo (Rhoden et al., 2004).

A partir das repetições de cada parâmetro avaliado, calcularam-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Esses fatores foram calculados, quando se obteve no mínimo duas repetições de cada parâmetro no campo.

4.3 . Resultados e discussão

4.3.1 .Precipitação e infiltração de água no solo

Em períodos de maior precipitação, o solo permanece com alto teor de água e, nessas condições, a solubilização dos fertilizantes, o fluxo de água e a lixiviação do nitrato para posições abaixo do sistema radicular do fumo podem ser favorecidos. Para as condições deste estudo, observa-se que as precipitações foram mais

freqüentes logo após o transplante do fumo (Figura 4). Altas precipitações aliadas a solos pedogeneticamente jovens permitem rápida saturação do perfil, o que favorece o fluxo saturado de água. No início do ciclo vegetativo, a demanda de nitrogênio pela planta é crescente, mas o sistema radicular ainda é pouco desenvolvido e está em fase de crescimento. Dessa forma, a lixiviação de nitrato é favorecida.

Devido às perdas ocorrentes no início do ciclo do fumo, Whitty & Gallaher (1995) recomendam a aplicação suplementar de 56 kg ha^{-1} de nitrogênio antes da floração do fumo quando ocorrem precipitações intensas e freqüentes para compensar as perdas por lixiviação. Essa também é uma prática comum, entre os fumicultores locais, em anos chuvosos.

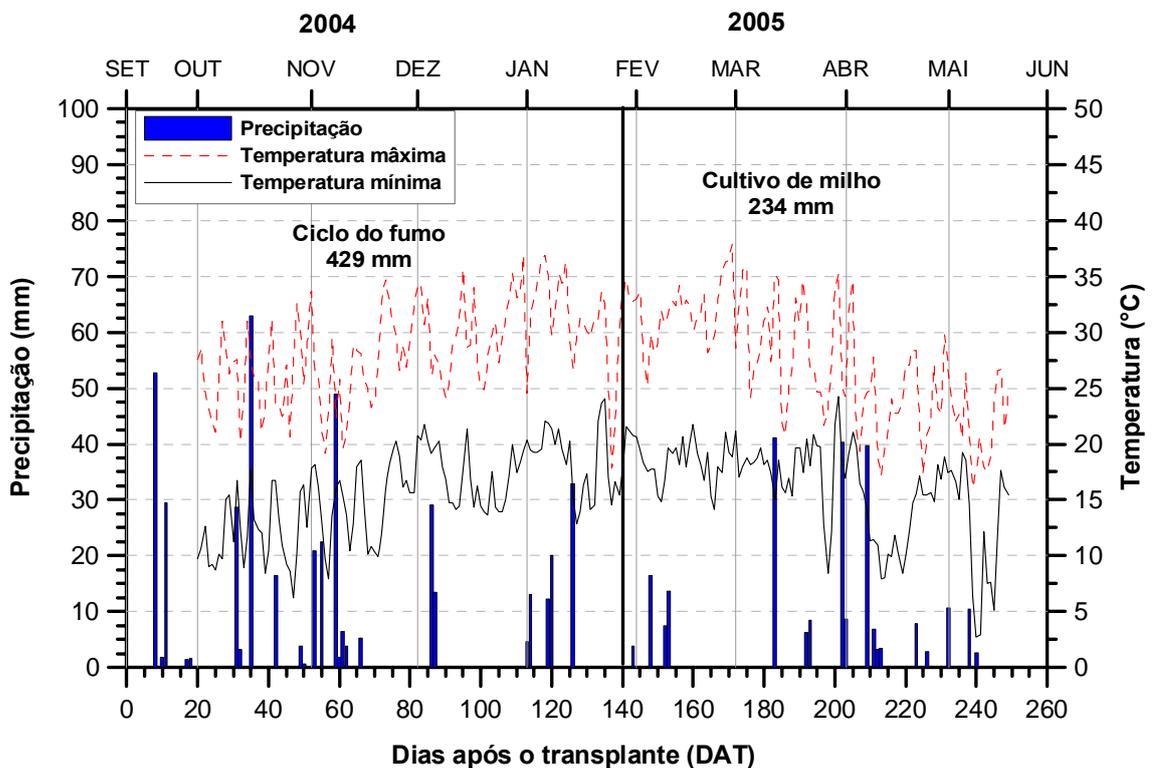


Figura 4 – Precipitação e temperatura do ar durante o período das avaliações.

A infiltração de água no solo foi superior no PD e semelhante no PC e no CM (Figura 5). O PD foi mais eficiente em reduzir as perdas de água por escoamento (Pellegrini, 2006), aumentando a infiltração da água precipitada até os 35 DAT, principalmente nas chuvas mais intensas ocorridas no início do

estabelecimento da cultura. Isso ocorre pelo efeito da palha superficial impedir o selamento superficial e aumentar a tortuosidade ao fluxo de água e também pela maior continuidade dos poros em PD (Guadagnim et al., 2005). No entanto, com o passar do tempo ocorre a tendência de redução da diferença entre a quantidade de água infiltrada entre os sistemas de manejo. Esse efeito pode estar ligado à decomposição da palha de aveia ao longo do tempo, o que reduz a proteção do solo no PD, e pela menor intensidade das chuvas (Pellegrini, 2006).

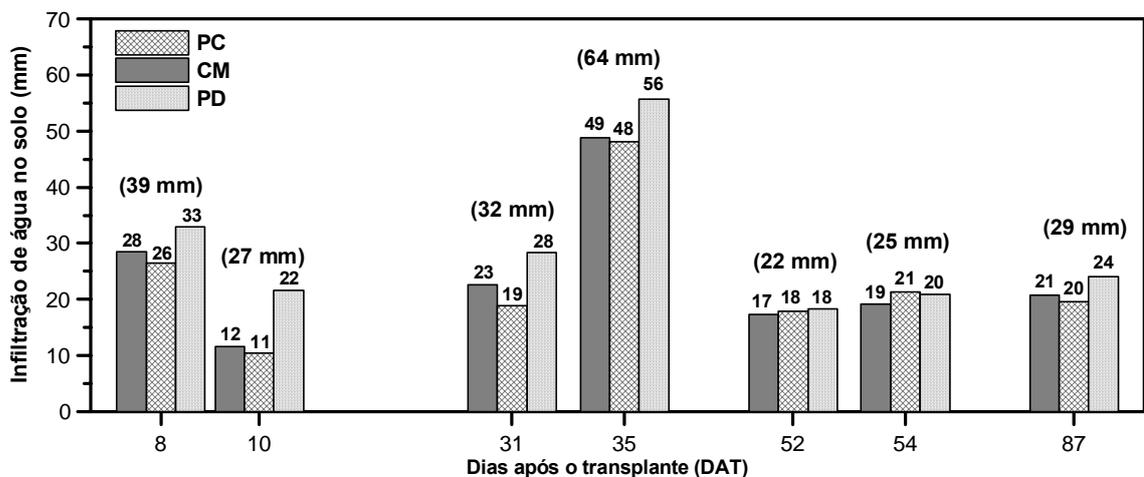


Figura 5 - Infiltração de água durante algumas precipitações nos sistemas de manejo para a implantação da cultura do fumo. Os valores acima das colunas correspondem à infiltração. Os valores entre parênteses representam a precipitação ocorrida durante a coleta.

