

Resumo

O aumento da concentração de nitrato (NO_3^-) na água de drenagem subterrânea, e o aumento da contaminação do lençol freático devido às altas taxas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, vêm ocorrendo praticamente no mundo inteiro. A lixiviação do NO_3^- em áreas agrícolas é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação. A concentração de nitrato na água é potencialmente causadora de danos ao homem e ambiente. Entre os problemas mais comumente observados estão a disfunção da glândula tireóide, produção de nitrosaminas, que geralmente causam câncer, e uma diminuição na capacidade do sangue para transportar oxigênio, também conhecida como metahemoglobinemia, além de impactos sobre os vegetais e ambientais diversos. O aumento da lixiviação associado aos riscos e aos impactos do nitrato como poluente do solo e da água demonstra necessidade de maiores cuidados no manejo da adubação nitrogenada, em razão das enormes implicações sobre a vida humana e animal, além das questões econômicas e ambientais envolvidas. A pesquisa na área de lixiviação de nitratos tem possibilitado a geração de novas alternativas voltadas ao manejo agrícola, com redução dos impactos do cultivo em sistemas intensivos sobre a contaminação de recursos hídricos, contudo, é necessário ampliar os conhecimentos e a geração de novas tecnologias para aplicação nas áreas de agricultura intensiva visando manejo mais adequado do nitrogênio no sistema água-solo-planta.

Palavras-chave: irrigação; cultivo protegido; nitrogênio; solução do solo; poluição da água

Características de la lixiviación de nitratos en las zonas de agricultura intensiva

Resumen

El aumento de la concentración de nitrato (NO_3^-) en la agua de drenaje del subsuelo, y el aumento de la contaminación de las aguas subterráneas debido a la alta dosis de aplicación de fertilizantes nitrogenados, ocurren en casi todo el mundo. Lixiviación de NO_3^- en las zonas agrícolas se ve reforzada por las propiedades físicas de los suelos, por las prácticas agrícolas intensivas y la alta necesidad de agua para el riego. La concentración de nitrato en la agua es potencialmente perjudicial para el hombre y el medio ambiente. Entre los problemas más comúnmente observados pueden citarse a la disfunción de la glándula tiroidea, la producción de nitrosaminas, que por lo general causa cáncer, y una disminución de la capacidad de lo sangre para transportar oxígeno, también conocido como metahemoglobinemia, y los impactos sobre las plantas y medio ambiente. El aumento de la lixiviación y riesgos asociados a los impactos de nitrato como contaminantes del suelo y el agua muestra la necesidad de un mayor cuidado en el manejo de la fertilización nitrogenada, debido a las enormes implicaciones para la vida humana y animal, además de cuestiones económicas y ambientales que intervienen. La investigación sobre la lixiviación de los nitratos ha permitido la generación de nuevas alternativas frente a la gestión agrícola para reducir los impactos de los sistemas intensivos de cultivo sobre la contaminación de los recursos hídricos, sin embargo, es necesario ampliar el conocimiento y la generación de nuevas tecnologías para su aplicación en las zonas de agricultura intensiva con el fin de una gestión más adecuada de lo nitrógeno en el sistema suelo-agua-planta.

Palabras llave: riego; invernadero; nitrógeno; solución del suelo; contaminación de la agua

Introdução

Com o aumento pela demanda de alimentos está ocorrendo um crescente avanço da tecnificação

Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva

Sidnei Osmar Jadoski¹; Larissa Romão Saito²; Cassiane do Prado³; Edina Cristiane Lopes²; Lívya Luiza Souza Resende Sales²

da agricultura, sendo que o manejo da fertilidade do solo com adubação química, o cultivo intensivo em estufas e o incremento do uso de irrigação e de drenagem conjunta, são elementos de grande

1 Professor Doutor – Agronomia – UNICENTRO (sjadoski@unicentro.br)

2 Aluna do Curso de Mestrado em produção Vegetal - UNICENTRO

3 Acadêmica do Curso de Agronomia - UNICENTRO

expressão neste contexto de progresso agrícola.

