

## FLÚOR EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: Um Problema Social

*Mariana Ribeiro Santiago<sup>1</sup> & José Luiz Silvério da Silva<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- O artigo discute aspectos conceituais e metodológicos do sistema de gestão das águas subterrâneas, relacionado às anomalias de concentração do fluoreto em águas destinadas ao abastecimento humano. Estas anomalias de concentração de fluoreto, ainda pouco conhecidas, vem acarretando sérios problemas de saúde pública e desperdício de finanças na busca de alternativas para o abastecimento das comunidades, sobretudo rurais. Cenário este, já identificado por pesquisadores em diversos Estados brasileiros (RS, SC, PR, SP, MG, MT, GO, TO, MS, RJ). Sendo assim, neste mesmo estudo também será realizada uma avaliação geral sobre o conhecimento produzido, bem como a construção do cenário atual dos Estados brasileiros que sofrem com a problemática de anomalias de fluoreto em águas de uso para abastecimento humano, onde apresenta-se uma avaliação crítica às legislações vigentes referentes aos parâmetros de potabilidade e parâmetros para enquadramento de recursos hídricos subterrâneos. Como contribuição, elaborou-se uma cadeia de causa e efeitos da fluorose, que vem se tornando endêmica nos locais onde as águas subterrâneas apresentam alto teor de fluoreto nas fontes naturais de água.

**ABSTRACT** --- The article discusses aspects conceptual and methodological of the management of groundwater, anomalies related to the fluoride concentration in water destined for human supply. These anomalies in fluoride concentration, yet little known, is causing serious health problems and waste of public finances in the search for alternatives to supply the communities, especially rural ones. This scenario, already identified by researchers in many brazilian states (RS, SC, PR, SP, MG, MT, GO, TO, MS, RJ). So, in this study will also be held a general assessment on the knowledge produced, and the construction of the current scenario of the Brazilian states that suffer from the problem of anomalies of fluoride in water supplies for human use, which presents a critical evaluation of existing legislation relating to the parameters of potability of guidelines and parameters for groundwater resources. As input, it produced a chain of cause and effects of fluorosis, which has become endemic in areas where the groundwater have high levels of fluoride in natural sources of water.

**Palavras-chave:** Gestão das águas subterrânea, Anomalia de concentração de fluoreto, Abastecimento humano.

---

<sup>1</sup> Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CT, Av. Roraima n°.: 1000, 97105-900 Santa Maria. E-mail: [marianaengamb@gmail.com](mailto:marianaengamb@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Associado da UFSM, CCNE, Av. Roraima n°.: 1000, 97105-900 Santa Maria. E-mail: [silveriouflsm@gmail.com](mailto:silveriouflsm@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de um quarto dos países do mundo enfrentam hoje problemas de abastecimento de água (CARNEIRO et al. 2008). Mesmo no Brasil, uma das maiores reservas de água doce do planeta, a escassez e inviabilidade de uso desse recurso essencial, é sentida de forma intensa, com destaque a qualidade desfavorável de alguns aquíferos tanto porosos granulares, cristalinos e/ou cársticos (SILVÉRIO da SILVA et al. 2008).

No Rio Grande do Sul, por exemplo, Machado (2008), demonstra que em algumas regiões, abastecidas pelo Sistema Aquífero Guarani/SAG, a água não é de boa qualidade, por ser salobra. Obtendo ainda, em diversas localidades, resultados que demonstram ocorrências anômalas de fluoreto acima do Valor Máximo Permissível (VMP) de 1,5 mg/L, segundo a Portaria nº518/2004, o que tem comprometido a utilização da água subterrânea. Devido a esta anomalia de concentração de fluoreto e a falta de conhecimento de qual seria sua origem, sérios problemas de saúde pública e desperdício de finanças na busca de alternativas para o abastecimento das comunidades, sobretudo rurais, são sentidos pelas populações e autoridades responsáveis pelo abastecimento nestas regiões.

Tendo em vista a preocupação com a notória contaminação do corpo hídrico de subsuperfície, seja de origem natural ou antrópica, cresce o interesse em saber qual o motivo do enriquecimento do fluoreto em águas subterrâneas, apontando assim uma infinidade de hipóteses. Estas ainda pouco organizadas, agindo sozinhas ou simultaneamente, sem, contudo confirmar a fonte ou fontes. Sendo que as mais aceitas no meio científico estão caracterizadas como de origem natural.

Considerando, a afirmativa anterior feita por Machado (2005) e que existem várias hipóteses para explicar as ocorrências anômalas de flúor em águas subterrâneas. Pode-se perceber, que para os Estados brasileiros que apresentam problemas de altas concentrações de fluoreto em águas subterrâneas, este elemento químico será relevante como parâmetro, para caracterizar a qualidade e enquadrar águas para o uso abastecimento humano.

Porém, recentemente foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução CONAMA nº 396/2008 cujo assunto trata da Classificação e Diretrizes Ambientais para enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Na mesma, não foi contemplado o elemento flúor como Valores de Referência de Qualidade – VRQ, estando também ausente da tabela de elementos advindos de contaminação natural.

Dessa forma, devido a não saber-se qual a origem e as formas de ocorrência do flúor e que ocorrências anômalas de fluoreto em águas subterrâneas são realidades de alguns Estados do país. Esta legislação pode parecer falha, mas deve-se lembrar que a mesma por ser a nível federal, ela veio para facilitar os trâmites necessários para tornar constitucional as leis estaduais específicas.

No Estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, existe uma Portaria Estadual nº10/1999 que

sugere a faixa de concentração de flúor na água para consumo humano, esteja entre 0,6 a 0,9 mg/L. Sendo esta mais restritiva do que a Legislação Federal, que estabelece como valor máximo permissível 1,5 mg/L de fluoreto.

Sendo assim, diante da problemática de aplicação dos instrumentos de gestão em relação as concentrações anômalas de fluoreto nas águas subterrâneas. O estudo objetiva demonstrar a relevância e importância do Flúor, suas causas e efeitos e por fim, de acordo com alguns pesquisadores da área, apontar no decorrer do texto os Estados brasileiros que obtém a mesma problemática, como no Estado do Paraná - PR, Rio Grande do Sul - RS, Santa Catarina - SC, São Paulo-SP, Minas Gerais - MG, Mato Grosso do Sul - MS, Mato Grosso - MT, Goiás - GO, Tocantins - TO e Rio de Janeiro - RJ.

## **2. METODOLOGIA**

Uma vez que o presente trabalho pretende realizar uma abordagem sobre aspectos conceituais e metodológicos das águas subterrâneas versus anomalia de concentração do fluoreto, a metodologia para seu desenvolvimento se pautou na revisão crítica da literatura tanto nacional como internacional.

## **3. IMPORTÂNCIA E EFEITOS DO FLÚOR NA SAÚDE HUMANA**

Nos últimos anos tem-se observado um aumento significativo da exposição da população às diversas fontes de flúor, tais como dentifrícios e água de abastecimento público, este flúor ingerido pode ter um papel fundamental na prevenção e controle das cáries dentárias em crianças e adultos. E pode também, dependendo da dose e do tempo de exposição, ocasionar intoxicação crônica.

A fluorose dentária é o efeito tóxico mais comum da intoxicação crônica pelo flúor, caracteriza-se como uma anomalia do desenvolvimento dos dentes associada a deformações do esmalte que provoca aumento de porosidade, opacidade, manchamento e erosão do esmalte. Além de causar mudanças estéticas nos dentes, com o aparecimento de manchas de cor branca, marrom e até preta em sua superfície, a perda da substância do esmalte pode gerar deformidades anatômicas nos dentes, levando, em alguns casos, à perda dos mesmos. A doença ocorre em consequência da ingestão, por períodos prolongados, de flúor em quantidade acima do limite estabelecido para a região, durante a fase de vida em que o esmalte está em formação, ou seja, do nascimento da criança até a idade dos quatro a cinco anos. Essa ingestão de fluoretos em excesso pode causar uma lesão de hipomineralização, subsuperficial profunda até a superfície do esmalte externo, que, em casos mais severos, se rompe logo após a erupção (Who, 1984 apud Fejerskov et al., 1991).

Quanto mais acentuado for o grau de fluorose, mais opaco e até amarelo-castanho ficará o esmalte, conforme demonstrado na figura 1, onde caracteriza uma pessoa vítima de fluorose dentária na localidade de Mocambo, município de São Francisco, abastecido pelo Aquífero Bambuí.



Figura 1. Fluorose dentária em nível generalizado-Mocambo/MG

Esta doença tem sido identificada em vários países, como no Leste da África (NANYARO et al., 1984; GACIRI e DAVIES, 1993; GIZAW, 1996); Turquia (ORUC, 2003); no Sudeste da Coréia (KIM e JEONG, 2005), Iran na Província de Azerbaijão com concentrações de até 5,96 mg/L de fluoreto associados a rochas vulcânicas (MOGHADDAM; FIJANI, 2008), em Israel, com valores de concentrações de fluoreto de 0,5 a 3 mg/L (KAFRI et al., 1989 apud MARIMON, 2006); China com concentrações de 1 a 45 mg/L (ZAOLI et al., 1989 apud MARIMON, 2006); Índia com valores máximos de 3,4 mg/L (RAO, 1997 apud MARIMON, 2006); México com anomalia de até 16 mg/L (MAHLKNECHT et al., 2004 apud MARIMON, 2006). Cruz e Amaral (2004), relataram ocorrências associadas a rochas vulcânicas no arquipélago dos Açores, Portugal.

Já no Brasil, ocorrências pontuais têm sido associadas ao consumo de águas subterrâneas no Aquífero Guarani registradas em São Paulo e Paraná (FRAGA, 1992), Santa Catarina (CAPELLA, 1989), e no Rio Grande do Sul (BACCAR, 1998), (SILVÉRIO et al., 2004), em zonas coloniais do municípios de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires. Havendo registros também em outros Aquíferos do país, que afloram nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Tocantins.

A legislação brasileira estabelece, o limite máximo de fluoreto aceitável para consumo humano fixado pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, o valor 1,5 mg/L (BRASIL, 2004). Estudos tem demonstrado que concentrações superiores a 1 mg/L de fluoretos nas águas podem causar fluorose dentária e acima de 4 mg/L podem causar lesões ósseas (fluorose óssea), que ocorrem quando ingerido dosagens com concentrações de fluoreto acima de 8 mg/L em um longo tempo de vida do ser humano (MARIMON, 2006). E em alguns Estados como no caso do Rio Grande do Sul, esse número se torna ainda mais restritivo com a Portaria n° 10/1999 onde a faixa de concentração em flúor na água aceita para consumo humano, entre 0,6 a 0,9 mg/L.