Na cultura do fumo, o camalhão também pode atuar como canal de drenagem da água. No cultivo mínimo, a presença de palha parcialmente incorporada no sulco do camalhão pode reduzir a velocidade do escoamento e proporcionar maior infiltração de água. No entanto, esse efeito não é percebido pelas calhas coletoras de perdas instaladas no experimento, principalmente pelo seu reduzido tamanho (1 x 1,2 m).

4.3.2 . Freqüência de coletas de solução do solo

No PD, obteve-se o maior número de coletas, considerando-se as duas profundidades (Figura 6), sendo que, na camada superficial do PD, obtiveram-se mais coletas que a 0,3 m. O contrário ocorreu no PC, onde a maioria das coletas ocorreu a 0,3 m. O CM apresentou uma freqüência de coletas semelhante em ambas as camadas (Figura 6).

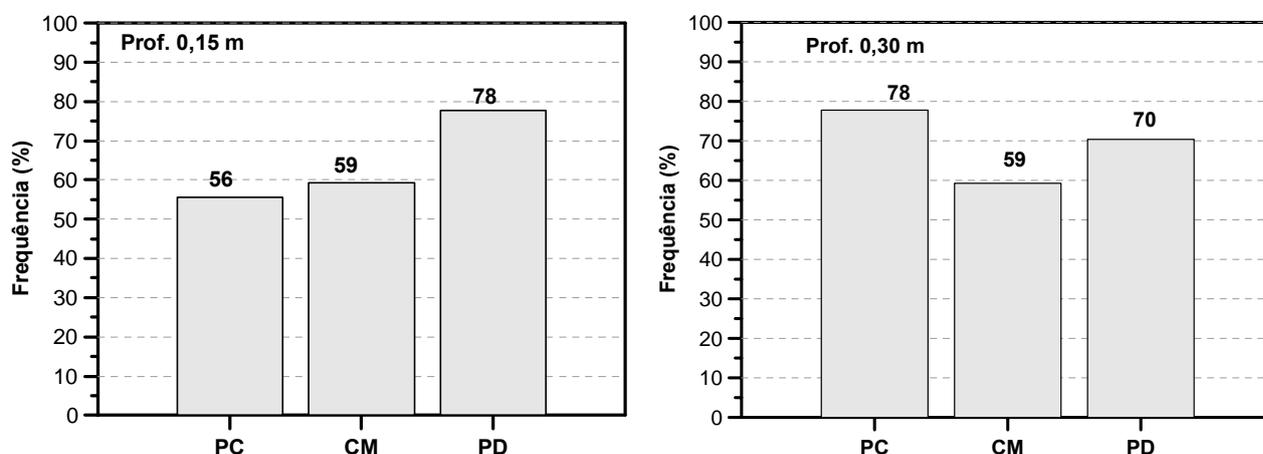


Figura 6 – Freqüência de coleta de solução do solo nas profundidades de 0,15 e 0,30 m nos sistemas de manejo do solo para a implantação da cultura do fumo.

Essa variação na freqüência de coletas pode ser atribuída às mudanças físico-hídricas proporcionadas pelos sistemas de manejo e pela distribuição das chuvas. No início do monitoramento, quando as chuvas foram mais freqüentes, o solo se mantinha com maior umidade (Pellegrini, 2006) e o número de coletas foi maior, independente do manejo. Aos 60 DAT apesar de ter chovido, não foi aplicada tensão nos lisímetros. Após esse período (60 a 120 DAT), não se obteve coleta de solução do solo (Figuras 7, 8, 9 e 10), pois a umidade do solo estava baixa (Pellegrini, 2006) devido às chuvas serem pouco freqüentes e também pela alta demanda de evapotranspiração proporcionada pela fase de intenso crescimento vegetativo do fumo e pelas altas temperaturas ocorridas (Figura 4). Novas coletas de solução durante o ciclo do fumo só foram possíveis aos 126 DAT. Após isso, obteve-se coleta aos 183, 203, 223 e 238 DAT do fumo (Figura 7, 8, 9 e 10) já na

fase inicial do ciclo do milho cultivado em sucessão. Nesse período, as baixas temperaturas reduzem a evapotranspiração e as precipitações freqüentes favorecem a manutenção de maior teor de água no solo.

4.3.3 . Concentração de nitrogênio na solução do solo

A concentração de nitrogênio na solução do solo foi variável ao longo do tempo entre os sistemas de manejo e profundidades avaliadas. A maior concentração de nitrogênio (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) na solução do solo ocorreu no início do monitoramento, após a aplicação da adubação de base (Figuras 7, 8, 9 e 10). Os altos teores de amônio verificados no início são resultantes da adubação de base, que apresenta o nitrogênio na forma amoniacal. Esse período foi caracterizado por precipitações freqüentes (Figura 4) mantendo maior quantidade de água no solo (Pellegrini, 2006), o que permitiu a coleta da solução e também pode proporcionar maiores perdas de nitrato por lixiviação.

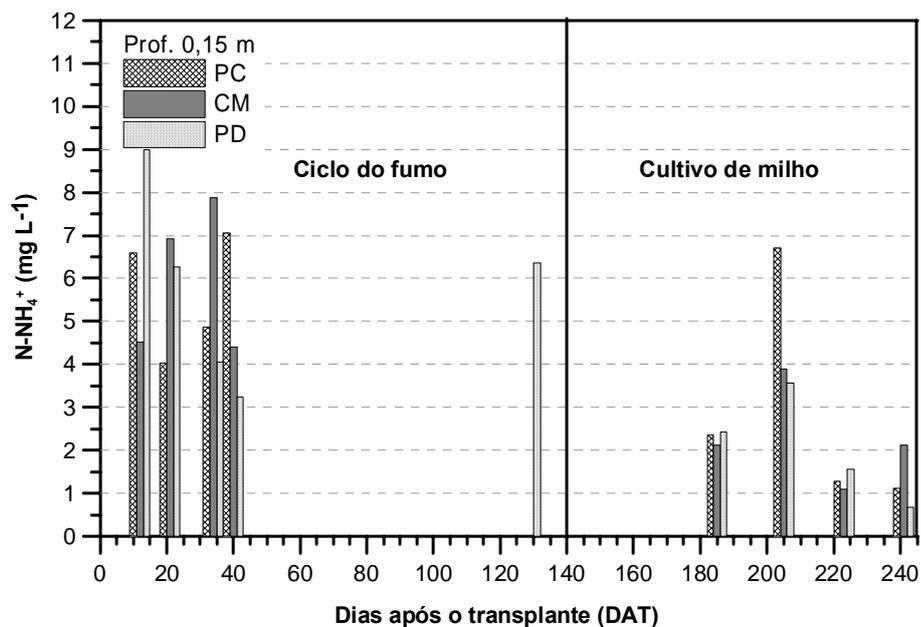


Figura 7 – Concentração de amônio na zona radicular após o transplante do fumo.