Os benefícios resultantes da agricultura intensiva e tecnificada são evidentes e apontam para a sustentabilidade de suprimento alimentar para o mundo. Contudo, tal processo ocasiona também inúmeros problemas, especialmente em relação ao meio ambiente, destacando-se os recursos hídricos. Além da utilização direta da água na agricultura existe o processo de deposição de elementos químicos no solo e na água, que acabam representando um risco para os novos cultivos e para saúde humana e animal, uma vez que além de reduzir a qualidade da água, aumenta a dificuldade de purificação para o consumo e ainda expõe pessoas e animais ao consumo direto de água poluída.

O nitrogênio (N) é um dos elementos de maior presença na adubação química aplicada na agricultura, amplamente utilizado em sistemas de cultivo intensivos como os praticados em estufa agrícola, onde as plantas devolvem seu ciclo de forma acelerada e por repetidas vezes durante o ano em um mesmo local, dependendo quase que exclusivamente de adubação química, e no caso do N, o suprimento proveniente da atmosfera pelas chuvas é inexistente. Desta forma, quanto maior for a aplicação deste elemento no solo ou substrato, maior será a possibilidade de geração de resíduos e maior o potencial de poluição do solo e da água por lixiviação de nitrato (NO_3^-).

No Brasil a área de cultivo com uso de plasticultura em estufas agrícolas apresenta crescimento concomitante com o aumento do crescimento urbano, onde as maiores cidades são circundadas por cinturão verde com grande concentração de estufas. Os perímetros irrigados se espalham por todo o interior do país, com acelerada multiplicação de equipamentos de irrigação, notadamente pivô central. A área irrigada atualmente é de aproximadamente 5 milhões de ha, com grande potencial de crescimento (ANA, 2009).

Os aspectos salientados a respeito do maior potencial de poluição por lixiviação de elementos químicos em áreas irrigadas e de cultivo intensivo como as estufas não podem, contudo, reduzir a importância destes processos de produção, já que tanto a irrigação como o cultivo protegido, que é diretamente dependente do uso de irrigação,

possibilitam aumento de produtividade e colaboram para diminuir a necessidade de expansão das fronteiras agrícolas. Além disso, o impacto negativo do uso da água em irrigação é muitas vezes inferior ao ocasionado pela poluição industrial e urbana. Contudo, estes são os três setores que exercem maior pressão sobre os recursos hídricos no planeta.

Neste contexto, o estudo e difusão de conhecimentos a respeito do efeito dos processos de manejo e uso de insumos na agricultura e seu potencial de poluição do solo e dos recursos hídricos é de grande importância, pois pode tornar mais evidente a necessidade e a possibilidade de desenvolvimento de mecanismos ou de processos de produção 'mais limpos' ou ambientalmente menos impactantes.

Características do processo de lixiviação de nitrato

O nitrato livre na solução do solo ocorre com elevada frequência. Como esses íons não são adsorvidos pelos componentes das frações do solo, razão pela qual se deslocam facilmente, podem ser absorvidos pelas raízes e translocados às folhas ou lixiviados aos mananciais subterrâneos (CORREA et al., 2006). Dynia e Camargo (1999) enfatizam que a lixiviação de nitrato é um fenômeno físico, favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo e também pela sua alta solubilidade em água.

Devido a fatores climáticos, condições edáficas e aos métodos de irrigação, os sais dissolvidos na água podem se acumular no perfil do solo ou ser carregados para as águas subterrâneas (BARTON et al., 2006; RODRIGUES et al., 2007). Íons de nitratos por não serem retidos na fase sólida do solo, geralmente ficam dissolvidos em sua solução, e podem ser lixiviados em maior ou menor grau, em função da percolação da água ao longo do perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície.