A seguir na figura 2, após o exposto, pode-se apresentar uma cadeia de causa e efeito da fluorose, que faz uma interligação entre vários fatores que leva a esta problemática social.

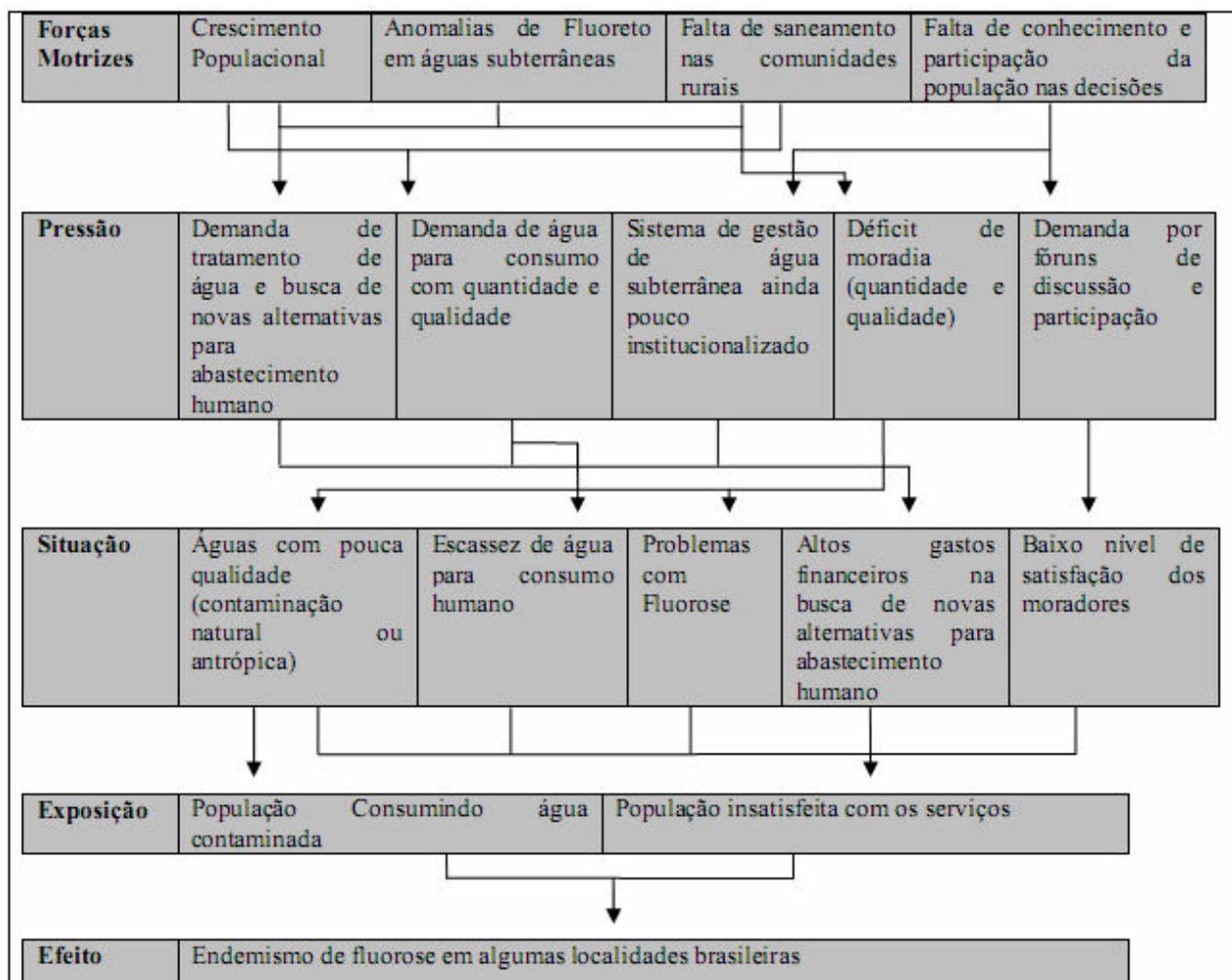


Figura 2. Cadeia de causa e efeito da fluorose  
Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., SANTIAGO, M. R., (2009), adaptado de WHO, (2000)

#### 4. RELAÇÃO ENTRE SISTEMA DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRANEAS E ENRIQUECIMENTO DE FLÚOR

É notória a importância em se estudar regiões que sofrem com anomalia de concentração do fluoreto no aquífero que abastece regiões tanto urbanas quanto rurais, pois a primeira há existência de redes públicas, obedecendo aos padrões estabelecidos pelo Decreto nº 5444/2005, sendo que na segunda o cenário é completamente diferente, onde o meio rural é a zona que mais sofre com doenças relacionadas à anomalia de fluoreto. Normalmente as vigilâncias sanitárias municipais ainda não estão equipadas para realizar o monitoramento dos parâmetros mínimos de qualidade, incluindo-se o flúor.

Diante do exposto, se torna relevante abordar as legislações relacionadas a gestão das águas subterrâneas, na busca de tentar interligá-las a problemática abordada, problema este que acarreta

sérios problemas de saúde pública e desperdício de finanças na busca de alternativa de abastecimento das comunidades atingidas.