A concentração de amônio (N-NH_4^+) decresceu no tempo em todos os sistemas de manejo (Figura 7 e 8). Essa redução pode ter decorrido do processo de nitrificação e pela absorção de parte do amônio pelas plantas em crescimento. No solo, a nitrificação é um processo rápido e leva a um aumento acentuado na concentração de nitrato (Paramasivam et al., 2000). A maior concentração de amônio ocorreu até os 40 dias após o transplante da cultura (DAT). O nitrogênio encontrado na solução do solo nesse período é proveniente principalmente da adubação de base aplicada na implantação da cultura, pois o baixo teor de matéria orgânica no solo da área (1,15 %) (Pellegrini, 2006) representa uma pequena fonte de nitrogênio para mineralização. Após os 40 DAT, observa-se a redução na concentração de nitrato na solução do solo (Figura 9) e também as precipitações foram escassas. Aos 125 DAT, obteve-se coleta de solução apenas no plantio direto, podendo isso ter ocorrido pela melhor capacidade de armazenar água nesse sistema de manejo.

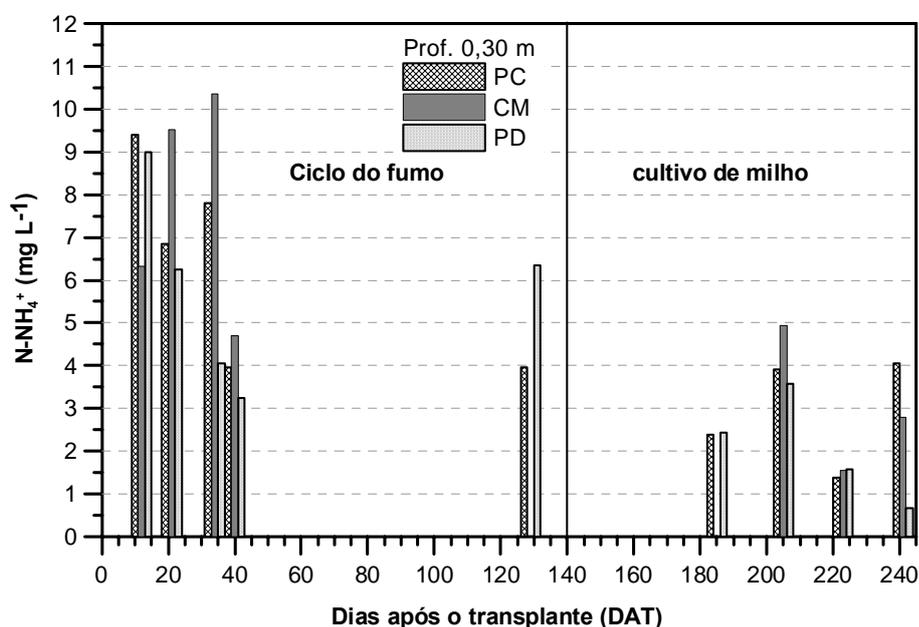


Figura 8 – Concentração de amônio abaixo da zona radicular após o transplante do fumo.

Em todos os tratamentos, ocorreu redução na concentração de nitrato na solução do solo com o tempo, podendo isso ser atribuído à absorção do nitrogênio da solução do solo pela cultura em crescimento, imobilização microbiana e também

pelas perdas por escoamento, denitrificação e lixiviação. Os nutrientes solubilizados ficam em equilíbrio entre a solução e a fase sólida do solo. À medida que os nutrientes são retirados da solução, pela absorção radicular ou por perda, nova fração de nutrientes da fase sólida é disponibilizada, mantendo-se o equilíbrio. No entanto, o nitrato apresenta-se predominantemente na forma livre na solução do solo e seu movimento ocorre por fluxo de massa, seguindo o fluxo da água no solo.

Na cultura do fumo, a maior exigência e absorção de nitrogênio ocorrem até 50 DAT (McCants & Woltz, 1967). O nitrogênio presente na solução do solo após os 50 DAT está mais sujeito a perdas. Para as condições do experimento, a baixa adição de resíduos, o revolvimento do solo e a alta porosidade (Pellegrini, 2006) não favorecem a denitrificação e, dessa forma, a lixiviação parece ser o principal destino do nitrato não utilizado pela cultura.

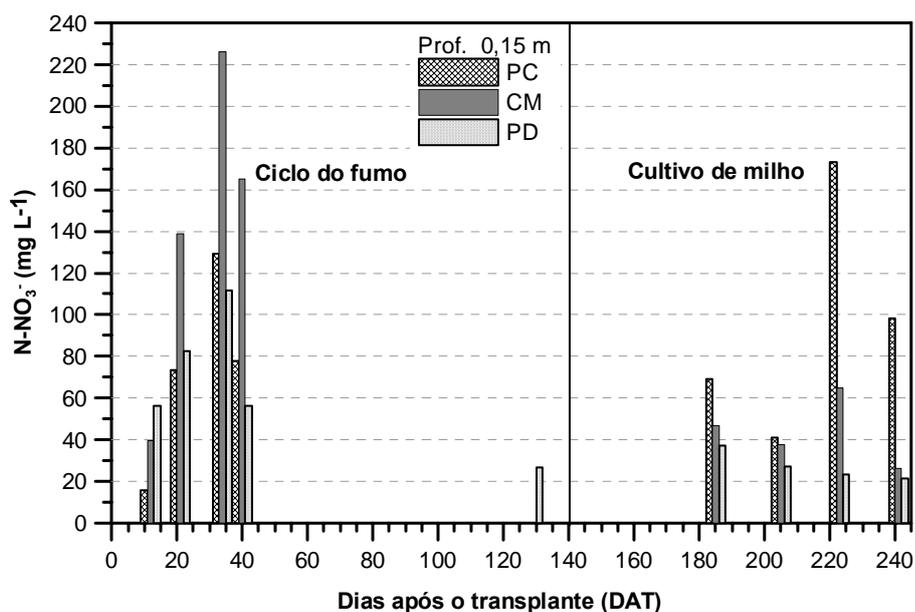


Figura 9 – Concentração de nitrato na zona radicular após o transplante do fumo.