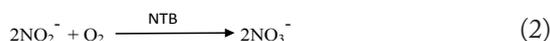
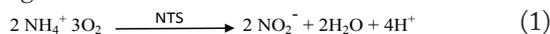
O nitrato é considerado a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agrícolas. De acordo com Resende (2002), isso ocorre pelo fato de este ser fracamente

retido nas cargas positivas dos colóides, tendendo a permanecer mais em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, nas quais a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo da fase sólida (repelindo o nitrato). Na solução do solo, este elemento fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo pode haver considerável incremento de seus teores em águas profundas. Para este autor, a intensidade do processo de contaminação depende, principalmente, das quantidades de nitrato adicionadas ao solo, da permeabilidade do solo, das condições climáticas (pluviosidade e irrigação) e da profundidade do lençol freático. O enriquecimento excessivo das águas superficiais com nitrato leva à eutrofização dos mananciais.

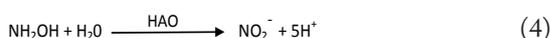
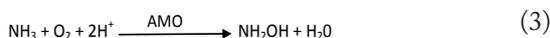
O aumento da concentração de nitrogênio mineral $N-NO_3^-$ na água de drenagem subterrânea, e o aumento da contaminação do lençol freático, devido às altas taxas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, vêm ocorrendo praticamente no mundo inteiro. Para Bakhsh et al. (2000), este fato se deve à busca de produtividade cada vez maior sem se observar, geralmente, o conseqüente impacto ambiental. Nesse contexto, o efeito da taxa de aplicação de N, a produtividade e perdas de $N-NO_3^-$ na água de drenagem subterrânea, precisam ser quantificados para se buscar o adequado desenvolvimento econômico, e ao mesmo tempo, garantir o desenvolvimento sustentável das práticas agrícolas.

Em condições normais ocorre no solo o processo de nitrificação, em que se estabelece um aumento da disponibilidade e absorção de nitrogênio pelas plantas, aumento das perdas de N por desnitrificação e do efeito poluidor do N mineral. Este processo pode ser definido como uma oxidação biológica em que o amônio, proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo ou de fertilizantes amídicos ou amoniacais, é convertido a nitrato pela ação de microorganismos do solo. Sumariamente o processo pode ser dividido em duas fases, sendo que na primeira as bactérias do gênero *Nitrosomonas* (NTS) agem na formação de nitrito e na segunda a formação de nitrato ocorre por ação das bactérias do gênero *Nitrobacter* (NTB). Em ambos os casos, estas nitrobactérias são quimioautotróficas, fixando CO_2 com a energia obtida nessas reações que

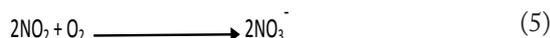
são obrigatoriamente aeróbicas. O processo ocorre da seguinte forma:



De acordo com Myrold (1998), a nitrificação ocorre em duas fases, na primeira fase a amônia se oxida sendo convertida em hidroxalamina por meio da ação da enzima amônia monooxigenase (AMO) e posteriormente a hidroxalamina é convertida em nitrito, com participação da enzima hidroxalamina oxidoreductase (HAO).



Na segunda fase da nitrificação ocorre a oxidação do nitrito a nitrato, que é realizada com participação da enzima nitrito oxidoreductase (NOR), sendo:



Manejo da adubação nitrogenada

Embora não seja a única responsável pela perda da qualidade da água, a agricultura direta ou indiretamente contribui para a degradação dos mananciais. De acordo com Phillips e Burton (2005), isso pode ocorrer pela contaminação dos corpos d'água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas, e ainda, por agentes biológicos. Amplamente utilizadas, e, muitas vezes de forma inadequada, as aplicações de fertilizantes, defensivos e dejetos de criações intensivas de animais são tidos como as principais atividades relacionadas à perda de qualidade da água nas áreas rurais.

O conhecimento da disponibilidade de N mineral no solo durante o ciclo da cultura é muito importante para a realização da adubação com N na época e com quantidade adequadas. Contudo deve ser considerada a existência de diversos fatores que interferem na disponibilidade de N liberado pelo solo, assim como na sua absorção e assimilação pela planta. Para Von Wirén et al. (1997) a utilização de fontes de N (NO_3^- , NH_4^+) disponíveis no solo pelas plantas

é determinada pelas condições ambientais e pelas condições do solo de disponibilizar estas duas formas.

