

Potenciais Impactos de Sistemas Estáticos de Esgotamento Sanitário na Água Subterrânea – Revisão de literatura

Sílvia M. A. Corrêa Oliveira, Marcos von Sperling

Universidade Federal de Minas Gerais
silvia@desa.ufmg.br; marcos@desa.ufmg.br

Recebido: 18/01/10 - revisado: 03/09/10 - aceito: 17/08/11

RESUMO

Esta revisão de literatura efetua uma compilação de diversos estudos que investigaram os potenciais impactos de sistemas estáticos de esgotamento sanitário na contaminação da água subterrânea, principalmente por nitrato e organismos patogênicos. Algumas conexões claras foram relatadas em diversos estudos, mas o grau e o impacto de tais contaminações foram pouco esclarecidos. A extensão da contaminação é extremamente variável e pode ser função das condições do solo, tipo de sistema de tratamento, taxas de aplicação de esgoto, características do aquífero e profundidade do nível d'água. Consequentemente, o projeto, a construção e a manutenção adequada destes sistemas são cruciais para uma operação sustentável e bem sucedida. As evidências de contaminações de aquíferos parecem ser baseadas mais no aumento do número de sistemas estáticos em todo o mundo do que nos problemas efetivamente observados e que sejam diretamente associados a este tipo de tecnologia.

Palavras-chave: *Sistemas estáticos de esgotamento, água subterrânea, contaminação, organismos patogênicos, nitrato.*

INTRODUÇÃO

Aproximadamente 1,1 bilhão de pessoas permanece sem acesso a fontes seguras de água e cerca de 2,4 bilhões, quase metade da população mundial, não possuem nenhum tipo de serviço de esgotamento sanitário, apesar dos enormes avanços observados no século anterior. Como consequência, 2,2 milhões de pessoas em países em desenvolvimento, a maioria crianças, morrem todo ano de doenças associadas a precárias condições de saneamento básico (WHO/UNICEF, 2005).

Uma disposição adequada de dejetos é de suma importância para a saúde e o bem-estar de todos os seres humanos, envolvendo também aspectos sociais e ambientais. Existe um grande número de doenças relacionadas com fezes humanas infectadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos. As maiores incidências, geralmente relatadas, dizem respeito a infecções intestinais e infestações por helmintos, incluindo cólera, febres tifóide e paratífóide, diarreia, esquistossomose, entre outras (WHO, 1992, Argoss, 2001).

Além do conteúdo patogênico, a composição química dos esgotos também deve ser conside-

rada devido ao seu efeito sobre a saúde da população. O número de componentes a serem monitorados (por exemplo, metais pesados, compostos orgânicos, detergentes, etc.) é maior em áreas urbanas industrializadas do que em áreas rurais. No entanto, a concentração de nitrato (NO_3^-) é importante em todas as áreas, devido à possibilidade de sua acumulação em águas superficiais e subterrâneas, seu efeito na saúde humana (metahemoglobinemia em lactentes e alguns tipos de câncer) e no equilíbrio ecológico de águas receptoras de efluentes. Embora a maior fonte antrópica de contaminação por nitrato esteja associada aos fertilizantes nitrogenados em áreas rurais, a falta de serviços adequados de esgotamento sanitário pode contribuir e, em casos excepcionais, se constituir no maior fator de elevação de concentrações de nitrato, principalmente em águas subterrâneas (WHO, 1992; Harman *et al.*, 1996; Dillon *et al.*, 2000; Steffy e Kilham, 2004).

Tais aspectos têm motivado um grande número de pesquisas sobre a contaminação de águas subterrâneas por sistemas estáticos de tratamento de esgotos domésticos, principalmente aqueles que possuem uma etapa de disposição no solo como parte integrante do processo. Os riscos têm aumentado devido à crescente utilização destes sistemas, e

também devido à sua inadequada manutenção, principalmente em países em desenvolvimento. No entanto, mesmo países desenvolvidos fazem uso deste tipo de sistema de tratamento e disposição de esgotos.

Beal *et al.* (2005) comentam que mais de um milhão de residências (mais de dois milhões e seiscentas mil pessoas) na Austrália utilizam sistemas estáticos e que nos Estados Unidos o número é superior a 60 milhões de pessoas. Relatam ainda que, na atualidade, em alguns países em desenvolvimento o percentual chega a atingir 100%.

Neste cenário, o presente trabalho objetiva apresentar uma compilação de diversos estudos que investigaram os potenciais impactos de sistemas estáticos de esgotamento sanitário na água subterrânea, principalmente por nitrato e organismos patogênicos. Foi feita a opção de se sintetizar os estudos na forma de quadros-resumo, que são consolidados, comentados e representam a maior parte deste trabalho.

SISTEMAS ESTÁTICOS DE ESGOTAMENTO

Os sistemas estáticos podem ser constituídos por opções de baixo custo, tais como várias formas de fossas (seca e absorvente, dentre outras), ou opções de custo mais alto, como tanques sépticos. Os sistemas que utilizam a disposição local dos dejetos podem ser classificados ainda quanto à ausência ou à presença de transporte hídrico. Assim, a fossa seca faria parte do primeiro grupo, exigindo solução independente para a disposição das águas servidas, enquanto a fossa séptica, que prevê o transporte hídrico dos dejetos, faria parte do segundo (Heller e Chernicharo, 1996).

Para cada comunidade, deve ser escolhida a opção mais factível e conveniente para fornecer a proteção necessária à saúde e ao meio ambiente. Para a seleção da opção mais apropriada, uma ampla análise deve ser efetuada, considerando fatores como custo, aceitação cultural, simplicidade de projeto e construção, operação e manutenção, assim como disponibilidade local de materiais e tecnologias. Além dos aspectos construtivos e operacionais, cabe também salientar os aspectos hidrogeológicos tais como tipo de aquífero, profundidade do nível d'água, litologia, espessura da zona não-saturada, entre outros (WHO, 1992, Franceys *et al.*, 1992; Cotton e Saywell, 1998).

Nos sistemas estáticos de esgotamento, em geral, os esgotos são tratados primariamente na

própria fossa, via sedimentação e digestão anaeróbia. Em seguida, o efluente é infiltrado no solo circunvizinho, que é utilizado como meio de tratamento e de dispersão. Neste tipo de sistema de tratamento são utilizados processos biogeoquímicos naturais, que ocorrem no solo para assimilar os vários poluentes infiltrados. A sua vantagem em relação a outros métodos é a relativa simplicidade, baixo custo e, se construídos apropriadamente, sua capacidade de tratamento. As desvantagens estão relacionadas à variabilidade e heterogeneidade inerente ao solo e aos processos biogeoquímicos. Diferentemente das estações de tratamento de esgotos, que empregam, em geral, processos que podem ser controlados ou regulados diretamente após a instalação do sistema, a operação dos sistemas estáticos não permite intervenções. Conseqüentemente, um projeto e uma construção apropriados são cruciais e devem ser baseados em conhecimento prévio das condições do local e do solo, para uma operação sustentável e bem sucedida destes sistemas (Day, 2004; Beal *et al.*, 2005b, Murray *et al.*, 2007, Katz e Griffin, 2008).