Os maiores picos de concentração de nitrato são verificados aos 20 e 40 DAT no CM, na profundidade de 0,15 m (Figuras 9 e 10). Em parte isso pode ser atribuído à variação natural do microrelevo e das propriedades hidráulicas do solo da área, pois a grande quantidade de frações grosseiras (cascalhos e calhaus) e a pedregosidade possuem grande influência na distribuição e continuidade dos poros e, assim, afetam a infiltração e retenção de água. A tortuosidade oferecida ao fluxo

de água nos camalhões do cultivo mínimo pode ter favorecido a infiltração de água no solo, o que proporcionou maior concentração de nitrato na solução do solo abaixo da zona radicular. No preparo convencional, a ausência de palha na superfície e no camalhão permitem o selamento superficial e o rápido escoamento da água da chuva e, dessa forma, a infiltração é desfavorecida.

Estudando a lixiviação em sistemas de manejo para o fumo, Laird (2003) encontrou perda total de $N-NO_3^-$ maior no PD e no CM, pois a quantidade de água percolada foi 68 % maior no CM e 167% maior no PD em relação ao PC. Por outro lado, o PD e o CM foram mais eficientes em reduzir as perdas de nitrogênio via escoamento superficial. Pellegrini (2006) também verificou menores perdas de nutrientes por escoamento no PD e CM em relação ao PC. No entanto, no presente estudo, o PD proporcionou pequena diferença na quantidade de água infiltrada, não se podendo atribuir grandes perdas de água por drenagem interna nessas condições, pois a densidade e a porosidade do solo foram semelhantes nos sistemas de manejo (Pellegrini, 2006). Randall & Mulla (2001) constataram que o manejo do solo não afetou as perdas de nitrato por lixiviação, mesmo que no plantio direto o volume de água drenado tenha sido maior que no preparo convencional.

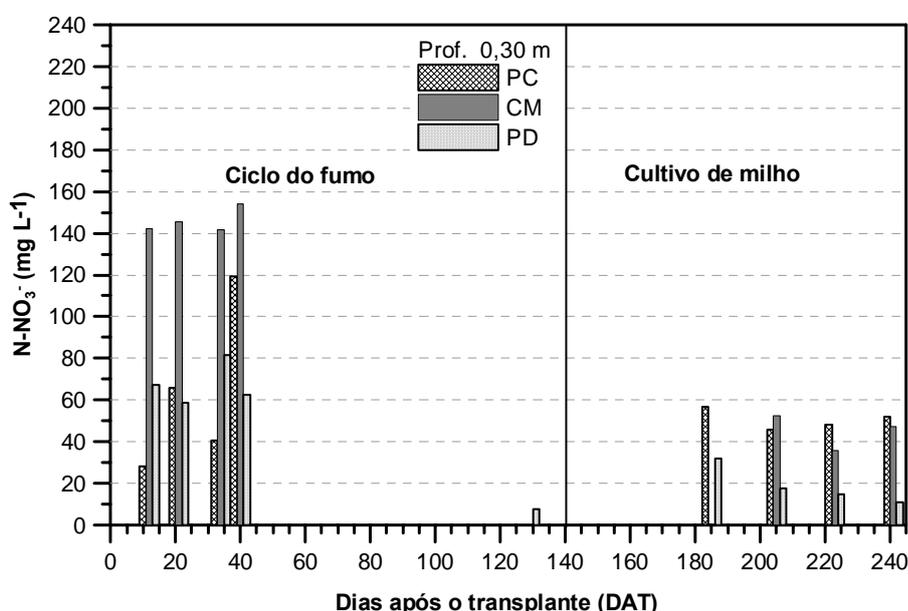


Figura 10 – Concentração de nitrato abaixo da zona radicular após o transplante do fumo.

No sistema convencional e cultivo mínimo, a adubação é colocada em maior profundidade, devido à incorporação e, dessa forma, até a planta estabelecer o seu sistema radicular e poder explorar o solo, parte do nitrato já pode ter atingido camadas mais profundas e ficar fora do alcance das raízes. Além disso, a incorporação aumenta a área de contato do fertilizante com o solo facilitando a solubilização. Sangoi et al. (2003) também verificaram maior lixiviação de nitrato quando o fertilizante (uréia) foi incorporado ao solo (Neossolo Quartzarênico). Em parte, isso pode ter sido responsável pela maior concentração de nitrogênio no início do estabelecimento da cultura. No PD, a adubação é superficial e localizada mais próximo a zona radicular e, nessas condições, a solubilização do fertilizante e a lixiviação do nitrato podem ser retardadas. O plantio direto apresentou as menores concentrações de nitrato em todo período avaliado e, apesar de ser um sistema conservacionista que facilita a infiltração e o fluxo de água no solo, mostrou menor potencial de contaminar água subterrânea.

Em todos os sistemas de manejo, observou-se maior frequência de concentração de nitrato na solução do solo em níveis inferiores a 50 mg L^{-1} (Figuras 11 e 12), sendo que o PD apresenta menor concentração média (Tabela 2). O CM apresentou maior concentração de nitrato na solução até os 40 DAT e maior concentração média em ambas as camadas amostradas. Nesse tratamento, também foi verificada maior frequência de altos níveis de nitrato, principalmente abaixo da zona radicular (Figura 12). No PC, a concentração média foi intermediária em relação aos demais manejos, mas apresentou maior frequência de altos níveis de nitrato em relação ao PD, principalmente na zona radicular (Figuras 11 e 12).

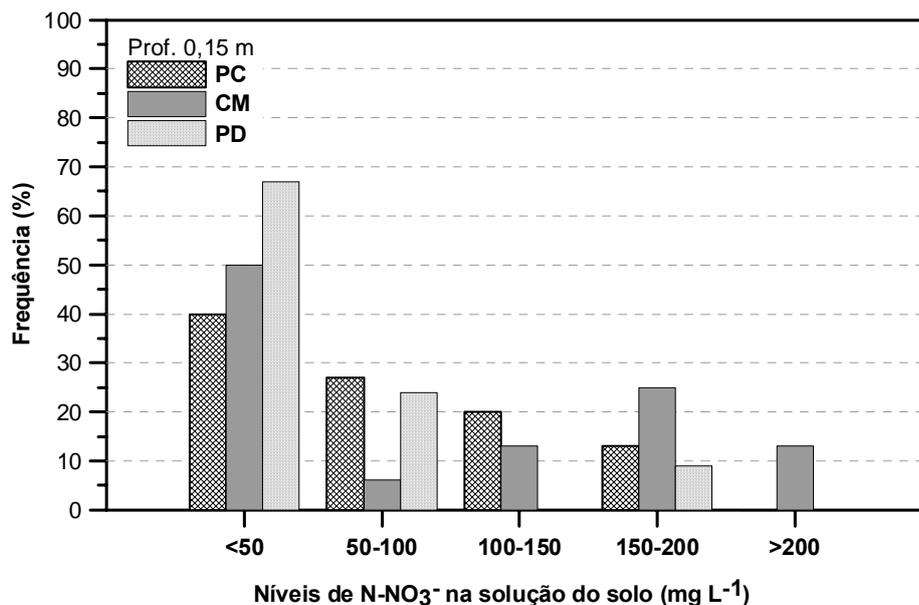


Figura 11 - Frequência de concentração de nitrato na solução do solo na zona radicular do fumo (0,15 m).