O nitrogênio é absorvido nas raízes sob a forma de NO_3^- ou íon amônio (NH_4^+), sendo incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea da planta. Nesse sentido, o NO_3^- é a forma de N mais disponível nos solos agrícolas aerados onde a nitrificação não é inibida. Sparks (1995) descreve que para o N na forma de amônio (N-NH_4^+), a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo, embora a capacidade de adsorção do N-NH_4^+ , de acordo com a serie liotrópica, seja menor em relação à de outros cátions, como Ca e Mg.

A utilização de fontes de N mineral disponíveis no solo pelas plantas é determinada pelas condições ambientais e, particularmente, pelas condições do solo de disponibilizar estas duas formas. Nesse sentido, o NO_3^- é a forma de N mais disponível nos solos agrícolas aerados onde a nitrificação não é inibida (VON WIRÉN et al., 1997).

Para Resende (2002) a exceção do efeito da erosão que carrega fertilizante e resíduos orgânicos para os cursos d'água, a mobilização de excessiva do nitrato para os mananciais, decorre normalmente de um desbalanço entre as taxas de suprimento de nitrogênio mineral (nitrato ou amônio) no solo e a capacidade da vegetação de cobertura em absorver e assimilar o nutriente, convertendo-o em formas orgânicas. Assim, quando no solo há nitrato em quantidade acima da que determinada cultura pode aproveitar, aumenta a lixiviação para camadas profundas não exploradas pelo sistema radicular.

A eficiência média do uso do nitrogênio (N) em cereais é de apenas 33%. Considerando os 67% de N que não são aproveitados, Raun e Johnson (1999) estimam a ocorrência de uma perda anual de 15,9 bilhões de dólares em fertilização nitrogenada. Conforme Cantarella e Duarte (2004), o nitrogênio, embora seja o nutriente mais exigido em quantidade, tem o manejo e a recomendação complexos. O aumento do uso e do custo dos adubos nitrogenados é uma preocupação cada vez maior em diversos países, e atualmente também no Brasil. Neste contexto, Keeney (1982) definem o manejo ideal da adubação nitrogenada como sendo aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura com

o mínimo de risco ambiental.

O N orgânico para ser absorvido pelas plantas precisa ser mineralizado até formar NH_4^+ , este íon, por sua vez, ao passar pelo processo de nitrificação em solos oxidados é rapidamente transformado para a forma de NO_3^- , de tal modo que poderá haver no solo muito mais nitrato do que a capacidade de absorção pelas plantas, sendo o excedente lixiviado com facilidade no perfil (COSTA et al., 2004). Um bom exemplo de potencial de liberação de nitrato para a solução do solo é adubação com uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, que é um dos principais tipos de adubo nitrogenado formulado empregado na agricultura, o qual apresenta 45% de nitrogênio (N) solúvel em água. No solo, o nitrogênio da uréia transforma-se em amônia (NH_3) gasosa e nitrato NO_3^- .

Na região dos campos gerais do Estado do Paraná, Piovesan et al. (2009) observaram que as quantidades perdidas de P, K e N-NH_4^+ , em relação ao aplicado, são menores comparativamente ao N-NO_3^- , confirmando o potencial de lixiviação do N-NO_3^- , mesmo em solo argiloso com predomínio de caulinita e gibbsita na fração argila. Em relação às características de solos brasileiros, como o latossolo, Araújo et al. (2004) verificaram que mesmo com doses consideradas normais de adubos nitrogenados e em Latossolos muito argilosos, onde ocorrem altos teores de óxidos de Fe e gibbsita, a lixiviação de NH_4^+ e NO_3^- é uma realidade. Isso implica em maiores cuidados no manejo da adubação nitrogenada em razão das enormes implicações econômicas e ambientais envolvidas.