POTENCIAIS IMPACTOS DE SISTEMAS ESTÁTICOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O líquido que percola das fossas para o solo contém um grande número de microrganismos de origem fecal (podendo incluir patogênicos), nitrogênio (convertido a nitrato no solo) e outros sais. Como consequência, a água subterrânea que recebe o percolado das fossas poderá se tornar contaminada, com potenciais problemas caso essa água venha a ser usada diretamente para abastecimento público ou domiciliar. Também, caso haja problemas de subpressão nas redes de abastecimento de água devido a intermitências no abastecimento, poderá haver entrada de água subterrânea contaminada na rede, podendo comprometer a qualidade da água fornecida à população.

Com relação à poluição química, esta se estende muito além daquela provocada por microrganismos. Quando existe grande densidade de fossas e de tanques sépticos, as concentrações de nitrato podem atingir valores muito acima daquele recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde para águas potáveis (10 mgN/L). As reações de formação do nitrato ocorrem em meio aeróbio, sendo observados, primeiramente, os processos de fixação do nitrogênio orgânico e posterior conver-

são deste a amônio (amonificação). Este, através das reações de nitrificação é convertido a nitrito e, a seguir, a nitrato.

Geralmente, é necessário avaliar os riscos de contaminação e o nível de degradação aceitável na qualidade da água. Em alguns casos, a contaminação de águas subterrâneas por sistemas estáticos pode não ser ameaça para a saúde porque outras fontes de abastecimento são utilizadas, ou quando a eficiência de filtração do solo é suficiente para eliminar os microrganismos patogênicos.

A literatura sobre poluição de água subterrânea, em geral, relata que se existirem dois metros ou mais de areia ou terra entre o fundo de uma fossa ou campos de infiltração e a água subterrânea, virtualmente todas as bactérias, vírus e outros organismos fecais são removidos (USEPA, 1977; Gonda, 1985; Alhajjar *et al.*, 1988, Chidavaenzi *et al.*, 2000; Lipp *et al.*, 2001; Howard *et al.*, 2006a). Considerando uma distância segura entre a localização de uma fossa e de poços de abastecimento, os autores alertam, principalmente, para a importância da permeabilidade do solo, sendo reportados valores que variaram de seis a 22,5m (Gonda, 1985; Lipp *et al.*, 2001, Pang *et al.*, 2003). No entanto, Vaughn *et al.* (1983) criticam a adoção indiscriminada de critérios fixos, sugerindo que as distâncias devem ser estabelecidas com base nas condições hidrogeológicas locais (como profundidade do nível d'água, natureza da zona não-saturada) e na carga hidráulica aplicada na fossa. Tal recomendação é corroborada pela pesquisa desenvolvida por Yates *et al.* (1986) que, utilizando uma técnica geoestatística para calcular as distâncias entre poços de abastecimento e fontes de contaminação por vírus, chegaram a valores compreendidos entre 15 e 150m, em função do gradiente hidráulico e da condutividade hidráulica observados na área de estudo. Howard *et al.* (2006b) também relatam estudos efetuados na África do Sul, onde foram propostos procedimentos para estabelecer tais distâncias em função da avaliação de risco de contaminação, considerando a localização e tipo do aquífero, o uso proposto para a água subterrânea, a presença de fossas já existentes e a evidência de contaminação. Os autores mencionam, ainda, outro trabalho efetuado para estimar o risco de poluição, que propõe levar em conta o tempo de locomoção dos microrganismos, o balanço de massa para nitrato e, ainda, utilizar uma abordagem probabilística para avaliar se a contaminação excederá certos padrões especificados.

Impactos ambientais e na saúde humana decorrentes de fontes de nitrogênio associadas aos sistemas de esgotamento estático

A sensibilidade dos consumidores de água contendo nitrato com relação à metahemoglobinemina parece estar relacionada ao pH estomacal das crianças (igual ou maior do que 4). Nestas condições as bactérias redutoras de nitrato se desenvolvem no intestino delgado, reduzindo o nitrato a nitrito, que é absorvido pela corrente sanguínea, convertendo a hemoglobina a metahemoglobina. O pigmento alterado, não transportando com eficiência o oxigênio, provoca a asfixia (Gonda, 1985).

Tanto falhas hidráulicas quanto de tratamento podem ocorrer a partir de uma má operação de sistemas estáticos de tratamento de esgotos. As falhas hidráulicas (sobrecarga) ocorrem quando as taxas de infiltração através do biofilme são excedidas pelas taxas de aplicação do efluente da fossa, ou seja, quando o solo que circunvizinha o sistema não consegue absorver o líquido tão rapidamente quanto este é gerado, resultando em descarga de efluente na superfície do solo. Estudos têm mostrado que tal problema é relativamente comum em sistemas antigos e/ou mal operados (Geary e Whitehead, 2001; Hogue *et al.*, 2001; Lipp *et al.*, 2001; Day, 2004).

As falhas de tratamento são menos óbvias e são fortemente associadas aos processos biogeoquímicos do solo. Um nível d'água raso e/ou um subsolo saturado podem resultar em um efluente tratado inadequadamente, entrando em contato com a água subterrânea. O tempo de detenção hidráulica curto e as condições aeróbias reduzidas que ocorrem nestas circunstâncias impedem um tratamento adequado do efluente antes do contato com a água subterrânea. As duas formas de falha podem resultar em contaminação de águas superficiais e subterrâneas, conforme relato apresentado em diversos estudos efetuados e apresentados no Quadro 1.

Como observado em grande parte das pesquisas efetuadas, o nitrato tem sido reportado como o contaminante mais encontrado, em elevadas concentrações, em águas subterrâneas e associado a sistemas estáticos (Harman *et al.*, 1996; Steffy e Kihlham, 2004). No entanto, existem poucos registros de toxicidade por nitrato associados a tais sistemas. L'Hirondel e L'Hirondel (2002), *apud* Beal *et al.* (2005), efetuaram uma análise crítica da evidência de metahemoglobinemia induzida por águas de poços. Eles concluíram que existe uma baixa correlação entre altas concentrações de nitrato em águas de poços e ocorrência de metahemoglobinemia

Quadro 1 – Síntese de pesquisas que investigaram a contaminação de águas subterrâneas, por nitrato, a partir de sistemas com disposição no solo