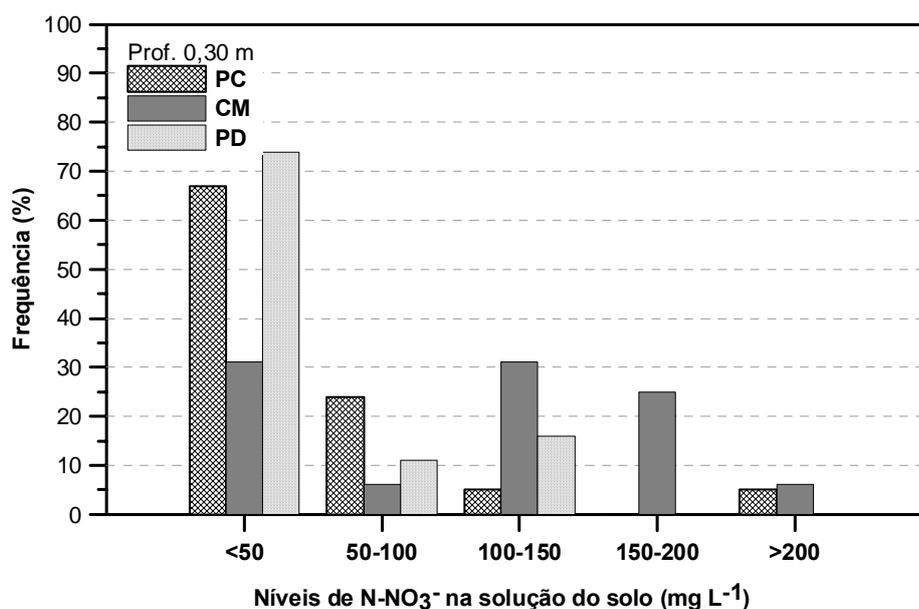


Figura 12 - Frequência de concentração de nitrato na solução do solo abaixo da zona radicular do fumo (0,30 m).

Apesar da grande variação na concentração de nitrato observada tanto entre tratamentos no tempo e no espaço (Anexo C), quanto na média geral ao longo do estudo (Tabela 2), as concentrações de nitrato encontradas abaixo da zona radicular do fumo foram extremamente altas quando comparadas com outros resultados da literatura. Grignani & Zavattaro (2000) encontraram concentrações de 1 a 150 mg L⁻¹

de N-NO_3^- em sistemas de integração lavoura-pecuária com produção de milho e cevada, sendo que as concentrações médias foram maiores nos sistemas mais intensivos e durante o inverno. Esses mesmos autores encontraram um coeficiente de variação (CV) médio de 49 % nas concentrações ao longo do tempo. Stenberg et al. (1999) encontraram concentrações entre 5 e 30 mg L^{-1} de N-NO_3^- na solução do solo obtida por lisímetros de tensão a 0,6 e 0,9 m de profundidade. Pérez et al. (2003) encontraram concentrações máximas de 60 mg L^{-1} de N-NO_3^- (300 mg L^{-1} de NO_3^-) em áreas cultivadas com batata e aveia. Costa et al. (2002) verificaram que 36 % das fontes de água estavam com níveis acima de 10 mg L^{-1} de N-NO_3^- , em regiões da Argentina com sistemas intensivos de produção de batata e milho.

Esses autores verificaram que as maiores concentrações foram observadas nas áreas cultivadas, após as adubações nitrogenadas e períodos de alta precipitação, e isso tem aumentado os teores de nitrato no lençol freático e nas águas dos rios daquelas regiões. Gonçalves (2003) encontrou que a maioria das fontes de água para consumo humano na microbacia hidrográfica do Arroio Lino possui algum tipo de contaminação e que os teores de nitrato foram superiores nas fontes localizadas próximo e abaixo das lavouras de fumo.

Tabela 2 - Concentração média de nitrato ao longo do período de coleta.

Tratamento	Profundidade (m)	N-NO_3^- (mg L^{-1}) *	Desvio padrão	CV (%)
PC	0,15	75	56	75
CM		95	76	80
PD		49	41	85
PC	0,30	58	49	85
CM		108	56	52
PD		36	41	114

Média da concentração obtida ao longo de todas as avaliações.

Os lisímetros de cápsulas porosas mostram-se como metodologia promissora para coleta da solução do solo, com fins de servir como indicativo de contaminação da água com nitrato. No entanto, eles podem subestimar a real concentração de solutos, pois só é possível aplicar tensão e mantê-la em condições

de alta umidade do solo. Dessa forma, a tensão só era aplicada após a chuva e, nessas condições, grande parte do fluxo de água no solo já tinha ocorrido, devido à alta porosidade e pedregosidade desse solo. Assim, não é possível coletar a solução que drena devido ao fluxo preferencial que ocorre nos macroporos e cavidades do solo, o que é comum encontrar em solos rasos com alta pedregosidade. Frente a isso, a concentração pode estar subestimada para as condições desse estudo e a adubação praticada na cultura do fumo pode representar um risco ainda maior na contaminação difusa da água subterrânea, do que aqui apresentada.

A adubação aplicada no transplante das mudas de fumo representa a principal fonte de nitrogênio mineral na solução do solo e, quando o nitrato é lixiviado abaixo da zona radicular, pode passar de nutriente a poluente e tornar-se uma fonte difusa de contaminação da água subterrânea. Portanto, as altas doses de fertilizantes nitrogenados usadas na cultura do fumo podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas ao longo do tempo nessas regiões cultivadas com fumo, como já constatado por Gonçalves (2003) em algumas fontes desta microbacia.