Para que o abastecimento humano cumpra os seus objetivos é fundamental que ele seja feito de forma a respeitar a legislação ambiental, de modo que os recursos naturais possam ser bem utilizados, oferecendo-os com qualidade, confiabilidade e que a sua disponibilidade esteja garantida para as futuras gerações com qualidade e quantidade consideráveis. Esse é um preceito básico da legislação do Brasil, a qual, também, considera a água como um bem de domínio público, cabendo ao Estado estabelecer a sua alocação entre os diversos setores usuários de modo a garantir um uso equilibrado, sem conflitos e com um mínimo de impactos ambientais.

Nesse sentido a **Constituição Federal (1988)**, traz definições em relação às águas subterrâneas, onde no art. 26 diz que incluem-se como bens dos Estados: I- as águas superficiais ou subterrâneas, emergentes em depósito, ressalvados neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da união. A partir desta cabe aos Estados realizarem as outorgas de direitos de uso da água.

A **Lei 9.433 (1997)** vem refletir uma maneira adequada de administrar e promover o processo de desenvolvimento na conduta de utilização dos Recursos Hídricos do país, passando a tratar a água como um recurso escasso e finito, sendo a ela atribuído um valor econômico. Esta mesma lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que estabeleceu cinco instrumentos de gestão, estando em destaque neste artigo o Enquadramento que, por sua vez, é visto como o elo entre os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos.

Após a publicação da Portaria do Ministério da Saúde **nº 518/2004**, a qual alterou a Portaria do n.º1469/2000, houve um incremento em relação ao estudo das águas subterrâneas e pode-se efetivar um pouco melhor o conhecimento dos aquíferos e até propostos alguns modelos conceituais. Esta portaria estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Nesta Portaria os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto presente na água para consumo humano é de 1,5 ml/L.

O **Decreto nº 5.440/2005**, veio para auxiliar no controle da qualidade das águas distribuídas pelas empresas fomentadoras de águas para abastecimento público, e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação mensais ao consumidor sobre os resultados das análises referentes aos parâmetros básicos de qualidade da água e anuais informações referentes as particularidades próprias da água do manancial ou do sistema de abastecimento, como presença de algas com potencial tóxico, ocorrência de flúor natural no aquífero subterrâneo, ocorrência sistemática de agrotóxicos no manancial, intermitência, dentre outras, e as ações corretivas e

preventivas que estão sendo adotadas para a sua regularização.

E por fim recentemente, foi aprovada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, a Resolução nº 396/2008 cujo assunto trata da Classificação e Diretrizes Ambientais para enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Na mesma, não foi contemplado o elemento flúor como Valores de Referência de Qualidade – VRQ, estando também ausente da tabela de elementos advindos de contaminação natural.

Dessa forma, devido a não saber-se qual a origem e as formas de ocorrência do flúor e que ocorrências anômalas de fluoreto em águas subterrâneas são realidades de alguns Estados do país. Esta legislação apresenta algumas lacunas, porém deve-se lembrar que por ser a nível federal, a mesma veio para facilitar os trâmites necessários para tornar constitucional as leis estaduais específicas. Nestas leis estaduais, devem ser abordados os aspectos ainda não abordados, ou pouco aprofundados, aspectos estes que devem ser considerados segundo as problemáticas locais e regionais.

## 5. OCORRÊNCIAS DE FLÚOR NO PAÍS

A ocorrência do flúor está relacionada comumente aos processos ígneos ou magmáticos. Liberado pelo intemperismo dos minerais, o flúor passa às soluções aquosas supergênicas na forma do íon fluoreto livre dissolvido ( $F^-$ ), com alta mobilidade. A concentração média de flúor na água do mar é 1-1,3 mg/L  $F^-$ . Nas águas subterrâneas, pode variar desde menos que 1 a mais de 35 mg/L  $F^-$ , enquanto em águas de rios e lagos geralmente as concentrações são baixas (0,01-0,3 mg/L) (ANDREAZZINI et al., 2006).

No Brasil foram identificadas concentrações de fluoretos acima do Valor Máximo Permissível de 1,5 mg/L, nos três tipos diferentes de aquíferos; no poroso granular do Sistema Aquífero Guarani/SAG; no cristalino fissural como no Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Sedimentar do Paraná; no cristalino do Estado do Rio de Janeiro, no Cristalino e Bacia Sedimentar em São Paulo e ainda no Cárstico-poroso, Grupo Bambuí, em rochas carbonáticas no NE de Goiás e na região de São Francisco no Estado de Minas Gerais.

Desta forma pode-se perceber a extensa área que esta problemática abrange, onde a mesma deve ser considerada e mapeada, devido aos problemas fluorose dentária e óssea em crianças e adultos, conforme constatado nos Municípios de Venâncio Aires e Santa Cruz do Sul no Rio Grande do Sul (BACCAR, 1998).