Referência	Síntese da pesquisa	Impactos relacionados com o sistema estático de tratamento
Harman <i>et al.</i> , 1996	Cerca de 400 amostras de águas subterrâneas de um aquífero livre usadas para delinear a pluma de um efluente de um TAS de 44 anos, instalado em uma escola em Ontário, Canadá.	Os traçadores de brometo (Br^-) indicaram um tempo de detenção do efluente de uma a duas semanas no solo não saturado do TAS (1,6 m). Tempo suficiente para oxidar todo o N a NO_3^- e reduzir as concentrações efluentes de PO_4^{3-} de 9 para 1-2 mg/L. O estudo não indicou eutrofização prévia ou existente na região. Os autores concluíram que as concentrações de nitrato em toda a extensão da pluma (110 m) estavam acima dos padrões de potabilidade. Outra conclusão apontada foi a de que os sistemas sépticos constituíam a principal fonte de contaminação por nitrato de cerca de 30% dos poços privados, contaminados.
Arnade, 1999	Estudo da correlação sazonal entre concentrações de coliformes fecais (CF), N-NO_3^- e PP-O_4^{3-} medidas em poços de abastecimento e a presença de tanques sépticos, em Palm Beach, Flórida, EUA.	Os resultados indicaram que as concentrações de CF, NO_3^- e PO_4^{3-} foram maiores na estação chuvosa, devido provavelmente, à posição do nível d'água (raso), ao tipo de solo e à ausência de manutenção dos TS. Os autores atribuíram este comportamento também aos processos de diluição.
Dillon <i>et al.</i> , 2000	Traçadores usados em esgotos efluentes de TAS em aquífero com intrusão salina de Florida Keys, EUA. Encontrado rápido caminho horizontal e vertical da pluma.	Taxas de transporte e direção podem diferir devido a mudanças na geologia local e influência das marés. A eutrofização na área foi estudada. Contribuição parcial dos sistemas de disposição local de esgotos, mas não foram estimadas as cargas de outras áreas.
Whitehead e Geary, 2000	Estudo sobre aspectos geotécnicos de solos que recebem efluentes de sistemas estáticos na Austrália. Em nove localidades, a análise da água subterrânea de poços rasos mostrou elevados níveis de NO_3^- .	Autores concluíram haver risco potencial de contaminação quando houver 15 ou mais sistemas estáticos/ km^2 em uma região. Estudo não reportou eutrofização da área em estudo.
Varnier e Hirata, 2002	Analisada a contaminação, por nitrato, nas águas subterrâneas (aquífero livre e raso) por um TS localizado no Parque Ecológico do Tietê, São Paulo, por meio de 68 poços de monitoramento com até 5,0 m de profundidade.	O estudo indicou contaminação por nitrato proveniente do sistema de fossa séptica com valores acima do limite de 45 mg/L NO_3^- . O estudo não indicou eutrofização prévia ou existente na região. Os autores identificaram ainda que as concentrações de nitrato, assim como demais parâmetros físico-químicos variavam, sazonal e espacialmente, em decorrência dos efeitos da rápida recarga e heterogeneidade do aquífero.
Day, 2004	Analisados critérios para projeto e implantação (tipos de solo, material utilizado, distância de corpos d'água, etc.) e eficiência em mais de 1100 TAS, New York, EUA. Foi usado sistema de informação geográfica (SIG) como ferramenta de apoio.	Vários TAS situados em solos inadequados apresentaram problemas operacionais. Outros TAS eram antigos ou foram utilizados além de sua capacidade. Não foi verificada contaminação por P devido, principalmente, às grandes distâncias observadas das águas superficiais.

Quadro 1 – Síntese de pesquisas que investigaram a contaminação de águas subterrâneas, por nitrato, a partir de sistemas com disposição no solo (continuação)

Referência	Síntese da pesquisa	Impactos relacionados com o sistema estático de tratamento
Faye <i>et al.</i> , 2004	Comparados dados de qualidade de água de 56 poços, características dos aquíferos, tipos de solos e usos da terra na cidade de Dakar, no Senegal, para avaliar a vulnerabilidade da qualidade da água subterrânea.	A contaminação por nitrato em algumas regiões foi consequência de fontes pontuais originadas de tanques sépticos mal construídos na área. Em outras partes do aquífero, elevadas concentrações de NO ₃ ⁻ foram atribuídas à atividade agrícola.
Jin <i>et al.</i> , 2004	Fontes de NO ₃ ⁻ em aquíferos rasos em 21 áreas urbanas de Hangzhou, China foram investigadas usando técnicas químicas e isotópicas. Quatro análises mensais de Na ⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ e SO ₄ ²⁻ foram efetuadas entre novembro/2001 e fevereiro/2002.	Os estudos indicaram a presença de diferentes fontes antrópicas de contaminação por nitrato. Em áreas residenciais, a fonte predominante de nitrato foi o esgoto doméstico, mas apenas dois poços mostraram a influência de efluentes de tanques sépticos.
Carroll <i>et al.</i> , 2006	Proposição de uma abordagem integrada de risco para avaliar os perigos associados a sistemas estáticos de tratamento, em particular TS. É apresentado um estudo de caso efetuado para uma região do estado de Queensland, Austrália, que possui cerca de 15.000 TS.	Os riscos ambientais e de saúde pública identificados foram, na maioria, decorrentes da utilização de solos inapropriados, o que resultou em um aumento de falhas nos sistemas e subsequente contaminação de fontes de água.
Choi <i>et al.</i> , 2006	Coletadas amostras mensais de água subterrânea em 12 poços situados em áreas rurais da Coreia (1997 – 1999), ao longo de três anos, com o objetivo de examinar os efeitos de diferentes usos da terra na contaminação por NO ₃ ⁻ , considerando a concentração deste contaminante e valores de δ ¹⁵ N.	Contaminação por nitrato observada continuará a se espalhar enquanto práticas agrícolas adotadas na região se mantiverem. Na área residencial a maior fonte de contaminação foi atribuída aos efluentes de tanques sépticos ou vazamentos em redes de coleta, mas estudos complementares seriam necessários para confirmação.
Cole <i>et al.</i> , 2006	Estudo mediu as concentrações de N e valores de δ ¹⁵ N em águas infiltradas em três lagoas e seis estuários em Cape Cod, Massachusetts, EUA, para avaliar como eles variavam com os diferentes tipos de uso da terra.	As concentrações de nitrato e os valores de δ ¹⁵ N na água subterrânea foram muito variados e maiores em bacias mais populosas. Os maiores contribuintes de nitrogênio foram identificados como os efluentes de TS.
Al-Khashman, 2007	Estudo avaliou a qualidade físico-química da água subterrânea da região de Petra, Jordânia, durante três anos (setembro/2002 a setembro/2005). Foram analisados: condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻ e F ⁻ .	Os constituintes inorgânicos da água foram influenciados por fontes naturais e antrópicas e indicaram que algumas amostras estavam fortemente poluídas com NO ₃ ⁻ e SO ₄ ²⁻ . Possíveis fontes de poluição seriam atividades agrícolas e percolação de fossas e TS.
Corniglio <i>et al.</i> , 2007	Estudo avaliou o risco de contaminação por NO ₃ ⁻ em um aquífero no sul da Itália, quanto ao uso da terra, desenvolvimento urbano e características do aquífero. Foi utilizado o SIG para traçar mapas de risco de contaminação por nitrato e efetuada correlação com a concentração de nitrato do aquífero.	Os resultados mostraram que as fontes de nitrato na água subterrânea não eram apenas de práticas agrícolas e criação intensiva de gado, mas também de vazamentos de redes coletoras de esgoto e de efluentes de tanques sépticos antigos.
Jalali, 2007	Foram coletadas 69 amostras para identificar processos de contaminação de água subterrânea em uma região ocidental do Irã, que possui características hidrogeoquímicas complexas. A água subterrânea é utilizada para abastecimento e para fins domésticos, industriais e, principalmente, agrícolas.	As concentrações de nitrato de 17 amostras (26%) foram maiores que o valor das diretrizes da OMS. A água subterrânea parece ter sido poluída pela aplicação de fertilizantes, práticas de irrigação, solubilidade de minerais e contribuição de esgotos domésticos advindos de tanques sépticos.