4.4 . Conclusões

Os altos teores de nitrato encontrados na solução do solo no início do ciclo da cultura e os teores remanescentes após o período de maior exigência da cultura representam alto risco de contaminação da água subterrânea;

Os maiores teores de nitrato na solução do solo são verificados após a aplicação da adubação de base e está associada às precipitações frequentes ocorrida no período;

O cultivo mínimo apresentou maior concentração de nitrato na solução do solo durante o ciclo do fumo em relação ao preparo convencional e plantio direto.

5 . CAPITULO II: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E CONCENTRAÇÃO DE NITRATO NA SOLUÇÃO DO SOLO E NA ÁGUA DE FONTES NUMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA CULTIVADA COM FUMO

Resumo

Os fumicultores seguem pacotes tecnológicos das empresas fumageiras, que impõem o uso de altas doses de fertilizantes, sem considerar os atributos do solo e do ambiente, o que representa grande risco para a degradação dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de nitrato na solução do solo em lavouras de fumo, mata nativa, campo nativo e na água de duas fontes usadas para o abastecimento doméstico na Microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo-RS. A região é caracterizada pelo cultivo de fumo em áreas com alta declividade em Chernossolos e Neossolos Litólicos. O monitoramento da concentração de nitrato na solução do solo foi realizado na zona radicular (0,20 m) e abaixo da zona radicular (0,5 m), usando-se lisímetros de tensão com cápsulas porosas. Os lisímetros foram instalados aleatoriamente em transeções localizadas em cinco propriedades, com vários tipos de uso, predominando lavouras de fumo. Nesses pontos, também se foram avaliadas a densidade, a porosidade, a condutividade hidráulica do solo saturado e a curva de retenção de água. Após as chuvas, aplicou-se uma tensão de 50 kPa nos lisímetros, sendo a coleta da solução do solo realizada quatro dias após. Também se avaliou o teor de nitrato em duas fontes de água, sendo que uma delas apresentava uma faixa de 15 m de mata na sua volta e, acima desta, era cultivada do fumo. A outra fonte estava protegida pela mata e não apresentava influência antrópica acima dela. O solo das lavouras apresentou baixa densidade, baixa capacidade de armazenamento de água, alta porosidade e alta condutividade hidráulica saturada. O nitrato atingiu profundidades abaixo da zona de exploração radicular e representa uma fonte de contaminação da água. Os teores de nitrato foram superiores nas lavouras em relação ao campo e mata nativa, atingindo 80 mg L^{-1} nas áreas com fumo. A fonte que se encontra abaixo das lavouras de fumo teve maiores concentrações de nitrato, superando o limite crítico de 10 mg L^{-1} em alguns períodos.

Palavras-chave: cultura do fumo; contaminação da água; bacia hidrográfica, lisímetros de tensão.

5.1 . Introdução

O modelo de agricultura adotado nas principais regiões produtoras de fumo no Rio Grande do Sul está em desacordo com a aptidão agrícola e ambiental dessas regiões. Esse modelo criado e difundido pelas empresas fumageiras prioriza a entrada de grandes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos visando-se obter alta produtividade e qualidade do fumo. Em levantamentos realizados em três microbacias hidrográficas produtoras de fumo, Rheinheimer et al., (2001abc e 2003) constatou que a maioria das propriedades utiliza sistemas de manejo com alto grau de revolvimento do solo e que os teores de nutrientes presentes no solo estavam em níveis suficientes para produção sem necessidades de adições complementares em curto prazo. Mesmo assim, anualmente são usadas as mesmas doses de fertilizantes, seguindo-se o pacote tecnológico da indústria fumageira. Dessa forma, busca-se atender as necessidades das plantas sem considerar o risco ambiental e as necessidades das gerações futuras.

Os agroecossistemas são sistemas abertos que emitem continuamente nutrientes para a água. Nas paisagens agrícolas, onde grande parte da transferência de nutrientes é difusa, podemos encontrar fatores que facilitam a transferência e outros que retardam ou as reduzem a níveis toleráveis. A transferência via superfície é facilitada pelas altas doses aplicadas no solo, pela declividade e pelo revolvimento do solo. Em subsuperfície, a pedregosidade (Epstein, 1966; Sauer & Logsdon, 2002; Mandal et al., 2005), a presença de macroporos e fissuras (McCoy et al., 1994; Haws et al., 2004) e as altas doses aplicadas combinada com altas precipitações favorecem a lixiviação de nutrientes como o nitrato. Entre os mecanismos retardadores das transferências estão a cobertura do solo e a presença de barreiras vegetais e matas ciliares (zonas ripárias) (Simmons et al., 1992; Nelson et al., 1995; Donadio et al., 2005).

Os nutrientes adicionados ao solo podem ser transferidos aos sistemas aquáticos por vários mecanismos, dependendo das características do nutriente, do solo, da planta e do clima. O nitrogênio adicionado pode ser transferido para as plantas (absorção), transferido via superfície do solo (escoamento), pela subsuperfície (lixiviação), para a atmosfera (volatilização) e parte fica retido nas

cargas do solo (adsorção) ou na biomassa microbiana (imobilização). No caso específico da cultura do fumo, devido a suas características, tipo de cultivo e do sistema de manejo, as transferências para a água são facilitadas.

A fumicultura geralmente é desenvolvida em pequenas propriedades familiares localizadas em regiões declivosas. Nesses ambientes, ocorre a formação de pequenas bacias hidrográficas, nas quais nascem muitos riachos que vão se ramificando e se aglomerando formando as grandes bacias hidrográficas do estado. O alto grau de revolvimento do solo aliado à alta carga anual de insumos químicos industrializados aplicados nas lavouras têm aumentado a carga de sedimentos e agroquímicos nos cursos de água (Sequinatto et al., 2006; Gonçalves et al., 2005), o que compromete a capacidade produtiva do solo e a qualidade da água. A degradação do solo e o desmatamento de novas áreas são comuns nessas regiões. Com o desmatamento, são eliminadas as zonas naturais de contenção de sedimentos e nutrientes transportados pelo fluxo de água em superfície (Pellegrini, 2005) e subsuperfície. Esses são problemas visíveis e passam a ter maior impacto sobre a sociedade. Por outro lado, o uso de altas doses de fertilizantes nitrogenados na cultura do fumo pode representar importante fonte de contaminação da água subterrânea desses locais. No entanto, por esse ser um problema invisível tem chamado pouca atenção das comunidades rurais.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelo fumo e ao mesmo tempo tem sido o mais limitante a obtenção de altas produtividades (McCants & Woltz, 1967), principalmente devido sua biodinâmica no ambiente. O ciclo do nitrogênio possui vários caminhos e complexas interrelações entre os processos químicos, físicos e biológicos, mas o processo dominante é dependente das propriedades do solo, da forma em que o elemento se encontra, do manejo e das condições climáticas (Owens, 1994).