Nas localidades de Mocambo e Boca do Mato, município de São Francisco, norte de Minas Gerais, os teores na água subterrânea de algumas áreas variam entre 1,17 e 5,2 mg/L  $F^-$  (ANDREAZZINI et al, 2006). Nesse município desenvolveram-se trabalhos prospectivos para

fluorita e galena em áreas de ocorrência de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

Diversos artigos (Licht et al. 1996b, Licht et al., 1997; Licht 2001) baseados no Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade do Paraná, delimitaram uma grande área fluoranômala na região do Norte Pioneiro do estado do Paraná, onde foram determinados teores de até 1,9 mg/L de flúor em amostras de água superficial. Na localidade de São Joaquim do Pontal, município de Itambaracá - PR, a prevalência de fluorose dental encontrada na população em idade escolar foi de 72 %, sendo 61 % com níveis 4 e 5 de severidade (ANDREAZZINI et al, 2006). E ainda no Estado do Paraná, um estudo feito pela Agência Nacional de Águas - ANA (2005), identificou concentrações de fluoreto acima 5 mg/L no município de Londrina, região pertencente ao Sistema Aquífero Guarani Confinado.

Panagoulis (2006), observou em seu estudo no Estado do Rio de Janeiro, os municípios de Tanguá e Rio Bonito que se tornaram mais evidentes devido as concentrações > 6mg/L de flúor, região com ocorrências de veios de Fluorita, especialmente para poços profundos. Poços rasos apresentaram baixas concentrações do elemento, sugerindo diluição dessas águas por infiltração de águas de chuva e/ou superficial nesses poços.

Em um trabalho feito pela ANA (2005), retratou-se o panorama geral da qualidade das águas subterrâneas no Brasil, onde foi possível detectar teores elevados de fluoreto, acima de 5 mg/L, em alguns poços de grande profundidade que captam o Sistema Aquífero Guarani confinado em Presidente Prudente, no Estado de São Paulo.

Hirata et al. (2007) em um estudo realizado em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, detectaram em zonas aflorantes do Sistema Aquífero Guarani, o componente Flúor em altas concentrações.

Diante desta problemática de gestão para águas subterrâneas e a sua contaminação por flúor, podendo este ser de origem natural ou antrópica, é reconhecido a necessidade de se ter um conhecimento mais aprofundado do comportamento hidrogeológico dos aquíferos, perante aos órgãos gestores destes recursos, reafirmando assim, a importância para desenvolvimento de pesquisas que dêem subsídios a gestão das águas subterrâneas, devido esta se apresentar com algumas lacunas a serem preenchidas.

## **5. CONHECIMENTO PRODUZIDO**

Visto a problemática em que anomalias de fluoreto representam, algumas das várias hipóteses merecem ser consideradas, no intuito de explicar qual as possíveis fontes deste flúor enriquecido. No entanto, a grande maioria aponta uma ou várias possibilidades agindo sozinha ou simultaneamente, sem, contudo confirmar a fonte. Portanto existem trabalhos que relacionam como

fontes os fertilizantes fosfatados enriquecidos em flúor e aplicados em solos para diversos cultivos Flores et al. (2003) utilizando a pirohidrólise na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Marimon (2006) usando isótopos, este último chegando a valores que descartam o fertilizante como fonte de enriquecimento do flúor em águas subterrâneas. As fontes de interação rocha/mineral/águas subterrâneas são de origem Geogênica e foram tentativamente avaliadas em Silvério da Silva et al. (2002), Marimon (2006) e Oliveira et al. (2007).

Nanni (2006) já aponta o enriquecimento em flúor em águas subterrâneas seja através da interação água-rocha em prolongado tempo de residência é bastante aceito no meio científico Fraga (1992), Carrilo-Rivera et al. (2002) e Kim & Jeong (2005). Ainda Nanni (2006) cita que esta hipótese de filiação litogeoquímica para explicar as concentrações anômalas de flúor foi descrita como atreladas em zonas de fluxo lento no Sistema Aquífero Serra Geral/SASG no Estado do Paraná Fraga (1992).

Outra hipótese esta alicerçada no controle estrutural para a origem de flúor nas águas do SASG e baseia-se na conexão hidráulica entre diferentes aquíferos, por intermédio de estruturas tectônicas que possibilitam a ascensão de águas de aquíferos sotopostos ao SASG, neste caso as unidades pertencentes ao SAG. Como produtos têm-se águas com diversas condições de mistura Lisboa e Menegotto (1997), Portela Filho et al. (2002), Machado (2005).

Neste sentido os trabalhos iniciados por Silvério da Silva (no prelo) desde 2001 mapearam cerca de 19 diques de rochas vulcânicas de composição variada e ainda não estudada petrograficamente. Salienta-se que os afloramentos do SAG na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul estudados por Silvério da Silva (2000 e 2002) ainda apresentam outros diques de materiais de composição ainda pouco conhecida imersos nas rochas sedimentares da Formação Santa Maria Membro Alemoa em Venâncio Aires/RS. Estes materiais já foram estudados por Difração de Raios-X e indicaram a presença de traços de alofana e imogolita, indicando possível associação com fumarólas tardias e enriquecidas em flúor. Estes materiais necessitam de estudos mais detalhados, pois ocorrem em algumas áreas de afloramento próximo de poços tubulares com elevadas concentrações de flúor nas águas. Recentemente novas hipóteses para explicar a origem do flúor dos aquíferos da Bacia do Paraná foram apresentadas por Frank et al. (2007) associando a desgaseificação de intrusivas da Formação Serra Geral. Descrevem que a completa ausência de minerais de flúor tais como: (fluorita, criolita, topázio, lepidolita, apatita, etc.) nas rochas sedimentares da Bacia fez com a origem dos teores anômalos de flúor tenha sido atribuída a três origens:

Silvério da Silva et al. (2002), flúor associado a águas muito sódicas de pH elevado (>8), encontraram correlações de cerca de 60% das águas ricas em Na com ocorrências anômalas de flúor, mas também notaram que este elemento ocorria em águas de pH ácido (<7). Portanto ainda

questionam-se a origem de flúor associado a ambientes sedimentares de características desérticas das Formações Botucatu e Pirambóia (Rosa Filho et al. 1987; Fraga, 1992). Estes autores nunca mostraram as ocorrências desses minerais em afloramento e ou no subsolo, portanto hipótese sem comprovação até o momento.