Uma área importante do manejo da fertilização é atual alternativa do uso de águas residuárias. Coavilla et al. (2010) descrevem que a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais em áreas com reuso de água, está intimamente ligada às características da água residuária e às propriedades de retenção e transmissão de água e solutos do solo, que podem limitar sua aplicação. Considerando os resultados de várias pesquisas, Sampaio et al. (2010) observam que por se tratar de técnica de disposição que reduz os custos de tratamento e traz benefícios à agricultura, o aproveitamento de águas residuárias, como por exemplo, da suinocultura, na fertirrigação das culturas tem despertado o interesse dos agricultores. Porém, essa água, quando

aplicada acima da capacidade de suporte do solo, pode provocar contaminação do solo e das águas subterrâneas através da lixiviação de nutrientes.

Como estratégia para reduzir as perdas de nitrato para o solo e possibilitar melhor aproveitamento de águas residuárias, Aita e Giacomini (2008) descrevem que a adição ao solo de materiais orgânicos com elevada relação C/N, como os resíduos culturais de cereais, poderá estimular a absorção de $N-NO_3^-$ pela biomassa microbiana, mantendo o N temporariamente na forma orgânica e diminuindo as perdas de $N-NO_3^-$ para o ambiente. Os autores constataram eficiência na aplicação de dejetos de suínos sobre a palha de aveia como estratégia para estimular a imobilização microbiana de N, reduzindo o potencial de lixiviação de NO_3^- no solo. Entretanto, as quantidades de $N-NO_3^-$, e a sua percolação no solo aumentaram rapidamente após a aplicação dos dejetos, principalmente na dose de $80 m^3 ha^{-1}$, indicando que o manejo da fertilização do solo com uso de biofertilizantes oferece riscos similares aos da adubação química.

Comportamento do nitrato no solo sistema solo-água-planta

Características em relação ao solo

Conforme Spitz e Moreno (1996), os principais fatores que influenciam nas perdas de nitrato para o ambiente são as precipitações pluviárias, temperatura, taxa de aplicação de fertilizante, práticas de plantio e práticas de manejo da drenagem. Embora alguns destes sejam fatores que ocorrem naturalmente, sendo, assim incontroláveis, existem aqueles que envolvem certa interação humana e que podem ser manejados para minimizar a poluição de N, sendo mantido o benefício do fertilizante. Entretanto, devem ser observadas as variabilidades espaciais e temporais nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de natureza de retorno não linear, como o transporte dos contaminantes, associados ao fator de incerteza climática e à complexidade das propriedades do solo.

Correa et al. (2006) e Phillips e Burton (2005) mostraram que, em elevadas dotações de água, a taxa de lixiviação dos íons é maior em solos arenosos.

Por serem em geral pobres de matéria orgânica, esses solos, assim como os substratos de uso agrícola possuem baixa capacidade para reter o nitrato, que, livre em solução, ficará sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas. Andrade et al. (2009) verificaram que em campos irrigados, a lixiviação do nitrato foi potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada dotação de água empregada na irrigação.

Nos solos que predominam argilas de carga permanente, a capacidade de retenção de nitrato é quase nula. Por outro lado, solos nos quais predominam minerais de carga variável (como é o caso dos latossolos), podem apresentar considerável capacidade de retenção de nitrato (DAVIS et al., 2000). Em avaliações em solo tropical Dynia (2000) verificou que o nitrato apresenta mobilidade acentuada, com acúmulo do íon entre 220 e 460 cm de profundidade, em solo argiloso, e entre 340 e 600 cm de profundidade, em solo arenoso, o que demonstra presença deste elemento em locais muito abaixo da zona de exploração radicular da maioria das culturas.

Características em relação ao cultivo protegido e manejo da irrigação

A irrigação desempenha um importante papel na ampliação da produtividade agrícola, possibilitando o desenvolvimento de muitas regiões do globo. Entretanto, Cruz et al. (2003) consideram que a prática da irrigação, associada ao regime irregular das chuvas e às elevadas taxas de evaporação nas regiões secas ou em sistema de cultivo protegido, tendem a aumentar os teores de sais nos solos e nas águas.