A principal fonte de nitrogênio no solo é a decomposição de resíduos e a mineralização da matéria orgânica, mas a busca de altas produtividades tem levado o uso de grandes quantidades de nitrogênio na forma mineral na cultura do fumo, ainda que doses menores fossem suficientes para obter produtividades satisfatórias e reduzir a concentração de nitrogênio no solo (Marchetti et al., 2006) e, dessa forma, os riscos de contaminação da água têm aumentado.

Para a cultura do fumo, é necessário ter-se alta disponibilidade de nitrogênio até a fase de florescimento, sendo que deficiências nesse período reduzem a

produtividade. Por outro lado, o excesso de nitrogênio na solução do solo após o período de florescimento resulta em alto teor de proteína nas folhas, o que reduz a capacidade de queima do fumo (McCants & Woltz, 1967) e também ocorre menor aproveitamento do nitrogênio, o que potencializa o risco de contaminação da água subterrânea.

Estudos recentes indicam que o nitrato também atua como regulador da ramificação do sistema radicular do fumo e na alocação e distribuição dos carboidratos entre raízes e parte aérea da planta (Touraine et al., 2001). Assim, em condições de baixa concentração de nitrato na rizosfera, o crescimento radicular e sua ramificação são estimulados e priorizados pela planta; em compensação, o crescimento da parte aérea é desfavorecido. Essa é uma situação indesejável na fumicultura, pois a parte comercializável da planta são as folhas. Para evitar isso, são aplicadas altas doses de nutrientes minerais, via fertilizantes industrializados. Outros estudos também indicam baixa eficiência de aproveitamento do nitrogênio pela cultura do fumo, principalmente em solos bem drenados (Mackown & Sutton, 1997). Sifola & Postiglione (2003) constataram recuperação média de 8,5 % a 30 % do nitrogênio aplicado no fumo, sendo que a taxa de recuperação decresceu com o aumento da dose aplicada (120, 240 e 360 kg ha⁻¹) e em anos chuvosos.

A recomendação oficial de adubação para a cultura do fumo prevê a utilização de doses complementares de fertilizantes após períodos freqüentes e intensos de chuva (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004) visando compensar as perdas de nitrogênio por lixiviação e por erosão. O nitrato lixiviado abaixo da zona radicular não é aproveitado pela cultura e pode passar de nutriente a poluente do lençol freático.

A desnitrificação e a lixiviação são os principais destinos do nitrato não utilizado pelas culturas agrícolas (Smith et al., 1990). A desnitrificação é um processo de reações bioquímicas desencadeado por bactérias anaeróbicas facultativas onde o nitrato é transformado em N₂O ou N₂ (gás). Para ocorrer a desnitrificação, é necessário ter baixo suprimento de oxigênio no solo e presença de compostos orgânicos facilmente decomponíveis (Moreira & Siqueira, 2002). No entanto, essa não é a realidade das principais regiões produtoras de fumo no RS (Reichert et al., 2001abc), onde predominam solos rasos e pedregosos com textura grosseira, alto grau de revolvimento do solo e baixa entrada de resíduos culturais. Assim sendo, a lixiviação parece ser o principal destino do nitrato não aproveitado

pela cultura. A lixiviação do nitrato é um fenômeno físico-químico, favorecido pela baixa energia de ligação entre o ânion NO_3^- e as cargas elétricas da fração coloidal do solo e também pela sua alta solubilidade em água.

Em microbacias declivosas e com presença de solos rasos, a saturação do solo é rapidamente atingida após as chuvas (Sequinatto et al., 2006). A pequena espessura do solo e as freqüentes precipitações ocorrentes durante o ciclo do fumo podem favorecer a rápida solubilização dos fertilizantes e o fluxo de nitrato no perfil do solo. A água escoada abastece os cursos de água superficiais, enriquecendo a água com sedimentos e nutrientes (Pellegrini, 2005). O potencial de lixiviação de nitrato é determinado por características do solo, do clima e da planta (Smith & Cassel, 1991). Dentre as propriedades do solo, a textura, a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água são apontados como os principais fatores envolvidos no movimento da água e são determinantes da suscetibilidade da contaminação da água subterrânea (Knox & Moody, 1991).

O excesso de água que drena no perfil do solo vai recarregar o lençol freático e, nessas condições, ocorre a contaminação da água com o nitrato não aproveitado pela cultura. A complexidade dos caminhos do fluxo de água e solutos e a sua dependência no tempo das precipitações, do manejo do solo, da entrada de fertilizantes e dos ciclos biogeoquímicos geram grande variação no ciclo hidrológico e no fluxo de contaminantes em bacias hidrográficas ao longo dos anos (Steinheimer et al., 1998; Tomer et al., 2003).

A concentração natural de nitrato (N-NO_3^-), na água do lençol freático e da água superficial, fica em torno de 1 a 2 mg L^{-1} . Quando a concentração de nitrato (N-NO_3^-) atinge valores acima de 10 mg L^{-1} na água de consumo humano, considerado como limite crítico pela legislação brasileira (CONAMA, 2005), pode causar problemas à saúde dos consumidores. Na saliva ou no intestino humano, o nitrato é convertido a nitrito e, quando esse atinge concentrações acima de 3 mg L^{-1} e entra na corrente sanguínea, pode oxidar o íon ferroso da hemoglobina a íon férrico, formando a metahemoglobina. A concentração normal de metahemoglobina no organismo humano fica entre 2 e 3%, mas com o consumo de altas doses de nitrato os teores podem ficar acima de 5% e, nessas condições, ocorre a deficiência no transporte de oxigênio no sangue (WHO, 2004), podendo levar crianças a morte por asfixia, doença popularmente conhecida como síndrome do “bebê azul” ou metahemoglobinemia (Addiscott & Benjamin, 2004). Além disso, pode ocorrer a

formação potencial de nitrosaminas carcinogênicas (Rao & Puttanna, 2000) e causar o aborto espontâneo.

Na Europa mais de 65 % da água consumida é de origem subterrânea (WHO, 2004) e, para aqueles países, concentrações de nitrato acima de 3 mg L^{-1} indica contaminação devido a ações antrópicas (Squillace et al., 2002). Na Europa e nos EUA, a agricultura intensiva praticada nos últimos 40 anos tem sido apontada como a principal causa do aumento da concentração de nitrato na água subterrânea (WHO, 2004). Nos EUA, os principais problemas de contaminação da água ocorrem na região do “cinturão do milho” (corn belt), onde são aplicadas altas doses de fertilizantes nitrogenados. Para as condições brasileiras, são escassas as informações dessa natureza.

