

**XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII**  
**ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS**

**ESTIMATIVA DO RISCO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO  
POR PESTICIDAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS  
DO MUNICÍPIO DE TIANGUÁ-CE, COM APLICAÇÃO DO  
MÉTODO DE GOSS E ÍNDICE DE GUS.**

Thiciania Guedes Canuto <sup>1</sup>; Allyne Ferreira Gama <sup>2</sup>; Francisco Maurício de Sá Barreto <sup>3</sup>  
& Mariano da Franca Alencar Neto <sup>4</sup>

**RESUMO**

A utilização de agrotóxicos em campos agricultáveis surgiu com o objetivo de aumentar a produção agrícola, através do fortalecimento das culturas e da minimização de perdas decorrentes de pragas. Tais insumos quando utilizados em horizonte temporal podem trazer prejuízos imensuráveis ao meio ambiente. O presente trabalho investigou a contaminação em águas superficiais e subterrâneas pelos pesticidas atrazina, simazina e metil paration, aplicados nas culturas desenvolvidas na Serra da Ibiapaba, município de Tianguá – CE, utilizando o método de Goss e o índice de GUS. Estes critérios baseiam-se em propriedades físico-químicas dos princípios ativos de cada agrotóxico. Por meio da comparação entre os modelos, a atrazina e a simazina apresentaram alto potencial de contaminação para água superficial e potenciais lixiviadores para água subterrânea. O metil paration mostrou médio potencial e não lixiviável, na avaliação respectiva de água superficial e subterrânea. Os resultados mostraram a necessidade do monitoramento constante dos níveis desses resíduos na área de estudo.

**Palavras-Chave** – Método de Goss, Índice de GUS, Pesticidas, Tianguá

---

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; Aluna do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental – Departamento da Construção Civil; Rua 25 de Março n° 10, Centro, Fortaleza, Ceará CEP: 600 60 – 120, Fone: (85) 8784 0566; e-mail: [tgcanto@gmail.com](mailto:tgcanto@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Aluna do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental- Departamento da Construção Civil; e-mail: [allynegama@gmail.com](mailto:allynegama@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Prof. Dr. do Departamento da Construção Civil; e-mail: [barreto@ifce.edu.br](mailto:barreto@ifce.edu.br)

<sup>4</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Prof. Dr. do Departamento da Construção Civil; e-mail: [mariano@ifce.edu.br](mailto:mariano@ifce.edu.br)

## **ABSTRACT**

The use of pesticides in arable fields emerged with the objective of increasing the agricultural production through the strengthening of crops and minimizes losses from pests. Such inputs when used in horizon time can bring immeasurable damage to the environment. This study investigated the contamination in surface water and groundwater by atrazine, simazine and methyl parathion applied to crops developed in Ibiapaba Mountains, Tianguá city - CE, using the method of Goss and the rate of GUS. These criteria are based on physicochemical properties of the active ingredients of each pesticide. Through the comparison between models, atrazine and simazine showed high potential for contamination of surface water and potential leachers for groundwater. Methyl parathion showed average potential and not leachable in the respective assessment of surface water and groundwater. The results showed the need for constant monitoring of levels of such waste in the study area.

**Keywords** – Method of Goss; GUS Index; pesticides; Tianguá

## 1 - INTRODUÇÃO

A busca pelo aumento de produção agrícola nos campos cultivados determinou a utilização de técnicas de plantios diferenciados por meio da aplicação de fertilizantes e pesticidas, com a finalidade de minimizar as perdas na produção. Porém, quando utilizadas em horizonte temporal podem trazer danos imensuráveis ao meio ambiente (CANUTO; GAMA; BARRETO, 2009).

A degradação da qualidade dos recursos hídricos, em função da contaminação por pesticidas, tem sido alvo de estudos em todo mundo. Assim, é fundamental estudar o risco potencial de contaminação por esses insumos, bem como entender sua dinâmica no ambiente, permitindo que medidas de controle sejam adotadas; garantindo o equilíbrio do ecossistema.

Os recursos subterrâneos são considerados fontes importantes de provisão de água devido à sua baixa suscetibilidade à poluição quando comparada à água superficial. Entretanto, há fontes difusas de poluição das águas subterrâneas associadas às atividades de uso do solo, particularmente àquelas decorrentes de práticas agrícolas (BARRETO, 2006). A aplicação de pesticidas nos campos agricultáveis, no que se refere à escala comercial, tem a finalidade de obter altas taxas de produção agrícola através do fortalecimento das culturas.

O controle dos usos e da qualidade das águas subterrâneas é ainda insatisfatório, dada a dispersão e a falta de articulação legal e institucional. O uso intensivo dos recursos naturais subterrâneos e de agrotóxicos, associado à elevada produção de resíduos na sociedade, frequentemente causa ameaça à qualidade das águas subterrâneas. A degradação da qualidade das águas subterrâneas pode ocorrer em grandes áreas a partir de fontes difusas como percolação profunda de áreas intensamente cultivadas (WADE, 1998).