Diante desses fatores, há teoricamente uma maior vulnerabilidade para contaminação do lençol freático em áreas irrigadas, cultivo protegido ou regiões com distribuição desuniforme das precipitações. Essa hipótese é justificada, pois, no período de estiagem, há um aumento na frequência de irrigação, na aplicação de adubação nitrogenada via fertirrigação e nos excessos das lâminas percoladas da água de irrigação. Para Oliveira (1993) os riscos de contaminação de águas subterrâneas com nitrato, são elevados também em regiões onde há altos índices pluviométricos ou ocorre a aplicação de excessivas lâminas de águas residuárias e o solo apresenta alta

permeabilidade.

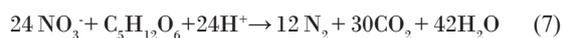
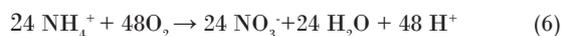
Os maiores problemas em potencial de lixiviação de nitrato estão em áreas de cultivo intensivo, áreas irrigadas e áreas drenadas, além de exploração de várzeas. A exploração intensiva destas áreas com elevadas dosagens de fertilizantes apresenta grandes riscos de desequilíbrio ambiental com poluição por NO_3^- . Ainda que não represente o exato conceito de cultivo intensivo, as áreas irrigadas estão associadas a patamares de alta tecnologia agrícola, e se constituem em situações que demandam elevadas quantidades de água, e onde há aplicação de adubação química com macronutrientes e, freqüentemente, fertirrigação com adubação nitrogenada. Elas são integrantes importantes do manejo cultural, representando, em contraposição, grande potencial de poluição por lixiviação de elementos químicos, especialmente os de grande mobilidade no solo e água, como os nitratos.

O sistema de cultivo protegido representa clássica condição para exploração em agricultura intensiva, em que o uso de fertilizantes químicos, irrigação e aplicação de tecnologias de manejo são realizados continuamente visando máxima potencialização da produção. Esta forma de cultivo é uma alternativa eficiente para a ampliação das fronteiras agrícolas e do período de cultivo das culturas agrícolas.

Nesse sistema é possível o uso de artifícios para o controle climático, contudo, é imprescindível a disponibilidade de irrigação para o suprimento de água às plantas. Esse suprimento de água por irrigação propicia a ocorrência de salinização da camada superficial do solo, devido a movimentação de componentes químicos presentes na solução do solo das camadas subsuperficiais, que ocorre em consequência do movimento ascendente ocasionado pela da evaporação da água. Para evitar esse processo de salinização, o manejo em cultivo protegido é estabelecido considerando a realização de irrigações periódicas, em que são aplicadas lâminas capazes de lavar o perfil do solo conduzindo os sais concentrados para camadas distantes do sistema radicular, o que potencializa o processo de lixiviação de nitrato (exceto nos casos em que a água de drenagem é conduzida para tanques de manejo de efluentes, o que é pouco comum). Os demais aspectos da lixiviação são

similares aos que ocorrem em cultivos convencionais.

Em áreas irrigadas ou drenadas as perdas iniciais ocorrem logo após a saturação do solo, momento em que o nitrato, mineralizado durante a fase aeróbica (NO_3^-), é desnitrificado a NO_2 e N_2 , gasosos. Por outro lado, o NH_4^+ que é formado pela mineralização da matéria orgânica ou aplicado na forma de fertilizante amoniacal, é estável na zona reduzida do solo a ser nitrificado pelos microorganismos aeróbios. O NO_3^- formado no processo de nitrificação pode difundir-se para as zonas reduzidas e ser desnitrificado pelos microorganismos anaeróbios a NO_2 e N_2 (SOUSA e LOBATO, 2004). Sendo apresentada a seguinte relação:



Em pesquisa em área irrigada, Andrade et al. (2009) observaram que os teores de nitrato, nas águas dos poços influenciados diretamente pela agricultura irrigada, excederam significativamente os limites máximos aceitáveis na legislação vigente no Brasil para consumo humano e também em relação à classificação dos corpos de água. A otimização do recurso hídrico e dos fertilizantes nitrogenados pode ser melhorada com a adoção de um manejo da irrigação adequado ao tipo de solo da área cultivada.