Muitos estudos relacionados à contaminação da água são realizados em escalas pontuais, mas na agricultura a poluição difusa é bastante expressiva e variável (Merten & Minella, 2002; Rheinheimer et al., 2003). Dessa forma, a avaliação da concentração de N na solução do solo em vários pontos de uma microbacia hidrográfica pode trazer melhores informações sobre o impacto de determinado sistema produtivo. Nessas condições, é possível avaliar a concentração de N em diferentes tipos de solo, condições de uso do solo e declividade. Nessas áreas declivosas e com solos rasos, a água infiltrada pode percolar entre as fissuras do material rochoso em decomposição, até encontrar a rocha matriz, e assim se concentrar nas partes mais baixas do relevo, onde geralmente se formam zonas saturadas e afloramento de vertentes. Esses locais são o berço de muitos rios e onde também são construídas as fontes para captar água para o consumo humano e abastecimento doméstico. Assim sendo, a composição dessa água pode estar estreitamente ligada às condições de uso do solo nas proximidades (Gonçalves, 2003) e serve como indicador do impacto advindo de determinado sistema produtivo, principalmente em locais com solos de baixa capacidade de armazenamento de água (Lowery et al., 1998).

As matas localizadas nas encostas das bacias podem atuar como um controlador hidrológico, regulando o fluxo de água, sedimentos e nutrientes entre as áreas mais altas e mais baixas da bacia. Os lençóis superficiais são o primeiro destino do nitrato lixiviado e refletem o meio ambiente onde ocorrem. Assim sendo, a contaminação difusa é variável no tempo e no espaço, e sua avaliação e controle são dificultados.

A busca de alternativas ou indicadores para avaliar o potencial de contaminação oferecido pelo sistema produtivo de fumo levou à realização deste trabalho, cujo objetivo foi monitorar a concentração de nitrato na zona radicular e abaixo da zona radicular da cultura do fumo, em mata nativa, em campo nativo (potreiro) e em fontes de água para consumo humano, em diferentes posições na paisagem numa microbacia hidrográfica produtora de fumo.

5.2 Material e métodos

5.2.1 . Caracterização da microbacia em estudo

O estudo foi conduzido na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, localizada no Distrito de Nova Boêmia, município de Agudo-RS. A microbacia se encontra na região do rebordo do planalto (Anexo A). O relevo do local é fortemente ondulado e predominam solos pedogeneticamente jovens. Nos patamares, ocorrem os Chernossolos e, nos relevos mais declivosos, os Neossolos Litólicos (Dalmolin et al., 2004). A microbacia possui uma área de 480 ha, contendo 36 propriedades familiares que possuem uma área média de 10 ha e dependem economicamente do cultivo do fumo, de forma integrada à agroindústria fumageira (Gonçalves, 2003). Na safra de 2005/2006, aproximadamente 80,4 ha foram cultivados com fumo, sendo 53,5 ha (67 %) em sistema convencional, 26 ha (32%) em cultivo mínimo e apenas 0,8 ha (1%) em sistema plantio direto. O preparo do solo é realizado com arado de aiveca e grade de pinos tracionados por animais. O sistema de adubação desconsidera a análise de solo e/ou o histórico das glebas da propriedade. A adubação praticada é semelhante em todas as propriedades, seguindo-se o pacote tecnológico das indústrias fumageiras, que visa apenas à obtenção de altas produtividades e qualidade do fumo produzido, desconsiderando-se o custo de produção e o impacto ambiental resultante. Os fertilizantes são entregues aos produtores juntamente com todos os insumos necessários a implantação, condução, colheita e beneficiamento do fumo.

Na safra de 2005/2006, na microbacia foram aplicados, aproximadamente, 36900 kg de fertilizante NPK (10-14-28) na implantação da cultura do fumo e 51400 kg de Salitre do Chile (14-00-14) e 6850 kg de uréia (45-00-00) em cobertura. A cultura é implantada com um espaçamento de 1,2 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, o que representa uma população aproximada de 17000 plantas ha⁻¹. A adubação de base é aplicada no momento da construção do camalhão para o transplante das mudas de fumo. Nessas condições, é aberto um sulco com o arado de aiveca e o fertilizante é distribuído manualmente com uma adubadora semelhante a um regador de jardim. A dosagem é regulada pela abertura da adubadora e pela velocidade de deslocamento do operador. Após isso, o fertilizante é incorporado por uma nova passagem do arado de aiveca, sendo também formado o camalhão para receber as mudas de fumo. Devido às operações de construção do camalhão e da incorporação da adubação, a camada superficial do solo fica totalmente desestruturada e com mínima cobertura morta. A adubação de cobertura normalmente é aplicada aos 20 e 40 dias após o transplante das mudas. Na primeira aplicação de cobertura, o salitre do Chile é distribuído lateralmente a linha de plantio com a adubadora, sendo incorporado por uma passagem com o arado de aiveca. Na segunda adubação de cobertura, o fertilizante é aplicado sem incorporação, para evitar a quebra das folhas de fumo pelos animais.

Os teores de matéria orgânica são muito baixos nas lavouras cultivadas, geralmente menores do que 2,5%, estando aquém do ideal para solos cultivados (Rheinheimer et al., 2001a e 2003). O excessivo preparo do solo e a manutenção de baixos índices de cobertura expõem o solo às perdas por erosão e, principalmente, aumenta as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo, o que reduz os estoques de matéria orgânica nas áreas cultivadas.

O clima da região é subtropical úmido (tipo Cfa), segundo a classificação de Köppen, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C. As chuvas são normalmente bem distribuídas, variando de 1300 a 1800 mm ano⁻¹, sendo os meses de maio e junho os mais chuvosos (Moreno, 1961).

5.2.2 . Metodologia de coleta da solução do solo

A concentração de nitrato foi monitorada na solução do solo na região da zona radicular e abaixo da zona de crescimento radicular do fumo. Para isso, foram instalados lisímetros de tensão com cápsulas porosas de cerâmica (Figura 1), a 0,2 m e a 0,5 m de profundidade na linha de plantio das mudas de fumo (Anexo B). As cápsulas porosas utilizadas possuíam 0,06 m de diâmetro e 0,065 m de altura e estavam conectadas a canos de PVC de 0,05 m de diâmetro e 0,18 ou 0,40 m de altura. Os lisímetros de cápsulas porosas são bastante utilizados e seu uso tem sido considerada uma metodologia eficiente para coletar e avaliar a lixiviação de solutos no perfil do solo (Poss et al., 1995; Hendershot & Courchesne, 1991; Webster et al., 1993). No entanto, trabalhos têm apontado que os resultados podem ser subestimados, pois em condições de alta umidade do solo é coletada apenas a solução contida em poros maiores (Grossman & Udluft, 1991).



Figura 1 – Lisímetros de tensão com cápsulas porosas de cerâmica utilizados para extrair a solução do solo.