Silvério da Silva (1997) em sua tese de doutoramento em Geociências notou que algumas unidades pertencentes à Formação Santa Maria (Membro Alemoa) mostravam características em parte evaporíticas estudando calcretes (concreções carbonáticas) o que concordavam os professores alemães da Equipe de Kiel/Frankfurt Böger e Kowalczyk (1993). Realizaram-se estudos detalhados de diversos materiais contendo inclusive apatitas em osso de répteis fósseis Silvério da Silva et al. (2002), com concentrações de 25000 ppms.

Considerações genéricas a processos hidrotermais associados a lineamentos tectônicos de grande porte (Campos, 1993; Bittencourt, 1996; Marimon, 2006 e Provenzano, 2006), por onde ascenderiam águas de aquíferos profundos que conteriam flúor proveniente das rochas do embasamento (granitóides) seguindo o Modelo de Kim e Jeong (2005). Silvério da Silva (2002) levantou a hipótese de serem as micas negras que sofrendo alteração liberariam o flúor para as águas de formação e assim para o Sistema Aquífero Guarani na região Central do Estado do Rio Grande do Sul. Hipótese não comprovada.

Uma origem contemporânea aos derrames da Formação Serra Geral foi aventada por Rosa Filho *et al.* (1987) sem apresentar documentação das fases minerais geradoras de flúor.

Assim surgiu uma hipótese nova da desgaseificação de rochas intrusivas da Formação Serra Geral (FRANK et al., 2007), infere-se que a partir desta hipótese a mesma poderia ter validade para uma área de grande extensão da ordem de 1.000.000 Km<sup>2</sup> na Bacia do Paraná em parte de oito Estados brasileiros. Ainda devesse esclarecer estes derrames de rochas vulcânicas recebem outra denominação no Uruguai, Argentina e Paraguai formam as Lavas Arapey Montañó et al. (1998).

Tais fatos demonstram, que existem muitas hipóteses não comprovadas para esclarecer a origem ou origens das concentrações anômalas de flúor tanto no Sistema Aquífero Guarani como no Serra Geral e ainda mais recentemente em calcários do Grupo Bambuí onde (MENEGASSE et al., 2004) aponta como origem ser atribuída à dissolução do mineral fluorita presente nos calcários.

Em estudos feito por Velásquez (2006), foi observada ainda uma grande influência das estruturas geológicas na concentração de fluoreto encontrado nessas águas. No aquífero cárstico-fraturado, o fluxo das águas infiltradas é facilitado ao longo das fraturas abertas, ocorrendo o inverso com aquelas fechadas. Assim, as fraturas distensivas propiciam maior vazão aos poços do que as interceptam, com menores teores de fluoreto dissolvido, ao passo que as fraturas compressivas, como as de cisalhamento, propiciam baixas vazões aos poços que as interceptam e mais elevado teor de flúor a essas águas. Na região rural do município de São Francisco (MG), em

que predomina o abastecimento através de poços, foi considerada endêmica a ocorrência de fluorose dentária, doença que ataca o esmalte dos dentes, e concentrações de fluoreto de até 3,9 mg/L.

## 6. CONCLUSOES

De forma geral, as águas subterrâneas no país, são de boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo humano. Todavia, na sua forma natural, existem eventualmente algumas restrições que devem ser consideradas:

Em destaque, a ocorrência natural nas rochas de minerais cuja dissolução, localmente, gera águas com concentrações acima do padrão de potabilidade. É o caso do flúor nos calcários do Grupo Bambuí, no Sistema Aquífero Guarani e no Sistema Aquífero Serra Geral. Onde as altas concentrações de fluoreto acarretam a endemia de fluorose dentária em regiões que hoje reclamam por solução, pois esta problemática pode acarretar altos índices de déficit hídrico, no momento em que a mesma inviabiliza o uso para abastecimento público.

Salienta-se que a origem antrópica ou natural deste composto na água ainda é controversa. Inclusive existindo varias hipóteses para sua origem e muitas vezes ainda atribuída a ocorrência em mineralizações de fluorita, o que consideram-se ocorrer para algumas regiões de rochas específicas oriundas de embasamento cristalino como granitos e/ou granitóides, mas não sendo atribuída a todos o terrenos geológicos. De acordo com Hem, (1970) as apatitas normalmente obtém fluoretos, logo uma associação com rochas granitóides pode ser feita incluindo-se outros minerais, tais como, anfíbólios do tipo hornblenda e algumas micas, podem conter fluoreto substituindo parte do hidróxidos. Este autor ainda cita que o mineral fluorita é o mineral mais comum de flúor. Acrescenta que águas subterrâneas contendo fluoretos em concentrações superiores a 1 mg/L, são encontradas em muitas localidades nos Estados Unidos.