Nota: TAS: Sistema de tanque séptico seguido de absorção no solo; TS: tanque séptico

infantil. Elevadas concentrações de nitrato em águas de poços têm sido associadas a privadas e fossas absorventes, mas existem poucos estudos correlacionando sistemas estáticos convencionais à metahe-moglobinemia. Os autores recomendam que, mesmo que existam evidências de associação de elevadas concentrações de nitrato em águas subterrâneas e efluentes de sistemas estáticos, a suposição de que tais concentrações causam problemas para a saúde humana não pode ser automática e existem poucas evidências científicas para dar suporte a tais conclusões.

Impactos na saúde humana decorrentes de organismos patogênicos associados aos sistemas de esgotamento estático

O Quadro 2 apresenta resultados de diversos estudos sobre a contaminação microbiológica decorrente de sistemas de esgotamento estático, principalmente em águas subterrâneas, e seu impacto na saúde humana. Grande parte dos estudos utiliza indicadores de contaminação fecal, como os coliformes termotolerantes (CF) e estreptococos fecais (EF), visando com isso inferir sobre a eventual presença de vírus e bactérias patogênicas. As doenças mais comumente relatadas nos trabalhos consultados foram as diarreias viral e bacteriana, enteroviroses infecciosas, febre tifoide e outras de características similares.

A preocupação com a contaminação microbiológica por sistemas estáticos de tratamento, principalmente em águas subterrâneas, tem crescido muito nos últimos anos. No entanto, van Cuyk e Siegrist (2001) sugerem que esta preocupação está baseada mais no aumento do número de sistemas estáticos utilizados em todo o mundo do que nos problemas efetivamente observados. Nos locais onde foram verificadas associações entre doenças de veiculação hídrica e sistemas estáticos de tratamento, estes eram simples e mal operados (Lipp *et al.*, 2001; Bopp *et al.*, 2003; Meeroff *et al.*, 2008). Os impactos cumulativos do aporte de organismos patogênicos sobre a saúde humana não têm sido adequadamente investigados e/ou reportados devido a dificuldades econômicas e logísticas para este tipo de pesquisa, mas modelos mais complexos de qualidade das águas, alguns baseados em análise de risco, têm se mostrado ferramentas úteis e utilizados por vários pesquisadores (Tong e Chen, 2002; Carroll *et al.*, 2006; Corniello *et al.*, 2007).

DENSIDADE DE SISTEMAS ESTÁTICOS

Um fator essencial para um gerenciamento sustentável de sistemas estáticos de tratamento de esgotos é a existência de área suficiente para a assimilação e redução da poluição. À medida que cresce o número de unidades descentralizadas de esgotamento por fossa/infiltração, maior é o potencial para impactos adversos na água subterrânea, tais como contaminação cumulativa da qualidade da água (nitrato) e elevação do nível d'água dos aquíferos (Siegrist *et al.*, 2000). A distância entre unidades deve ser suficiente para permitir a assimilação dos efluentes pelo solo. No entanto, a determinação específica das distâncias mínimas e da densidade máxima é naturalmente dificultada pelas diferenças existentes em cada local, em função das características do solo e do esgoto aplicado. As pesquisas efetuadas sugerem o já esperado fato de que uma maior densidade de sistemas estáticos acarreta um aumento na carga poluidora de nitratos e organismos patogênicos recebida pela água subterrânea (Tuthill *et al.*, 1998; Geary e Whitehead, 2001; Lipp *et al.*, 2001; Borchardt *et al.*, 2003; Pradhan *et al.*, 2004). Assim, a determinação do valor da densidade de sistemas estáticos que seja sustentável é um fator crítico, apesar da dificuldade inerente a seu estabelecimento.

A despeito das dificuldades comentadas, algumas tentativas de quantificação da densidade máxima recomendada têm sido efetuadas por diversos pesquisadores (Yates *et al.*, 1986; Geary e Gardner, 1998; Jelliffe, 1999; Geary e Whitehead, 2001). Uma densidade maior que 15 sistemas/km² foi reportada como insustentável, baseada em um estudo efetuado nos Estados Unidos pela EPA em 1977 e citada por Yates (1985). Neste tipo de estudo, foram consideradas as taxas de percolação e a capacidade de absorção do solo. No entanto, Whitehead *et al.* (2001) comentam que tal suposição foi baseada em um número insuficiente de dados. Jelliffe (1999) sugere que as distâncias recomendadas devem variar com o tipo de solo e com os padrões de qualidade da água subterrânea, e propõe um modelo biofísico para calcular uma área suficiente para a assimilação dos nutrientes. Uma síntese de alguns tamanhos mínimos e densidades recomendadas na literatura para os sistemas centralizados de tratamento foi elaborada por Beal *et al.* (2005b) e é reproduzida no Quadro 3.

A Norma Brasileira (NBR 13969/97) estabelece que o número máximo de sistemas compostos por tanque séptico e vala de infiltração deve ser limitada a 10 unidades/ha (= 1000 unidades/km²)

Quadro 2 – Síntese de pesquisas que investigaram contaminação de águas subterrâneas, por organismos patogênicos, a partir de sistemas com disposição no solo