O uso de pesticidas no município de Tianguá é considerado como um dos maiores do Estado e tem sido alvo de preocupação (NOROESTE, 2002). Considerando a importância do Aquífero Serra Grande para o desenvolvimento social e econômico da população, que explora o recurso subterrâneo para diversos usos, como: abastecimento público, irrigação e lazer (BARRETO, 2006).

O açude Jaburu I, com capacidade de 210 milhões/m<sup>3</sup> encontra-se localizado nos municípios de Ubarajara (88% de sua área) e de Tianguá (12% de sua área), foi inaugurado em 1983, e é responsável pelo abastecimento de todas as cidades da Serra da Ibiapaba e nas atividades de irrigação, pesca e piscicultura. Estudos preliminares realizados por Barreto; Araujo (Relatório Técnico, 2007), constatou a presença de alguns agrotóxicos em amostras de água do referido manancial, em desacordo com a legislação vigente.

As aplicações do método de Goss e do índice de GUS surgem como alternativas atrativas para a investigação preliminar do potencial de contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por agrotóxicos, uma vez que a quantificação destes compostos na água envolve métodos analíticos complexos e caros. A aplicação dos modelos possibilita estimar o risco de contaminação de um número ilimitado de pesticidas, com impactos de recursos financeiros mínimos, quando se considera os gastos com análises quantitativas em laboratórios.

A Resolução CONAMA 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. Essa Resolução apresenta lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes e os limites de quantificação praticáveis (LQP), considerados como aceitáveis para aplicação desta Resolução.

Neste trabalho será apresentada parte do monitoramento ambiental, referente ao potencial de contaminação dos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) através de 37 produtos químicos (agrotóxicos) em 48 diferentes produtos comerciais, que são aplicados nos campos cultivados do município de Tianguá.

## **2 - OBJETIVO**

### **2.1 - Objetivo Geral**

Avaliar o risco potencial de contaminação por pesticidas nos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) do município de Tianguá-Ce, utilizando modelos de “screening”.

### **2.2 - Objetivos Específicos**

- Indicar quais compostos apresenta risco potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas na área de pesquisa, segundo os critérios de Goss e GUS.
- Comparar os resultados do modelo GUS com medidas de pesticidas realizadas por Barreto (2006), em uma bateria de poços localizados na área de estudo.

## **3 - REVISÃO DA LITERATURA**

No Brasil, o Decreto 4.074/02 regulamenta a Lei nº 7.802/89, que “dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências” (BRASIL, 2002).

O aumento da população mundial e a demanda crescente de alimentos são argumentos que motivam e favorecem o uso de pesticidas (substâncias químicas que ocupam uma posição singular devido serem adicionadas intencionalmente ao meio ambiente) para proteger animais e plantas dos efeitos negativos, de outros seres vivos, prevenindo ou combatendo pragas; que representam um problema para a agropecuária tradicional e para saúde pública. Em contra partida, muitas são as conseqüências provenientes do uso de pesticidas que atingem a população de maneira direta ou indireta (DORES, 2004).

Os pesticidas quando aplicados diretamente no solo podem ser degradados por vias químicas, fotólise ou ação de microrganismos. Entretanto, as moléculas com alta

persistência (baixa taxa de degradação) podem permanecer no ambiente sem sofrer qualquer alteração. Essas moléculas podem ser adsorvidas nas partículas do solo, desorvidas a partir dessas mesmas partículas, sofrer lixiviação e atingir o manancial subterrâneo, ou ainda serem carregadas para os corpos hídricos superficiais (SANCHES *et Al.*, 2003).

Laurencetti *et Al.* (2005) avaliaram o potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas, comparando os métodos de previsão de lixiviação. As análises dos resultados tomaram como base os critérios sugeridos pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), o índice “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) proposto por GUSTAFSON (1989) e LIX (Leaching Index); além do fator de retardamento (RF), o fator de atenuação (AF) e o modelo TLPI (Temperature Leaching Potential Index). Foram avaliados nove herbicidas e os resultados mostraram que os métodos que avaliam o potencial de lixiviação de pesticidas para a água subterrânea podem ser utilizados para indicar quais compostos devem ser priorizados em estudos mais complexos, como os de monitoramento ambiental “in loco”. Os resultados de potencial de lixiviação foram concordantes, exceto para alguns herbicidas empregados no cultivo da cana-de-açúcar, devido às singularidades e limitações inerentes a concepção de cada método. É importante considerar que a ocorrência de determinado pesticida em águas subterrâneas depende além do seu potencial de lixiviação, da vulnerabilidade natural do aquífero e da quantidade do pesticida aplicado. Métodos de previsão da lixiviação, com graus de complexidades, associados com análise espacial e sistema de informações geográficas podem ser úteis para avaliar o potencial de contaminação da água subterrânea em áreas que apresentam elevado consumo de diversos pesticidas, como a monocultura da cana-de-açúcar. O resultado dessa associação pode fornecer subsídios para tomadas de decisão mais rápidas e mais eficientes.