Em relação às áreas irrigadas, onde o movimento de água no sistema solo-planta é mais intenso, é importante considerar as informações apresentadas por Sousa e Lobato (2004) que descrevem que as perdas totais de N no solo são 43% provenientes da desnitrificação e 29% são perdidos na forma de lixiviação de nitrato, processo que é mais acentuado em condições de alta umidade do solo. Da mesma forma Wolschick et al. (2008) verificaram que em anos de elevada precipitação as perdas de N por lixiviação no solo pode chegar a 30%.

Dentre os métodos que possibilitam a aplicação controlada de fertilizantes via sistema de irrigação, a aplicação localizada por gotejamento apresenta a vantagem de reduzir as perdas de N por lixiviação, pois a profundidade de aplicação é melhor controlada e em geral são aplicadas lâminas menores e mais frequentes, o que possibilita o parcelamento

da adubação nitrogenada, e aplicações de dosagens maiores nos períodos em que o aproveitamento pela cultura será maior. Entretanto, mesmo nessas condições, existe a necessidade de se realizar irrigações com maior lâmina com determinada frequência, visando lavar o excesso de sais para zonas mais distantes do sistema radicular da cultura. Neste caso, a atuação conjunta com um sistema de drenagem pode possibilitar um maior controle do efluente, e a aplicação de técnicas que minimizem a lixiviação.

Efeitos e riscos do nitrato

A contaminação das águas subterrâneas com nitrato é preocupante. O nitrato é um íon que promove o aparecimento de algas e outros vegetais aquáticos em corpos d'água de superfície, o que afeta a qualidade da água por uso doméstico, recreação e pode dizimar a população de peixes por eliminação do oxigênio na água. Muchovej e Rechcigl (1995) salientam que águas com concentração de N nítrico (N-NO_3^-) acima de 3 mg L^{-1} são consideradas contaminadas, e neste caso o custo para remoção do íon NO_3^- por troca iônica ou outro método de tratamento é elevado.

Em face do risco que representa, a concentração de nitrato na água para o consumo humano não deve exceder 10 mg L^{-1} de N-NO_3^- , de acordo com os limites adotados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente e pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2001). Tais limites são os mesmos adotados em vários países, como atualmente pela Agência Ambiental dos Estados Unidos - USEPA. Dados apresentados por Muñoz-Carpena et al. (2002) e Chowdary et al. (2005) demonstram que em áreas exploradas com agricultura irrigada, a concentração de N-NO_3^- no lençol freático, algumas vezes, excede 200 mg L^{-1} .

A lixiviação do N-NO_3^- oriundo das áreas agrícolas vem se tornando um risco à saúde pública, uma vez que em concentrações superiores a 10 mg L^{-1} nas águas subterrâneas, pode desenvolver a metahemoglobinemia, conhecida também como síndrome do "bebê azul" (FENG et al., 2005). Em relação a este efeito Zublena et al. (2001) descrevem que bebês menores de seis meses de idade possuem bactérias no trato digestivo que reduzem o nitrato a nitrito, podendo haver envenenamento. Quando

o nitrito alcança a corrente sanguínea, ocorre reação com a hemoglobina formando composto metahemoglobina, o qual diminui a capacidade de o sangue transportar oxigênio. Nessa situação, a criança pode sofrer asfixia ficando com a pele azulada, especialmente ao redor dos olhos e da boca. A doença é letal quando 70% da hemoglobina do corpo é convertida em metahemoglobina.

Ainda com relação aos efeitos do excesso de nitrato no solo e contaminação dos recursos hídricos, Galaviz-Villa et al. (2010) descrevem que os nitratos e nitritos dissolvidos nas águas subterrâneas são indiretamente consumidos por seres humanos, em quem causam efeitos negativos para a saúde. Entre os problemas mais comumente observados estão a disfunção da glândula tireóide, produção de nitrosaminas (que geralmente causam câncer), além da diminuição na capacidade do sangue para transportar oxigênio (metahemoglobinemia).