Referência	Síntese da pesquisa	Impactos relacionados com o sistema estático de tratamento
Alhajjar <i>et al.</i> , 1988	Avaliado o potencial de contaminação de amostras de água subterrânea por efluentes de 17 TS. Os parâmetros biológicos (CT, CF e EF) foram no centro-sul de Wisconsin, EUA. Foram utilizados indicadores químicos (Cl, condutividade elétrica) e biológicos (coliformes totais – CT, coliformes termotolerantes – CF e estreptococos fecais – EF), além de poliovírus introduzidos em um dos sistemas.	Os parâmetros biológicos (CT, CF e EF) foram detectados nas águas subterrâneas, mesmo com o bom funcionamento do tanque séptico. Resultados mostram que CT, CF e EF não são bons indicadores da presença dos vírus.
DeBorde <i>et al.</i> , 1998	Estudada a presença de vírus em águas subterrâneas devido a um TAS em Montana, EUA, utilizando Br ⁻ e colifagos como traçadores. Somente baixos níveis de colifagos foram detectados.	Vírus encontrados em dois dos oito efluentes de tanques sépticos estudados. Critérios de desinfecção natural de águas subterrâneas não seriam atingidos neste aquífero usando a distância de 30,5 m do TAS, constante na legislação do estado.
Tuthill <i>et al.</i> , 1998	Pesquisa em Maryland, EUA. 832 poços de abastecimento foram analisados quanto à presença de CF e nitrato, entre 1983 e 1991.	Contaminação fecal e por nitrato foi maior quando a distância entre o poço e o sistema de tratamento e entre o fundo da fossa e o nível da água subterrânea diminuía.
Harrison <i>et al.</i> , 2000	Avaliada a qualidade da água entre 0,3 e 0,9 m de profundidade, abaixo de três TS instalados em solos de alta permeabilidade em Pierce County, Washington -EUA, onde existe grande densidade de sistemas. Foram analisados os parâmetros: CF, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ e NTK (N orgânico + N amoniacal).	Nestas profundidades, os efluentes dos tanques sépticos não atendem aos padrões de qualidade de água do estado, considerando todos os parâmetros. O autor sugere a implantação de filtros de areia como pós-tratamento para amenizar o problema.
Lipp <i>et al.</i> , 2001	Análise do impacto de grande densidade de sistemas estáticos na contaminação fecal de águas na costa da Flórida, EUA. Análises multivariadas para verificação dos riscos indicaram a relação entre alta densidade de sistemas com a poluição.	Enterovirose infecciosa detectada ao longo da baía em estudo parecem estar associadas à presença de sistemas estáticos de tratamento, mas não foi possível uma conclusão definitiva.
Nicosia <i>et al.</i> , 2001	Dois estudos experimentais em Tampa, Flórida, EUA, avaliaram a remoção de bacteriófagos após 0,6 m de distância das células de infiltração (padrões do Estado para efluentes de sistemas estáticos) de elevadas e pequenas doses de efluentes de um TS.	Resultados indicaram que os padrões da Flórida, de 0,6 m entre o fundo de um campo de infiltração e o nível d'água, podem não permitir suficiente remoção dos vírus, principalmente no período chuvoso.
Bopp <i>et al.</i> , 2003	Estudo em New York, EUA. Investigada a maior ocorrência de <i>E. coli</i> O157:H7 e <i>C. jejuni</i> , associada à veiculação hídrica, já reportada no País. 775 pacientes foram internados com diarreia. Os espécimes isolados sugeriram infecção por contaminação da água.	Abastecimento por água subterrânea perto de TAS. Testes com infiltração de corantes usados apontaram possível conexão com um poço. A causa direta pelo TAS não foi completamente determinada, mas provável.
Borchardt <i>et al.</i> , 2003	Estudo observacional em Wisconsin, EUA. Analisada a associação entre densidade de tanques sépticos e diarreia viral e bacteriana em crianças da região.	Autores sugeriram que alguns casos de diarreias de etiologia desconhecida estavam associadas à ingestão de água de poços com contaminação fecal. Mas várias limitações metodológicas do estudo são apontadas pelos autores.

Quadro 2 – Síntese de pesquisas que investigaram contaminação de águas subterrâneas, por organismos patogênicos, a partir de sistemas com disposição no solo (continuação)

Referência	Síntese da pesquisa	Impactos relacionados com o sistema estático de tratamento
Kelsey et al, 2004	Estudo em Carolina do Sul, EUA, num período de 10 anos. Análises de regressão indicaram correlação entre proximidade de áreas com TAS e ram que a poluição fecal não tinha origem humana. Foi utilizado SIG para avaliar na associação entre uso da terra e presença de CF no estuário.	Apesar da correlação observada, pesquisas indicam que a poluição fecal não tinha origem humana. Parece ter havido coincidência entre proximidade dos TAS e contaminação.
Carroll e Goonetilleke, 2005	Análise de componentes principais foi usada para avaliar dados químicos e microbiológicos de águas subterrâneas em região de alta densidade de tanques sépticos (290 sistemas/km ²) no estado de Queensland, Austrália. O desempenho dos TS era muito variável, com alguns sistemas superando 30 anos de idade e com baixos níveis de manutenção.	Alta densidade de sistemas pode impactar significativamente águas subterrâneas, considerando os níveis de coliformes termotolerantes e nutrientes (N e P) medidos. Papel importante é desempenhado pelas chuvas, que carregam os poluentes durante a recarga do aquífero. Autores alertam para a necessidade de tratamento da água antes do consumo.
Ejechi et al., 2007	Foram analisados parâmetros físico-químicos (pH, sólidos dissolvidos, OD, condutividade elétrica e temperatura) e biológicos (CT e CF) de 22 poços rasos em uma região produtora de petróleo da Nigéria para investigar possíveis causas de doenças de veiculação hídrica, como diarreia e febre tifóide.	Foram detectados CF em 4 e 14 poços rasos nas estações seca e chuvosa, respectivamente. O aumento significativo de CF durante as chuvas ocorreu em poços rasos construídos próximos a tanques sépticos e que não seguiam as normas de segurança recomendadas.
Murray et al., 2007	Estudo utilizou traçador em efluentes de TS para acompanhar o fluxo das águas subterrâneas em um aquífero cárstico do Texas, EUA. Amostras foram coletadas em 11 poços da região. Na área estudada existem 8,7 tanques sépticos/ha, o que excede as recomendações da USEPA de 0,5 sistemas/ha.	Maior intensidade dos traçadores detectada a partir da área de localização dos tanques sépticos. A estrutura geológica e as características de recarga do aquífero influenciam mais a direção do fluxo do que o gradiente hidráulico. Nenhuma associação com problemas de saúde.
Katz e Griffin, 2008	Nutrientes, isótopos estáveis, 64 compostos orgânicos de esgotos, 16 compostos farmacêuticos e indicadores microbiológicos foram usados para avaliar o impacto de 9,5 milhões de L/d de efluentes domésticos em uma área de 960 km ² , na Flórida, EUA.	Água subterrânea com grande vulnerabilidade à contaminação superficial e subsuperficial por múltiplas fontes, incluindo TS, disposição no solo e fertilizantes. Nenhuma associação com problemas de saúde da população.
Meeroff et al., 2008	Dois sistemas residenciais vizinhos na costa da Flórida, EUA, uma conectada a um sistema centralizado de tratamento de esgoto e outra que utilizava sistema estático, foram comparadas para quantificar a poluição originada de TS. No período de 2004-2007, 66 amostras foram coletadas e analisadas considerando os parâmetros: coliformes totais, <i>E. coli</i> , <i>Enterococcus</i> , pH, temperatura, nível de salinidade, OD, NO ₃ ⁻ e DQO.	Período chuvoso: qualidade da água foi impactada pelos efluentes dos TS, quanto aos indicadores microbiológicos e nitrato. Período seco: níveis equivalentes de nutrientes e indicadores patogênicos de nutrientes e indicadores patogênicos. A área conectada ao sistema centralizado mostrou quase o mesmo nível de poluição nos períodos seco e chuvoso.