Coutinho (2005) estudou os mecanismos de ação, degradação e toxicidez dos pesticidas mais utilizados no Brasil em culturas de milho, soja e cana-de-açúcar, sendo estes os herbicidas glifosato, pendimetalina e atrazina e os inseticidas fenitrotion e fipronion. A atrazina (2-cloro-4-(etilamino)-6-(isopropilamino)-s-triazina), herbicida pré e pós-emergente de classe III (medianamente tóxico), foi destacado como o importante representante do grupo das triazinas (que compreendem cerca de 30% da produção mundial de pesticidas). Devido ao uso intenso, baixa reatividade e

solubilidade, é comumente detectada no monitoramento de solos, águas subterrâneas e superficiais. Seus resíduos e metabólitos podem ser encontrados nesses locais após longo tempo de aplicação, pois seu tempo de vida médio varia de 20 até mais de 100 dias. Seus resíduos também têm sido encontrados em frutas e vegetais.

De acordo com esse mesmo autor, os pesticidas organofosforados (como por exemplo, o metil paration) apresentam efeito tóxico mais agudo para os seres humanos e outros mamíferos do que os pesticidas organoclorados (dicofol, por exemplo). Os pesticidas organofosforados agem no sistema nervoso central do inseto, inibindo as enzimas colinesterases. O metil paration é um produto extremamente tóxico, com toxicidade Classe I, caso não seja manipulado corretamente pode causar sérios problemas ambientais e à saúde humana.

Sanches *et Al.* (2003), em estudo de pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água, aponta os organofosforados (por exemplo, metil paration) como vantajosos por serem de fácil degradação. Entretanto, apresenta alta toxicidade e a inibição da enzima Colinesterase como desvantagem. Assim, tais compostos impedem a transmissão de novos impulsos e geram vários danos ao organismo como convulsões, parada respiratória e coma.

Kussumi (2007) em estudo pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, afirmou que de acordo com a Organização Mundial da Saúde, é desconhecida a toxicidade da simazina como ingrediente ativo e grau técnico em uso normal. Tanto a simazina como a atrazina são usadas em plantações de milho e outros produtos agrícolas, sendo que a primeira tem importante aplicação, pois em altas dosagens, extermina ervas daninhas de modo persistente e não seletivo.

Barreto (2006) realizou pesquisa no município de Tianguá-Ce, quanto à contaminação da água subterrânea, Aquífero Serra Grande, por pesticidas a partir do monitoramento de uma bateria de poços. Os pesticidas analisados foram: atrazina, simazina e metil paration. As determinações dos pesticidas atrazina, simazina e metil paration indicaram que do total de 153 amostras analisadas foi constatada a presença desses compostos em 126 amostras (82%), durante a etapa investigatória. Em uma segunda etapa do trabalho, do total de 36 amostras analisadas para cada composto, verificou-se que atrazina, simazina e metil paration foram detectados em,

respectivamente, 17 amostras (47%), 21 amostras (55%) e 14 amostras (39%) em desacordo com o Valor Máximo Permitido (VMP) definido na legislação, ou seja: 2,0 µg/L para atrazina e simazina (Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde) e 0,04 µg/L para metil paration (Resolução CONAMA 357/2005).

Cabrera; Costa; Primel (2008) realizaram pesquisa para avaliar o risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do Estado do Rio Grande do Sul. Na pesquisa foram utilizados os modelos de Screening da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA); índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas (GUS) e o Método de Goss. Dos vinte e sete (27) pesticidas utilizados na região, pelo menos 19 apresentam risco de contaminação para águas de superfície e subterrânea. Além desses, o estudo mostrou a necessidade de avaliar a ocorrência dos inseticidas metil paration, por apresentarem, segundo o critério de Goss, potencial médio de contaminação à água superficial.

Dependendo de suas características os pesticidas podem permanecer em diferentes compartimentos ambientais, tais como atmosfera, solo, água de superfície e subterrânea. Através das suas propriedades físico-químicas, pode-se estimar seu comportamento no meio ambiente, desde a aplicação até o destino final, assim como as interações com o solo e o transporte, quando dissolvidos em água ou associados ao sedimento (Cabrera; Costa; Primel, 2008).

Monquero *et Al.* (2008), determinaram o potencial de lixiviação de produtos empregados em cana-de-açúcar na região do Rio Corumbataí. Os índices de GUS foram calculados para diversos agrotóxicos e corroboraram com os dados encontrados utilizando o bioensaio (técnica que usa plantas sensíveis aos produtos testados, de forma que resíduos de agrotóxicos possam ser evidenciados), apesar do primeiro modelo não considerar características ambientais do solo como: taxa de recarga, porosidade do solo e capacidade de campo. Assim as precipitações intensas podem promover a lixiviação de herbicidas e contaminar as águas subsuperficiais. Conhecer o tipo de solo, as condições climáticas e as características dos produtos são fundamentais para prever o comportamento de pesticidas no solo.