Quanto ao sistema de gestão das águas subterrâneas, foi percebido, que informações sobre a qualidade das águas no país ainda se encontram de forma dispersa e estão concentradas, principalmente, nos aquíferos localizados próximos às capitais. Há uma carência de estudos sistemáticos sobre os aquíferos em um contexto regional e a qualidade química e microbiológica de suas águas. Uma medida fundamental para o gerenciamento da qualidade da água subterrânea é o estabelecimento de uma rede de monitoramento de poços. A avaliação espacial e periódica da qualidade da água, que normalmente apresenta uma variação sazonal, só pode ser obtida através de um monitoramento sistemático realizado pelas companhias de abastecimento público, Universidades e Serviços de Saúde Municipais.

No país, entre os estados, apenas São Paulo possui uma rede de poços para monitoramento da

qualidade de água que foi iniciada no ano de 1990. Mais recentemente, no ano de 2004, foram instaladas redes em três bacias do Estado de Minas Gerais, na Região Metropolitana de Recife e no aquífero Jandaíra, na região de Baraúna - RN (ANA, 2005).

Sem esse tipo de informações é difícil avaliar-se a influência destas atividades na contaminação dos aquíferos. Neste sentido, o zoneamento dos aquíferos, segundo a sua vulnerabilidade e qualidade natural, servem para orientar a ocupação e exploração futura do local. Tal ação é de particular relevância nas áreas críticas onde a demanda por água subterrânea é elevada e onde são fortes as tendências de crescimentos populacional, industrial e agrícola.

A legislação federal, já contempla e limita os parâmetros e índices de qualidade da água subterrânea, mas como abordado anteriormente à mesma se encontra com algumas lacunas, na qual as legislações Estaduais devem supri-las e monitorá-las.

Por fim, a efetiva gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos, ou seja, o planejamento e a gestão dos recursos hídricos devem contemplar os aspectos de quantidade e qualidade das águas como componentes de um ciclo único.

## BIBLIOGRAFIA

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e de Conservação de Água e Solo. Brasília - DF, Maio de 2005. 78 p.

ANDREAZZINI, M. J.; FIGUEIREDO, B. R.; LICHT, O. A. B.. Geoquímica do Flúor em Águas e Sedimentos Fluviais da Região de Cerro Azul, Estado do Paraná: Definição de Áreas de Risco para Consumo Humano. *Geologia Médica, Caderno nº18*, São Paulo, 2005, 2006. 220p.

BACCAR, N. de M. **Estudo da qualidade da água de poços artesianos da Região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil, com destaque para a concentração de fluoretos. Santa Cruz do Sul, RS**. Dissertação de Mestrado Universidade de Santa Cruz do Sul/UNISC, 1998, p. 130.

BITTENCOURT et al., **A influência dos Basaltos e de Misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra - Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná – BR**; Rev. Águas Subterrâneas N° 17 publicado em Maio 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria N° 518, de 25 de março de 2004**. Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, Brasília, 2004. 15 p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio-Ambiente/CONAMA. **Resolução N° 396 de 03 de Abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 13 de setembro de

2008.

CANGUSSU, M.C.T.; NARVAI, P.C.; FERNANDEZ, R.C.; DJEHIZIAN, V. **A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 7-15, 2002.

CAPELLA, L. F.; CARCERERI, D. L. et al.. Ocorrências de fluorose endêmica. Revista Gaúcha de Odontologia, Porto Alegre, v. 37, n. 5, p. 371 – 375, set/out, 1989.

CARNEIRO, C. D. R.; CAMPOS, H. C. N. S.; MENDONÇA; J. L. G.. Rios Subterrâneos: Mitos ou Realidade?. **Ciência Hoje**, São Paulo, Outubro. 2008. Vol. 43, nº 253, p. 18-25.

CARRILLO-RIVERA JJ, CARDONA A, EDMUNDS WM. **Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin, Mexico,** Journal Hydrol, 2002261:24–47.

CLARKE, R.; LAWRENCE, A. R. e FOSTER, S. S. D. (1995). Groundwater – a threatened resource. UNEP Environmental Library, 15.

CRUZ, J. V.; AMARAL, C. S.. 2004. Major ion of groundwater from preched-water bodies of Azores (Portugal) volcanic archipelago. Appl Geochem. 19:445-459.

**DECRETO Nº 5.440, de 4 de Maio de 2005.** Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Disponível em: <[http://www.casan.com.br/docs/Decreto5440\\_05.pdf](http://www.casan.com.br/docs/Decreto5440_05.pdf)>. Acesso em: 09 de junho de 2009.

FEJESKOV, O.; YANAGISAWA, T.; TOHDA, H. Postruptive changes in human dental fluorosis- a histological and ultrastructural study. Proc. Finn. Dent. Soc., v. 87, n. 4, p. 607-619, 1991.

FLORES, E. L. M.; DUARTE, F. A.; PANIZ, F. N. G.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DRESSLER, V. L. **Utilização de Pirohidrólise para a determinação de flúor em fertilizantes e sal mineral.** In: Livro de resumos: 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2003.