Nota: TAS: Sistema de tanque séptico seguido de absorção no solo; TS: tanque séptico

Quadro 3 – Síntese de pesquisas que reportam área média por sistema e densidade mínima sustentável para sistemas centralizados

Área média abrangida por cada sistema (m ²)	Densidade de Sistemas (por km ²)	Comentários	Referência
65.000	15	Densidade de tanques sépticos acima deste valor representa região com potencial problema de contaminação de águas subterrâneas	USEPA, 1977; Geary e Whitehead, 2001
2.000 – 4.000	250 - 500	Modelamento simplificado mostrou aumento da concentração de N abaixo de TAS, quando a densidade média aumentava.	Perkins, 1984, <i>apud</i> Beal <i>et al.</i> , 2005b.
1.000 – 12.000	85 – 1.000	Faixa de densidades onde a contaminação da água subterrânea foi reportada	Yates <i>et al.</i> , 1986
10.000	100	Exemplo de densidade para sistemas não centralizados baseada na capacidade assimilativa de poluentes mínima (N, P, organismos patogênicos)	Jelliffe, 1999
2.000 – 4.000	250 - 500	Baseado nas cargas de aplicação média de nutrientes e hidráulica dos sistemas centralizados e nas distâncias mínimas para remoção de patogênicos.	Geary e Gardner, 1998
50.000 – 100.000	10 - 20	Recomendado para áreas ambientalmente sensíveis em termos de N e P.	Gerritse, 2002, <i>apud</i> Beal <i>et al.</i> , 2005b

Fonte: Beal *et al.*, 2005b

Área média (m²/unidade) = 1.000.000 (m²/km²) / densidade (unidades/km²)

para evitar a contaminação do aquífero por nitratos, vírus e outros microrganismos patogênicos, valor este superior aos listados no Quadro 3. Os autores do presente trabalho não tiveram acesso aos documentos e metodologia que conduziram a tal valor. No entanto, como em todas as normas brasileiras, os valores recomendados refletem um consenso obtido pelos participantes do grupo de trabalho, sendo posteriormente disponibilizados para comentários, durante o período da versão do projeto de Norma. A Norma estabelece ainda os fatores determinantes para o projeto e a utilização do sistema, que abrangem as características do solo, a distância mínima entre o nível de fundo da unidade de infiltração e a superfície do aquífero, a manutenção da condição aeróbia na vala, a distância mínima do poço de captação de água, o processo construtivo, a alternância do uso e o índice pluviométrico.

CONCLUSÕES

Algumas conexões claras entre sistemas estáticos de tratamento e contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nutrientes foram efetuadas

(Quadro 1). Todos estes estudos encontraram alguma ligação causal entre poluição de águas subterrâneas e sistemas estáticos de tratamento de esgotos, principalmente com a infiltração de efluentes de tanques sépticos. No entanto, o grau e o impacto de tais contaminações são ainda pouco esclarecidos. A extensão da contaminação é, também, extremamente variável e pode ser função de vários fatores, tais como: tipo de solo e profundidade da camada não saturada pelo esgoto, qualidade da água subterrânea, número de sistemas de tratamento e disposição na área e distância destes à água subterrânea, velocidade de escoamento no subsolo, fatores climáticos e sazonais, assim como idade e qualidade do projeto dos sistemas de tratamento e disposição.

A preocupação com a contaminação microbológica por sistemas estáticos de tratamento, principalmente em águas subterrâneas, é ainda maior e tem crescido muito nos últimos anos. No entanto, esta preocupação parece ser baseada mais no aumento do número de sistemas estáticos utilizados em todo o mundo do que nos problemas efetivamente observados. A grande diversidade nos padrões de projeto e construção, a dificuldade de mo-

nitoramento dos sistemas e as incidências isoladas de contaminação de água subterrânea contribuem para aumentar a preocupação com a sua utilização. No entanto, nos locais onde foram verificadas associações entre doenças de veiculação hídrica e sistemas estáticos de tratamento, estes eram simples e mal operados (Quadro 2). Os impactos cumulativos ao longo do tempo e a efetiva influência dos organismos realmente patogênicos não têm sido adequadamente investigados e/ou reportados devido a dificuldades econômicas e logísticas nas determinações de campo e nas técnicas laboratoriais de enumeração das espécies de organismos patogênicos, principalmente em países em desenvolvimento. No entanto, observa-se que modelos de escoamento e de qualidade das águas subterrâneas têm se mostrado ferramentas úteis e vêm sendo utilizados cada vez mais por diversos pesquisadores em todo o mundo.

Diversos autores ressaltam, ainda, que a contaminação pode ocorrer tanto em locais que utilizam sistemas centralizados quanto descentralizados de tratamento de esgotos. Grande parte dos países desenvolvidos que utilizam, predominantemente, os sistemas dinâmicos, também enfrentam tais problemas, uma vez que estes também podem estar associados a problemas ambientais e de saúde pública. Algumas situações usualmente relatadas incluem (a) sistemas de coleta incompletos ou inadequados, (b) linhas de interceptação insuficientes e sem interligação com a estação de tratamento de esgotos, (c) tratamento de esgotos incompleto ou ineficiente, (d) tratamento de esgotos insuficiente em termos das demandas do corpo d'água receptor em função de sua classe de enquadramento, (e) tratamento de esgotos sem desinfecção e (e) gerenciamento inadequado do lodo produzido.