Milhome *et Al.* (2009), avaliaram o risco de contaminação por pesticidas aplicados na agricultura irrigada do Baixo Jaguaribe, CE quanto a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Foram utilizados os critérios sugeridos pela Agência

de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o índice “Groundwater Ubiquity Score” (GUS) e o método de Goss. Do total de pesticidas investigados, atrazina, imidacloprido, metamidofós, propiconazole e triazofós apresentaram potencial de contaminação das águas subterrâneas que exige monitoramento. Em relação ao risco de contaminação de águas superficiais, foram considerados como alto potencial contaminante os seguintes compostos: atrazina, azoxistrobina, cipermetrina, clorpirifós, dicofenol, endossulfan, esfenvalato, fenitrotion, imidacloprido, lambda-cialotrina, metolaclo, paraquat, paration metil, propiconazole, tiametoxan e triazofós. Segundo os critérios avaliados neste estudo, os demais pesticidas investigados não apresentaram risco de contaminação.

Pessoa *et Al.* (2004), define o coeficiente de adsorção (Koc) como valor que representa a quantidade de carbono orgânico adsorvido ao solo, útil para estimar: a extensão em que o soluto orgânico sofrerá partição no solo quando a água movimentar-se através do perfil do solo. A adsorção é a capacidade das partículas do solo (frações minerais e orgânicas) de reterem as moléculas dos pesticidas, influenciando diretamente no efeito de fatores como biodegradabilidade, bioacumulação e etc.

A solubilidade em água atua no comportamento, transporte e destino dos compostos estudado, indicando a tendência do pesticida em ser carregado superficialmente no solo atingindo as águas superficiais e subterrâneas, sendo um dos parâmetros mais importante. É definida como a quantidade máxima de composto que se dissolve em água pura a uma determinada temperatura. Deve ser ainda analisado juntamente com outras propriedades (FÉLIX; NAVICKIENE; DOREA, 2007).

De acordo FÉLIX; NAVICKIENE; DOREA (2007), a persistência é expressa como o tempo de meia-vida no solo (DT50) necessário para que metade da concentração total seja degradada, independentemente da sua concentração inicial no solo. A degradabilidade do composto é muito variável, podendo ser de dias, meses ou anos. Outro fato que deve ser ressaltado é que os valores de meia-vida são extremamente importantes, para o entendimento do impacto ambiental causado por um determinado pesticida. Os poluentes cuja meia vida no solo é relativamente alta e o coeficiente de sorção no solo é relativamente baixo, ou com alta solubilidade em água, são classificados como poluentes lixiviantes por causa do valor do índice de GUS.

Até abril do ano de 2008 o Brasil não tinha uma legislação que limitasse o valor máximo permitido de compostos químicos, como os pesticidas, para águas subterrâneas. A partir desta data, a Resolução CONAMA nº 396/2008 traz o valor máximo permitido (VMP), que é 2 µg/L para os herbicidas atrazina e simazina em água para fins de consumo humano; apesar de não citar o inseticida metil paration, que continua sendo limitado a 0,04 µg/L pela Resolução CONAMA nº 357/2005 que regulamenta a presença de deste em água doce (classe 2) sendo estes os valores de referências utilizados neste trabalho.

## **4 - MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 - Caracterização da área de trabalho**

A área desta pesquisa, o Município de Tianguá, localiza-se no Planalto da Ibiapaba, noroeste do Estado do Ceará. Sua toponímia deriva do tupi e significa “Boqueirão do Bico de Papagaio”. Tem posição geográfica com coordenadas de 03°43’56 de Latitude Sul, e 40°59’30” de Longitude Oeste de Greenwich. Com altitude, na sede, de 775,92 m, abrange uma área de 647,5 km<sup>2</sup> e limita-se ao Norte com os municípios de Moraújo, Granja e Viçosa do Ceará; ao Sul com o município de Ubajara; ao Leste com os municípios de Ubajara, Frecheirinha, Coreaú e Moraújo; e ao Oeste com o município de Viçosa e o Estado do Piauí.

Suas características ambientais apontam clima tropical quente semi-árido brando e tropical quente sub-úmido, pluviosidade média de 1.210,3 mm e temperatura média de 22 a 24°C, período chuvoso de janeiro a maio. O município tem hoje uma população estimada de 67.663 habitantes. Segundo IPLANCE (2000), a densidade demográfica do município é de 90 hab./km<sup>2</sup> e taxa de urbanização de 64,21%. Sua economia apoia-se fortemente no setor de serviços (59,23%); a agropecuária é bem representativa (31,52%) e bem acima da média estadual que é de 7,26%, destacando-se a avicultura e a horticultura; a indústria é representada apenas por 9,25% do PIB – Produto Interno Bruto (IPECE, 2009).