Para as plantas e produção vegetal, Cano et al. (2007) salientam que um excesso de fertilização com nitrogênio pode ocasionar múltiplos inconvenientes agrônômicos que são amplamente definidos, influenciando na qualidade do fruto e da planta, como fruto oco, aborto floral, menor resistência à geadas, dentre outros. Os autores salientam ainda que em relação aos efeitos no meio ambiente, os nitratos contribuem para um aumento no efeito estufa e degradação da camada de ozônio.

Perspectivas da pesquisa

Atualmente, no Brasil, o maior foco de preocupação com nitrato parece estar voltado ao manejo de águas residuárias, assim como efluentes de atividades agropecuárias, como a suinocultura. Além destes são verificados estudos em áreas de irrigadas e cultivo protegido e, com menor intensidade em lavouras conduzidas em campo aberto. Em outros países os problemas associados ao nitrato são variados e distribuídos em todos os continentes. Um dos locais com maior concentração de cultivo em sistemas intensivos devido ao uso generalizado de irrigação e cultivo protegido em estufas é a região Sudeste da Espanha. Estudos demonstram que naquele local os elevados níveis de produção são acompanhados por problemas com lixiviação de nitrato ao solo e

água. A este respeito Becerra e Bravo (2010) relatam que atuação da pesquisa na área de lixiviação tem possibilitado a geração de inúmeros conhecimentos voltados ao manejo agrícola, com redução dos impactos do cultivo em sistemas intensivos sobre a contaminação de recursos hídricos por nitrato.

Com relação aos avanços da pesquisa observase na literatura uma vasta gama de informações que demonstram elevado investimento financeiro e de experimentação em lixiviação de nitrato, entretanto, é também evidente a necessidade de aprimoramento científico e tecnológico nesta área, na busca de maior sustentabilidade ambiental e seguridade, especialmente em relação à saúde humana.

Na atualidade a tendência observada é do uso de modelos matemáticos para prever o transporte de água e solutos, os quais representam uma alternativa de subsídio à pesquisa e com possibilidade de aplicação prática no manejo agrícola e ambiental, considerando as especificidades dos diferentes locais e características do manejo em áreas de agricultura intensiva. Como exemplo podemos citar Gallardo et al. (2009) que apresentam modelo matemático que demonstra ser eficiente na avaliação das perdas de N em cultivo em substrato. Já Thompson et al. (2009) demonstram a eficiência de modelo para estimativa das perdas regionais de nitrato, adequado tanto para o cultivo no solo como em substratos.

Considerações Gerais

De maneira geral os dados de pesquisa verificados na literatura demonstram a ocorrência de impactos significativos da lixiviação de nitrato sobre os recursos hídricos e meio ambiente e evidenciam riscos expressivos de ocorrência de problemas na saúde humana que podem ser causados por este íon.

Embora este seja um problema que já vem

sendo estudado a longo tempo, existe a necessidade eminente de aprimoramento de conhecimentos, considerando que novas variáveis estão sendo constantemente inseridas no sistema. Este é o caso dos novos processos de manejo e reutilização de águas residuárias, novos insumos e fertilizantes com base nitrogenada, ampliação de áreas de cultivo protegido e irrigação, cultivares com diferentes níveis de extração e aproveitamento do N, alterações do clima global, com destaque para o regime hídrico e temperatura, além do intemperismo do solo, que são elementos que alteram o processo de mobilidade e lixiviação de nitrato.

Tanto a adubação nitrogenada como o uso de irrigação são fatores importantes e que apresentam grande participação na produtividade agrícola. Dessa forma são necessários estudos contínuos, que busquem o desenvolvimento de estratégias de manejo associadas à sustentabilidade com risco mínimo ao meio ambiente e à vida humana e animal, com redução da taxa de aplicação, otimização do aproveitamento pelos vegetais e desaceleração da mobilização do nitrato no solo, acompanhados de práticas de manejo mais tecnificadas e menos impactantes. É indispensável que a informação e a conscientização sobre este problema estejam cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas responsáveis pelas áreas de produção e desenvolvimento de produtos, especialmente fertilizantes.

Referências

Apresentadas no final da versão em inglês