AGRADECIMENTOS

SEPLAG – Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão de Minas Gerais

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

- ALHAJJAR, B.J.; STRAMER, S.L.; CLIVER, D.O.; HARKIN, J.M. Transport modelling of biological tracers from septic systems. *Water Research*, 22, 907-915, 1988.
- AL-KHASHMAN, O. A. Study of water quality of springs in Petra region, Jordan: A three-year follow-up. *Water Resource Management*, v. 21, pp. 1145–1163, 2007.
- ARNADE L. J. Seasonal Correlation of Well Contamination and Septic Tank Distance. *Ground Water*, v. 37, n. 6, pp. 920-923, 1999.
- ARGOSS. Guidelines for assessing the risk to groundwater from on-site sanitation. British Geological Survey Commissioned Report CR/01/42. British Geological Survey, Wallingford, UK, 2001.
- BEAL, C. D.; GARDNER, E. A.; MENZIES, N. W. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank–soil absorption systems. *Australian Journal of Soil Research*, 43 (7), 781–802, 2005.
- BEAL, C. D.; GARDNER, E. A.; MENZIES, N. W. Predicting the failure of septic tank - soil absorption systems: A step closer to managing water quality in non-sewered catchments. In 'International River Symposium 2005'. Brisbane, Aust. 6 - 9 September 2005b.
- BOPP, D.J.; SAUDERS, B.D.; WARING, A.L.; ACKELSBERG, J.; DUMAS, N. Detection, isolation and molecular subtyping of *Escherichia coli* O157:H7 and *Campylobacter jejuni* associated with a large waterborne outbreak. *Journal of Clinical Microbiology*, 41, 174-180, 2003.
- BORCHARDT, M.A.; CHYOU, P.; DE VRIES, E.O.; BELONGIA, E.A. Septic system density and infectious diarrhea in a defined population of children. *Environmental Health Perspectives*, 111, 742-747, 2003.
- CARROLL, S.; GOONETILLEKE, A. Assessment of high density of onsite wastewater treatment systems on a shallow groundwater coastal aquifer using PCA. *Environmetrics*, v.16, Issue 3, Pages 257 – 274, 2005.
- CARROLL, S.; GOONETILLEKE, A.; THOMAS, E.; HARGREAVES, M.; FROST, R.; DAWES, L. Environmental Assessment: Integrated Risk Framework for On-site Wastewater Treatment Systems. *Environmental Management*, V. 38, N. 2, pp. 286–303, 2006.
- CHIDAVAZENI, M.; BRADLEY, M.; JERE, M.; NHANDARA, C. Pit latrine effluent infiltration into groundwater: the Epworth case study. In: CHORUS, I., RINGELBAND, U., SCHLAG, G., SCHMOLL, O. (eds) (2000). *Water, Sanitation and Health*. IWA Publishing, World Health Organization Series, pp. 171-177, 2000.
- CHOI, W. J.; HAN, G. H.; LEE, S. M.; LEE, G. T.; YOON, K. S.; CHOI, S. M.; RO, H. M. Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}N$ in unconfined groundwater in rural areas of Korea. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 120, Issues 2-4, pp. 259-268, 2006.

- COLE, M. L.; KROEGER, K. D.; McCLELLAND, J. W.; VALIELA, I. Effects of watershed land use on nitrogen concentrations and d15 nitrogen in groundwater. *Bio-geochemistry*, v. 77, n. 2, pp. 199–215, 2006.
- CORNIELLO, A.; DUCCI, D.; RUGGIERI, G. Areal Identification of Groundwater Nitrate Contamination Sources in Periurban Areas. *Journal Soils Sediments*, v. 7, n.3, pp. 159–166, 2007.
- COTTON, A.; SAYWELL, D. On-plot sanitation in low-income urban communities: guidelines for selection, WEDC, Loughborough University, UK, 1998.
- DAY, L. Septic systems as potential pollution sources in the Cannonsville Reservoir watershed, New York. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1989-1996, 2004.
- DeBORDE, D.C.; WOESSNER, W.W.; LAUERMAN, B.; BALL, P.N. Virus occurrence and transport in a school septic system and unconfined aquifer. *Ground Water*, 36 (5), 825-834, 1998.
- DILLON, K.S.; CORBETT, D.R.; CHANTON J.P.; BURNETT, W.C.; KUMP, L. Bimodal transport of a waste water plume injected into saline ground water of the Florida Keys. *Ground Water*, 38 (4), 624-634, 2000.
- EJECHI, B. O.; OLOBANIYI, S. B.; OGBAN, F. E.; UGBE, F. C. Physical and Sanitary Quality of Hand-Dug Well Water from Oil-Producing Area of Nigeria. *Environmental Monitoring Assessment*. v. 128, n. 1-3, pp. 495–501, 2007.
- EPA (Environmental Protection Agency). The report to Congress – Waste disposal practices and their effects on ground water. U. S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 1977.
- FAYE, S. C.; FAYE, S.; WOHLNICH, S.; GAYE, C. B. An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). *Environmental Geology*, v. 45, n. 3, pp. 312–322, 2004.
- FRANCEYS, R.; PICKFORD, J.; REED, R. A guide to the development of on-site sanitation. WHO, Geneva, 1992.
- GEARY, P.M.; GARDNER, E.A. Sustainable on-site treatment systems. In 'On-site wastewater treatment. Proceedings of the 8th National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems'. Orlando, FL. (ASAE: St Joseph, MI), 1998.
- GEARY, P.M.; WHITEHEAD, J.H. Groundwater contamination from on-site domestic wastewater management systems in a coastal catchment. In On-Site Wastewater Treatment, Proc. Ninth Natl. Symp. on Individual and Small Community Sewage Systems, Fort Worth, Texas, USA, pp. 479-487, 2001.
- GERRITSE, R.G. Movement of nutrients from onsite wastewater systems in soils. Geoproc Pty Ltd prepared for Department of Health, Western Australia, May 28, 2002, *apud* BEAL, C. D.; GARDNER, E. A.; MENZIES, N. W. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank–soil absorption systems. *Australian Journal of Soil Research*, 43 (7), 781–802, 2005.
- GONDA, J. *Contaminação de solos e de águas do lençol freático por fossas absorventes*. 1985. 87 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1985.
- HARMAN, J.; ROBERTSON, W.D.; CHERRY, J.A.; ZANINI, L. Impacts on a sand aquifer from an old septic system: nitrate and phosphate. *Ground Water*, 34, 1105-1114, 1996.
- HARRISON, R. B.; TURNER, N. S.; HOYLE, J. A.; KREJSL, J.; TONE, D. D.; HENRY, C. L.; ISAKSEN, P. J.; XUE, D. Treatment of Septic Effluent for Fecal Coliform and Nitrogen in Coarse-textured Soils: Use of Soil-only and Sand Filter Systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 124, n. 1-2, 2000.
- HELLER, L.; CHERNICHARO, C. A. L. Tratamento e disposição final dos esgotos no meio rural. In: Seminário Internacional Tendências no Tratamento Simplificado de Águas Residuárias Domésticas e Industriais, 1996, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1996. p. 168 – 221.
- HOGYE, S.; RUBIN, A. R.; HUDSON, J. Development of EPA guidelines for management of onsite/decentralized wastewater systems. In On-Site Waste water Treatment, Proc. Ninth Natl. Symp. On Individual and Small Community Sewage Systems, Fort Worth, Texas, USA, pp. 470-478, 2001.
- HOWARD, G.; ABBT-BRAUN, G.; FRIMMEL, F.; MCCHESENEY, D.; REED, B. WHO: Protecting Ground Water for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. Nonserial Publication. Cap. 9. ISBN, 92 4 154668 9. IWA Publishing, 2006b.
- HOWARD, G.; REED, B.; MCCHESENEY, D. WHO: Protecting Ground Water for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. Nonserial Publication, Cap. 21. ISBN, 92 4 154668 9. IWA Publishing, 2006a.
- JALALI, M. Hydrochemical Identification of Groundwater Resources and Their Changes under the Impacts of Human Activity in the Chah Basin in Western Iran. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 130, n. 1-3, pp. 347–364, 2007.
- JELLIFFE, P.A. Developments in determining critical lot density for the protection of water quality. In 'Proceedings of On-site '99 Conference: Making on-site wastewater systems work'. University of New England, Armidale, NSW. (Ed. A Patterson Robert) pp. 191-198, 1999.
- JIN, Z.; CHEN, Y.; WANG, F.; OGURA, N. Detection of nitrate sources in urban groundwater by isotopic and chemi-