## **4.2 - Caracterização do solo**

De acordo Barreto (2006) *apud* SUDENE (1973), a área de estudo é constituída principalmente por solos do tipo:

Areias quartzosas: Classe de solo que predomina na área de estudo. São profundos a muito profundos, de textura arenosa, apresentando acentuada a excessiva drenagem. Esta classe, ao lado dos Podzólicos - pelo intenso e diversificado uso agrícola - são, certamente, as que estão mais fortemente associadas aos efeitos de contaminantes na região estudada.

Latossolo: estes solos se localizam (direção N-S) na porção oriental da cuesta da Ibiapaba. Caracterizam-se por possuir textura argilosa ou média. São, predominantemente, profundos a muito profundos, muito porosos e muito friáveis, quando úmidos e bem a fortemente drenados.

Podzólico: Ocorrem na borda oriental da cuesta da Ibiapaba e no prolongamento da mesma, estando localizados em áreas mais degradadas pela erosão. Possuem texturas do tipo misto, predominantemente, arenosa e média argilosa. São medianamente profundos a profundos e moderadamente ou bem drenados.

## **4.3 - Pesticidas estudados**

A escolha dos pesticidas (atrazina, simazina e metil paration) baseou-se no banco de dados gerado por Barreto (2006), a partir de informações dos tipos e características dos agrotóxicos utilizados na região. Segundo o pesquisador, foram utilizadas informações da Secretaria de Saúde do município de Tianguá, referente ao ano de 2004, dados das cooperativas agrícolas da região e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará – EMATERCE.

Outros fatores foram determinantes para o monitoramento destes compostos, tais como: larga utilização nos campos agricultáveis, especialmente no município de Tianguá (cultura de milho) – identificados e listados pela pesquisa realizada por Barreto (2006); problemas associados à saúde do homem e dos animais, considerando os níveis de toxicidades altos e médios, e; metodologias analíticas definidas e precisas, bem como laboratórios credenciados no país para a detecção dos compostos investigados na água.

#### 4.4 - Propriedades Físico-químicas

As propriedades físico-químicas dos agrotóxicos permitem o estudo do seu comportamento no meio ambiente e são utilizadas nos critérios de avaliação do risco de contaminação potencial para ambientes aquáticos.

As propriedades empregadas nesse estudo foram: solubilidade em água ( $S_w$ ), coeficiente de adsorção ( $K_{oc}$ ) e o tempo de meia vida (DT50) no solo. Estas propriedades foram empregadas para classificar os pesticidas de acordo com as determinações dos critérios de avaliação de águas superficiais (Goss) e subterrâneas (GUS). Os valores de referência das propriedades empregadas se basearam na literatura especializada (A TO Z LIST OF PESTICIDE ACTIVE INGREDIENTS – Universidade de Hertfordshire, 2009)

#### 4.5 - Avaliação da contaminação das águas superficiais

Para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais pelos pesticidas atrazina, simazina e metil paration, aplicou-se o método de Goss que considera a meia-vida do composto no solo (DT50 no solo), sua solubilidade em água a 25 °C e a constante de adsorção à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ). Segundo este método, os pesticidas são divididos em grupos, conforme se pode observar na Tabela 1.

Tabela 1: Faixas dos parâmetros considerados pelo método Goss.

Grupos	Características
APTAS <sup>1</sup>	$t_{1/2}$ no solo $\geq 40$ dias e $K_{oc} = 10^3 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ou $t_{1/2}$ no solo $\geq 40$ dias, $K_{oc} \geq 500 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ; solubilidade em água $\leq 0,5 \text{ mg L}^{-1}$
BPTAS <sup>2</sup>	$t_{1/2}$ no solo $< 1$ dia, ou $t_{1/2}$ no solo $\leq 40$ dias, $K_{oc} \leq 500 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ e solubilidade $\geq 0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , ou $t_{1/2}$ no solo $\leq 2$ dias e $K_{oc} \leq 500 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ ou $t_{1/2}$ no solo $\leq 4$ dias, $K_{oc} \leq 900 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ e solubilidade em água $\geq 0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ou $t_{1/2}$ no solo $\leq 40$ dias e $K_{oc} \leq 900 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ e solubilidade em água $\geq 2 \text{ mg L}^{-1}$ .
APTDA <sup>3</sup>	$t_{1/2}$ no solo $> 35$ dias, $K_{oc} < 10^6 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ e solubilidade $> 1 \text{ mg L}^{-1}$ , ou $t_{1/2}$ no solo $> 35$ dias, $K_{oc} < 700 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ e solubilidade em água entre $10$ e $10^2 \text{ mg L}^{-1}$ .
BPTDA <sup>4</sup>	$K_{oc} > 10^6 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ , ou $t_{1/2}$ no solo $< 1$ dia e $K_{oc} < 100 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ , ou $t_{1/2}$ no solo $< 35$ dias e solubilidade em água $< 0,5 \text{ mg L}^{-1}$ .
MPTDA ou MPTAS <sup>5</sup>	Médio potencial de contaminação.