FRAGA, C. G.. **Origem de Fluoretos em Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Botucato e Serra Geral da Bacia do Paraná.** Tese (Doutorado em Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo., 1992, p.178.

FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L.; GARCIA, G. G.. **Contaminação de flúor dos aquíferos da bacia do Paraná derivada da desgaseificação de intrusivas da formação Serra geral: Nova Hipótese.** In:XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, Gramado – RS. 2007.

HEM, J. D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 1970. Geological water supply paper. 1473 Second Edition. 363p. United States Government Printing Office, Washington.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; FERNANDES, A.. Groundwater resources in the State of São Paulo (Brasil): the application of indicators. In: Anais da academia Brasileira de Ciências, vol.79, nº.1, p.141-152. ISSN 0001. 2007. **Anais...**

KIM K.; JEONG Y. G. **Factors influencing natural occurrence of fluoride-rich ground waters: a case study in the southeastern part of the Korean Peninsula.** Chemosphere 58:1399–1408. 2005.

LICHT, O.A.B. A geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil. 2001. 236 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental)-Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

LICHT, O.A.B.; MORITA, M.C.; TARVAINEN, T. A utilização de dados de prospecção geoquímica de fluorita no primeiro planalto paranaense, na identificação de áreas de interesse para a saúde pública: uma abordagem preliminar. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 10, p. 57-69, 1996.

LICHT, O.A.B.; PIEKARZ, G.F.; SILVA, J.C.C.DA; LOPES JUNIOR, I. Levantamento geoquímico multielementar de baixa densidade no Estado do Paraná (hidrogeoquímica – resultados preliminares). **A terra em revista**, Belo Horizonte, v. 3, n. 3, p. 34-46, 1997.

MACHADO, J. L. F. Compartimentação Espacial e arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul; Programa de Pós-Graduação em Geologia, Tese de Doutorado UNISINOS, São Leopoldo, 2005 p.237.

MACHADO, J. L. F. **Mitos e Verdades do Aquífero Guarani.** Revista do Conselho de Engenharia e Arquitetura do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2008. Entrevista I, nº 10, p. 11-13.

MARIMON, M. P. C; ROISENBERG, A.; VIERO, A. P.; CAMARGO, F. A. Fluoride Anomalies in Groundwater from the Santa Maria Formation, Guarany Aquifer System, Souther Brazil. Does Fluorine-rich fertilizes contaminates the bedrock aquifer system. Revista Environmental International. 2007.

MARIMON, M. P. C. O Flúor nas Águas Subterrâneas da Formação Santa Maria, na Região de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, RS, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Tese de Doutorado UFRGS, Porto Alegre – RS 2006, p.306.

MENEGASSE, L.N.; COSTA, W.D.; FANTINEL, L.M.; UHLEIN, A.; FERREIRA, E.F.; CASTILHO, L.S. Controle estrutural do fluoreto no aquífero cárstico do município de São Francisco – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá,

2004a. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

MOGHADDAM, A. A.; FIJANI, E. .2008. Distribution of fluoride in Groudwater of Maku area, northwest of Iran. *Environ Geol* (2008) 56:281-287.

MONTAÑO, J.; TUICHNEIDER, O.; AUGE, M.; FILI, M.; PARIS, M.; D'ELIA, M.; PÉREZ, M.; NAGY, M. I.; COLLAZO, P.; DECOUD, P.. Sistema Aquífero Guarani. 1998. 216p.

NANNI, A. S.. O Flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 1., 2006, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 101-104.

NANYARO, J. T.; ASWATHANARAYANA, U.; MUNGERE, j. S.; LAHERMO, P., 1984. Ageochemical model for the abnormal fluoride concentrations in waters in parts of northern Tanzania. *J. Arf Earth Sci* 2:129-140.

ORUC, N. 2003. Problems of high fluoride waters in Turkey (hydrogeology and health aspects). The short course on medical geology-health and environment. Canberra, Australia.

PANAGOULIAS, T. I.; DA SILVA FILHO, E. V.. Estudo Hidrogeoquímico do Flúor nas águas Subterrâneas das Bacias dos rios Casseribú, Macacú e São João, Estado do Rio de Janeiro. *Geologia Médica, Caderno nº19*, São Paulo, 2005, 2006. 220p.;28cm.

PORTARIA N. ° 10/99; **Define teores de concentração de íons fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento.** Secretaria de Estado da Saúde do Rio Grande do Sul, 16 de agosto de 1999.

VELÁSQUEZ, L. M. N.; FANTINEL, L. M.; FERREIRA e FERREIRA, E.; CASTILLO, L. Silva de; UHLEIN, A.; VARGAS, A. M. D.; ARANHA, P. R. A.. Fluorose dentária e Anomalias de flúor na Água subterrânea no Município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. *Geologia Médica, Caderno nº17*, São Paulo, 2005, 2006. 220p.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DRESSLER, V. L.; RIFFEL, E. S.; SANTIAGO, M. R.. **Ocorrências anômalas de flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.** In: V SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E I IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Santa Maria - Rio Grande do Sul, 2008.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; HIRATA, R. C. A.; FLORES, E. L. M.; DRESSLER, V. L. **Novas Hipóteses sobre a Origem de Flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Central Gaúcha, Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

WHO, 2000, Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the WHO European Region, Interim Report, WHO Euro Publication EUR/00/5026344.