- cal indicators, Hangzhou City, China. *Environmental Geology*, v. 45, n. 7, pp. 1017–1024, 2004.
- KATZ, B. G.; GRIFFIN, D. W. Using chemical and microbiological indicators to track the impacts from the land application of treated municipal wastewater and other sources on groundwater quality in a karstic springs basin. *Environmental Geology*, 2008.
- KELSEY, H.; PORTER, D. E.; SCOTT, G.; NEET, M.; WHITE, D. (2004). Using geographic information systems and regression analysis to evaluate relationships between land use and fecal coliform bacterial pollution. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 298, n. 2, pp. 197-209, 2004.
- LIPP, E.K.; FARRAH, S.; ROSE, J.B. Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogens in a coastal community. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (4), 286-293, 2001.
- L'HIRONDEL, J.; L'HIRONDEL J.L. 'Nitrate and man. Toxic, Harmless or Beneficial?.' (CABI Publishing: Wallingford, UK), 2002, *apud* BEAL, C. D.; GARDNER, E. A.; MENZIES, N. W. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank–soil absorption systems. *Australian Journal of Soil Research*, 43 (7), 781–802, 2005.
- MEEROFF, D. E.; BLOETSCHER, F.; BOCCA, T.; MORIN, F. Evaluation of Water Quality Impacts of On-site Treatment and Disposal Systems on Urban Coastal Waters. *Water Air Soil Pollution*, DOI 10.1007/s11270-008-9630-2, 2008.
- MURRAY, K. E.; STRAUD, D. R.; HAMMOND, W. W. Characterizing groundwater flow in a faulted karst system using optical brighteners from septic systems as tracers. *Environmental Geology*, v. 53, pp. 769–776, 2007.
- NICOSIA, L. A., J. B. ROSE, AND M. T. STEWART. A field study of virus removal in septic tank drain fields. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, n.6, pp. 1933–1939, 2001.
- PANG, L.; CLOSE, M.; GOLTZ, M.; SIMON, L.; DAVIES, H., HALL, C.; STANTON, G. Estimation of septic tank setback distances based on transport of *E. coli* and F-RNA phages. *Environment International*, 29, 907–921, 2003.
- PERKINS, R.J. Septic tanks, lot size and pollution of water table aquifers. *Journal of Environmental Health*, 46, 298-304, 1984, *apud* BEAL, C. D.; GARDNER, E. A.; MENZIES, N. W. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank–soil absorption systems. *Australian Journal of Soil Research*, 43 (7), 781–802, 2005.
- PRADHAN, S.; HOOVER, M. T.; AUSTIN, R.; DEVINE, H. A. Potential nutrient loadings from on-site systems to watersheds. In *On-Site Wastewater Treatment X*, Conference Proceedings, Sacramento, California USA, pp. 441-450, 2004.
- SIEGRIST, R.; TYLER, E. J.; JENSSEN, P. D. Design and performance of onsite wastewater soil absorption systems. In 'National Research Needs Conference Proceedings: Risk Based Decision Making for On-site Wastewater Treatment'. EPRI Palo Alto, CA, U.S. Environmental Protection Agency and National Decentralized Water Resources Capacity Development Project, 2001, 1101446, p. 48, 2000.
- STEFFY, L.Y.; KILHAM, S. Elevated $\delta^{15}\text{N}$ in stream biota in areas with septic tank systems in an urban watershed. *Ecological Applications*, v.14, n. 3, 637-641, 2004.
- TONG, S.T.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, 66 (4), 377-393, 2002.
- TUTHILL, A.; MEIKLE, D.; ALAVANJA, M. Coliform bacteria and nitrate contamination of wells in major soils of Frederick, Maryland. *Journal of Environmental Health*, 60 (8), 16-20, 1998.
- USEPA. Waste disposal practices and their effects on ground water. Office of Water Supply and Office of Solid Waste Management Programs, U.S. Environmental Protection Agency EPA – 570/9-77-001, 1977.
- VAN CUYK, S.; SIEGRIST, R. L. Pathogen fate in wastewater soil absorption systems as affected by effluent quality and soil clogging genesis. In *On-Site Wastewater Treatment: Proc. 9th Nat. Symp. Individual and Small Community Sewage Systems*, Fort Worth, Texas, USA, pp. 125-136, 2001.
- VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, n. 16, 2002.
- VAUGHN, J.M.; LANDRY, E.F.; MCHARRELL, T.Z.. Entrainment of viruses from septic tank leach fields through a shallow, sandy soil aquifer. *Applied and Environmental Microbiolog*, v. 45, n.5, 1474-1480 y, 1983.
- WHITEHEAD, J.H.; GEARY, P.M. Geotechnical aspects of domestic on-site effluent management systems. *Australian Journal of Earth Sciences*, 47 (), 75-82, 2000.
- WHITEHEAD, J.H.; GEARY, P.M.; SAUNDERS, M. Towards a better understanding of sustainable lot density–evidence from five Australian case studies. In 'On-site '01: Proceedings of On-site '01 Conference'. University of New England, Armidale, NSW, pp. 383-390, 2001.
- WHO. Guide to on-site sanitation. Part 1: Foundations of sanitary practice. World Health Organization, 1992.
- WHO/UNICEF. Water for life: Making it happen. World Health Organization, Geneva, and the United Nations Childrens Fund, New York, Joint Monitoring Programme

for Water Supply and Sanitation, 2005. ISBN 92 4 156293 5

YATES, M. V. Septic Tank Density and Groundwater Contamination. *Groundwater*, 23, 586-591, 1985.

YATES, M. V.; YATES, S. R.; WARRICK, A. W.; GERBA, C. P. Use of Geostatistics to Predict Virus Decay Rates for Determination of Septic Tank Setback Distances. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 52, No. 3, p. 479-483, 1986.

Potential Impacts of On-Site Sewerage Systems on Groundwater - Review of Literature

ABSTRACT

This review of literature compiles several studies investigating the potential impacts of on-site sewerage systems on groundwater contamination, mainly by nitrates and pathogens. Some clear connections have been reported in several studies, but the degree and impact of such contamination are poorly understood. The extent of contamination is extremely variable and may be a function of soil conditions, type of treatment system, wastewater loading rates, aquifer characteristics and water level. Consequently, the design, construction and proper maintenance of these systems are crucial to a successful and sustainable operation. Evidence of aquifer contamination seem to be based more on the increasing number of on-site systems worldwide than on the problems actually observed that are directly associated with this type of technology.

Key-words: *On-site sewage systems, groundwater, contamination, pathogenic organisms, nitrate.*