<sup>1</sup> Alto Potencial de Transporte das Águas Superficiais devido ao transporte associado ao sedimento em suspensão; <sup>2</sup> Baixo Potencial de Transporte das Águas Superficiais devido ao transporte associado ao sedimento em suspensão. <sup>3</sup> Alto Potencial de Transporte das Águas superficiais devido a serem Transportados Dissolvidos na Água. <sup>4</sup> Baixo Potencial de Transporte das Águas Superficiais devido a serem Transportados Dissolvidos na Água. <sup>5</sup> Médio Potencial de contaminação das Águas Superficiais devido a serem Transportados Dissolvidos na Água ou associado ao sedimento em suspensão. Compostos que não se enquadram em nenhum dos grupos são considerados com potencial médio.

#### 4.6 - Avaliação da contaminação das águas subterrâneas

O índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas (GUS) foi aplicado para avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas no município de Tianguá. Para a aplicação deste índice foi pesquisada na literatura especializada as propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos, necessárias para estimar o risco potencial de contaminação calculado pelo índice GUS. As propriedades investigadas foram: coeficiente de adsorção à matéria orgânica ( $K_{OC}$ ), cujo valor permite a previsão da mobilidade do composto no solo; meia vida no solo (DT 50), tempo necessário para que metade da concentração inicial seja degradada. Essas propriedades são aplicadas na Equação 1 sugerida por GUSTAFSON (1989) e denominada Índice de GUS (Groundwater Ubiquity Score).

$$GUS = \log (t/2 \text{ solo}) \times (4 - \text{Log} (K_{OC})) \quad [\text{Eq. 01}]$$

Os pesticidas são classificados de acordo com sua tendência de lixiviação, conforme as faixas de valores apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação do risco de contaminação da água subterrânea de acordo com o índice de GUS

Escala de Classificação do Índice de GUS	
$GUS < 1,8$	Não sofre Lixiviação (NL)
$1,8 < GUS < 2,8$	Faixa de Transição
$GUS > 2,8$	Provável Lixiviação (PL)

#### 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais na área de estudo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Potencial de contaminação de mananciais superficiais por agrotóxicos.

Princípio Ativo	$K_{OC}$ ( $cm^3/g$ )	DT 50 no solo (dias)	Solubilidade em Água (Sw)	Goss
Atrazina	93	146	33	MPTAS/APTDA
Simazina	130	60	6,2	MPTAS/APTDA
Metil paration	5.100	5	60	MPTAS/MPTDA

Fonte: A TO Z LIST OF PESTICIDE ACTIVE INGREDIENTS, 2009

O potencial de risco de contaminação de águas superficiais, segundo o critério de Goss indicou Médio Potencial de Contaminação em função de estarem associados ao Sedimento em Suspensão (MPTAS) para os três compostos estudados, ou seja: atrazina, simazina e metil paration, visto que os compostos estudados não se enquadraram em nenhum dos grupos de critérios. Indicou, ainda, Alto Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água (APTDA) para a atrazina e simazina e Médio Potencial (MPTDA) para o metil paration.

Os resultados do índice Goss mantém certa correlação com o monitoramento realizado no Açude Jaburu I (BARRETO; ARAÚJO, 2007). Amostras de água deste manancial foram coletadas e analisadas para diferentes tipos de pesticidas aplicados nos campos agricultáveis no município de Tianguá, incluindo os compostos atrazina, simazina e metil paration. De acordo com os autores, foi detectada a presença daqueles pesticidas nas amostras de água. Os valores das concentrações dos compostos não puderam ser mencionados por se tratar de dados ainda não divulgados à sociedade.

Menezes (2005); Menezes (2007); Cabrera (2008); Silva (2009) e Milhome (2009), em estudos utilizando o método de Goss para avaliação do potencial de contaminação para as águas superficiais mostram que os compostos com baixa solubilidade em água, baixa sorção do solo e longa persistência dos pesticidas no solo, apresentam um maior risco de contaminação pelo transporte associado ao sedimento ou dissolvido em água (como no caso da atrazina e da simazina). Para tanto, compostos que apresentem baixa persistência (como por exemplo, o metil paration) devem ser analisados quanto à quantidade de ingrediente ativo utilizado por hectare.

Os resultados do índice GUS, a partir de valores de Koc e DT50 (A TO Z LIST OF PESTICIDE ACTIVE INGREDIENTS, 2009) indicaram para atrazina, simazina e metil paration valores do potencial de contaminação na água subterrânea de, respectivamente, 4,40; 3,40 e 0,20; ou seja: risco de provável lixiviação (PL) para atrazina e simazina e não lixiviação (NL) para o metil paration, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Aplicação do Índice de GUS

<b>Princípio Ativo</b>	<b>Koc (cm<sup>3</sup>/g)</b>	<b>DT 50 no solo (dias)</b>	<b>GUS</b>
Atrazina	93	146	4,40
Simazina	130	60	3,40
Metil paration	5.100	5	0,20

Fonte: A TO Z LIST OF PESTICIDE ACTIVE INGREDIENTS, 2009

O potencial de contaminação da água subterrânea pelos pesticidas atrazina e simazina, calculado pelo índice de GUS, foi confirmado em pesquisa realizada por Barreto (2006). Este autor detectou a presença desses compostos em nove poços monitorados no município de Tianguá. Segundo o autor do total de 36 amostras analisadas para cada composto, verificou-se que atrazina e simazina foram detectados em, respectivamente, 17 amostras (47%) e 21 amostras (55%) em desacordo com o VMP definido na portaria 518/2004 do MS, ou seja: 2µg/L para atrazina e simazina.

O índice de GUS classificou o pesticida metil paration como “não sofre lixiviação (NL)”, o que não corrobora com os resultados encontrados por Barreto (2006). Segundo este autor do total de 36 amostras analisadas para o metil paration em nove poços monitorados no município de Tianguá, verificou-se que metil paration foi detectado em 14 amostras (39%) em desacordo com o VMP na Resolução 357/2005 do CONAMA, ou seja: 0,04 µg/L para o metil paration.

A classificação de GUS para o metil paration quanto ao potencial de contaminação das águas subterrâneas pode não representar a realidade, tendo em vista que os valores dos parâmetros Koc e DT50 utilizados se baseiam em dados da literatura, portanto podendo subestimar ou superestimar os resultados para este composto. Deve-se ressaltar que as condições de aplicação, o índice pluviométrico, a temperatura e as características do solo, devem ser também consideradas. Tais parâmetros podem contribuir em conjunto com as propriedades físicas e químicas para aumentar o potencial inerente ao agrotóxico, causando a contaminação das águas subterrâneas ou superficiais.

De acordo com Barreto (2006), a presença de pesticidas na água subterrânea da área de estudo pode ter sido influenciada por diversos fatores, tais como: características do solo, solubilidade do pesticida em água, adsorção às partículas de solo, persistência e mobilidade. Desta forma, o potencial de contaminação dos pesticidas na água

subterrânea está diretamente relacionado aos processos de adsorção, que regulam a disponibilidade do pesticida na solução do solo; aos processos de transferência, que deslocam o pesticida do ponto de aplicação para outra área e aos processos de degradação, que minimizam a persistência, acumulação e os efeitos ambientais desses compostos.

Lourencetti (2005) afirma que um único método, que considera apenas as propriedades físico-químicas dos pesticidas, pode não ser suficiente para prever o potencial de lixiviação de pesticidas para a água subterrânea. Sugerindo que sejam analisadas também as condições hidrológicas e climáticas e as propriedades do solo e dos pesticidas. A ocorrência de determinado pesticida em água subterrânea depende além do seu potencial de lixiviação, da vulnerabilidade natural do aquífero e da quantidade do pesticida aplicado. Fato que pode justificar o fato do metil paration ter sido considerado não lixiviável, considerando que Barreto (2006) detectou este pesticida em amostras de água subterrânea na região estudada.

É provável que os valores do índice GUS para os pesticidas investigados sofram variação, considerando que os valores dos parâmetros Koc e DT 50 não foram calculados, até o presente momento, para a área da pesquisa.

Os resultados indicaram que o potencial de contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos por meio de aplicação dos índices Goss e GUS podem confirmar estudos quantitativos em amostras de água. Além do que, são ferramentas importantes quando há limitação de recursos financeiros para realização de medidas quantitativas e, priorizando o monitoramento in loco dos agrotóxicos que se apresentam como prováveis lixiviadores ou em transição.

## **6- CONCLUSÕES**

Os resultados desta pesquisa permitiram concluir que:

- Os herbicidas atrazina e simazina, para o método de Goss, se mostraram com médio potencial de contaminação em função do transporte associado ao sedimento e alto potencial quando dissolvido em água, segundo o método de Goss; apresentaram índice de GUS > 2,8, caracterizando como potenciais lixiviadores e corroboraram com os resultados de Barreto, 2006;

- O inseticida metil paration, para o método de Goss, se mostrou com médio potencial de contaminação em função do transporte associado ao sedimento e dissolvido em água, uma vez que não se enquadrou e; apresentou índice de GUS < 1,8, caracterizando-se por não sofrer lixiviação, não sendo um potencial para contaminação de águas subterrâneas;

- É possível que os valores dos índices Goss e GUS venham sofrer alterações quando os parâmetros que constituem tais índices se basearem em medidas do solo e da água da área estudada;

- Os resultados dos índices Goss e GUS confirmaram estudos quantitativos realizados em amostras de águas dos mananciais superficiais e subterrâneos para os pesticidas atrazina e simazina.

## **7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**A TO Z LIST OF PESTICIDE ACTIVE INGREDIENTS**, Universidade de Hertfordshire; Disponível em : <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/index.htm>>  
Acesso em: 26 março de 2009

ANVISA. **Agência Nacional De Vigilância Sanitária**. Portal ANVISA, monografias autorizadas. Disponível em: <[www.portal.anvisa.gov.br](http://www.portal.anvisa.gov.br)>

BARRETO, F.M.S. **Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no município de Tianguá, Ceará**, 2006. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. - UFC, Fortaleza, 2006.

BARRETO, F.M.S.; ARAÚJO, J.C. **Relatório Técnico. Consultoria**. V. 1 e 2, Fortaleza- CE, 2007.

BRASIL. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília. Publicação DOU: 26/03/2004. Seção I, p. 266.

BRASIL. **Resolução nº. 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de, de 17 de março de 2005.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília.

BRASIL. **Resolução nº. 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 07 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília. Publicação DOU: 03/04/2008.

BRASIL. **Decreto nº. 4.074, de 4 de janeiro de 2002.** Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 jan. 2002. Seção 1.

CABRERA. L.; COSTA, F.P.; PRIMEL, E.G. **Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do Estado do RS.** Revista: Química Nova, Vol. 31, No. 8, 1982-1986, 2008.

CANUTO, T.G.; GAMA, A.F.; BARRETO, F.M.S. **estimativa do potencial de contaminação do metil-paration – modelos de “screening”- em águas superficiais e subterrâneas, no município de Tianguá, Ceará.** IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém – Pará, 2009

COUTINHO, F.B. *et Al.* **Pesticidas: mecanismo de ação, degradação e toxidez.** Revista: Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 15, p. 65-72, 2005

DORES, E.F.G.C. **Contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em Primavera do Leste, Mato Grosso.** 2004. 281 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

FÉLIX, F.F.; NAVICKIENE, S.; DOREA, H.S. **Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) como Indicadores da Qualidade dos Solos.** Revista Fapese, v. 3, nº2, 2007.

GUSTAFSON, D.I. **Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability**. Environmental Toxicology and Chemistry, v.8, n. 4, p. 339-357, 1989.

IPLANCE. **Fundação Instituto de Planejamento do Ceará**. Perfil Básico Municipal – Tianguá. Fortaleza, 2000.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal. Tianguá, 2009. Disponível em:** <[www.ipece.ce.gov.br](http://www.ipece.ce.gov.br)>

KUSSUMI, T.A. **Desenvolvimento de Método Multirresíduo para Determinação de Pesticidas Benzimidazóis, Carbamatos e Triazinas em Milho por Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem e sua Certificação**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2007.

LOURENCETTI, C.; SPADOTTO, C.A.; SILVA, M.S.; RIBEIRO, M.L. **Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação**. Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 15, p. 1-14, jan./dez., 2005.

MENEZES, C.T.; HELLER, L. **Proposta de Metodologia para Priorização de Sistemas de Abastecimento de Água para a Vigilância da Presença de Agrotóxico**. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande - MS, 2005.

MENEZES, C.T.; HELLER, L. **Ações De Vigilância da Presença de Agrotóxicos em Águas Superficiais – Como Priorizar?** XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte – MG, 2007

MILHOME, M.A.L.; SOUSA, D.O.B.; LIMA, F.A.F.; NASCIMENTO, R.F. **Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do baixo Jaguaribe, CE**. Artigo Técnico (Engenharia Sanitária Ambiental), v.14, n.3, 2009

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; AMARAL, L.R.; SILVA, A.C.; INACIO, E.M.. **Lixiviação de Clomazone + Ametryn, Diuron + Hexazinone e Isoxaflutole em Dois Tipos de Solo.** Viçosa-MG, v. 26, nº 3, 2008

NOROESTE, jornal. **Uso de agrotóxico na Serra grande.** Sobral, p. 5, ago. 2002.

SANCHES, S.M.; SILVA da, C.H.T.P.; CAMPOS, S.X.; VIEIRA, E.M. **Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água.** Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 13, p. 53-58, jan./dez. 2003.

SAMPAIO, G.M.M.S. **Remoção de metil paration e atrazina em reatores de bancada com fungos.** 2005. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

SILVA, D.R.O. **Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolasno sul do Brasil.** Ciência Rural, v. 39, nº 9, Santa Maria, 2009.

WADE, H.F. **The impact of pesticide use on groundwater in North Carolina.** Journal of Environmental Quality, Madison, v. 27, n. 5, p. 439-444, 1998.