Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

O impacto do uso do solo na contaminação por
agrotóxicos das águas superficiais de abastecimento
público

Denise Piccirillo Barbosa da Veiga

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública para
obtenção de título de mestre em Ciências.**

Área de concentração: Saúde Ambiental

ProfªDrª: Adelaide Cassia Nardocci.

São Paulo

2017

O impacto do uso do solo na contaminação por
agrotóxicos das águas superficiais de abastecimento
público

Denise Piccirillo Barbosa da Veiga

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Saúde Pública para
obtenção de título de mestre em Ciências.**

Área de concentração: Saúde Ambiental

Prof^aDr^a: Adelaide Cassia Nardocci

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação
Biblioteca/CIR: Centro de Informação e Referência em Saúde Pública
Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- Piccirillo Barbosa da Veiga, Denise
- O impacto do uso do solo na contaminação por agrotóxicos das águas superficiais de abastecimento público / Denise Piccirillo Barbosa da Veiga; orientadora Adelaide Cassia Nardocci. -- São Paulo, 2017. 90 p.
- Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2017.
1. Águas superficiais. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Contaminação. 4. Agrotóxicos. I. Cassia Nardocci, Adelaide, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Nenhuma conquista é individual, é sempre um trabalho coletivo e um processo de crescimento que cada pessoa que entra, sai ou permanece em nossa vida nos traz. Preciso agradecer acima de tudo a meus pais, Nadia e Jorge, os quais apesar de todas as dificuldades se desdobraram para que eu e minha irmã pudéssemos estudar. Obrigada a meus pais, pela força, coragem, apoio incondicional e compreensão. Obrigada a minha irmã Debora, pelo companheirismo nessa caminhada, pelos debates e contestações. Também agradeço aos meus familiares que sempre me ajudaram de alguma forma, em especial a minha tia Ligia, meu tio Gilson e aos meus primos por me acolherem em sua casa quando preciso.

Agradeço também a família Cruspiana que se constituiu na graduação e foi de fundamental importância nesses últimos anos. Pelo abraço amigo, os cafés, a divisão das contas, e as risadas mais leves nos momentos difíceis, obrigada à irmã de coração Barbara, à Renata e a pequena Maya, Diógenes, Aline, Saylon, Vitor, Thiago, Eric, Priscila, Viviane e Patrícia. Obrigada às companheiras da Questão Agrária Grazielle e Catia e a todos os amigos queridos que me inspiram mesmo distantes.

Agradeço ao Samuel por me apresentar à Saúde Pública, muito obrigada pela ajuda e abertura dos caminhos. Agradeço a todos os amigos da Saúde Ambiental que fizeram essa caminhada mais tranquila, Sofia, Ximena, Michele, Adeylson, Anne e a todos os professores e funcionários que nos auxiliam. Agradeço ao amigo Rubens, do CVS, sem o qual esse trabalho não seria possível, obrigada pela oportunidade, pelos debates e ensinamentos, e todos os funcionários que nos respaldaram na realização do trabalho. Agradeço ao Arthur Hrast pela disponibilidade e ajuda com o modelo.

Meus agradecimentos aos membros da banca, os professores Francisco Chiaravalloti Neto e Manuel Enrique G. Guandique, Luís Sérgio Valentim e Fábio Netto Moreno por suas recomendações e interesse no trabalho. Agradeço sobremaneira a professora Adelaide pela oportunidade, confiança, orientação, ensinamentos, compreensão e amizade.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fomento à pesquisa, essencial para minha manutenção, dedicação e realização da pesquisa.

Las tierras quedaban tan exhaustas como a los trabajadores: a las tierras les robaban el húmus y a los trabajadores los pulmones, pero siempre había nuevas tierras para explotar y más trabajadores para exterminar. (Eduardo Galeano)

RESUMO

PICCIRILLO, Denise Barbosa da Veiga. O impacto do uso do solo na contaminação por agrotóxicos das águas superficiais de abastecimento público, 2017. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Introdução: A qualidade e quantidade das águas superficiais estão diretamente relacionadas com as atividades econômicas presentes nas bacias hidrográficas e seus níveis de preservação. O aumento no uso de agrotóxicos pode contribuir para a contaminação do solo e da água, sobretudo em bacias hidrográficas agrícolas. A prevenção da contaminação dos mananciais é essencial para garantir a qualidade da água e diminuir os riscos à saúde humana, para tanto é preciso identificar como o uso e a ocupação do solo impactam os recursos hídricos, sua qualidade e seu equilíbrio hidrológico. **Objetivo:** Caracterização ambiental de duas bacias de mananciais de abastecimento público de forma a identificar áreas vulneráveis quanto à contaminação de agrotóxicos. **Método:** Aplicação do modelo hidrológico SWAT para caracterização da bacia e para simulação do ciclo hidrológico. Divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias de acordo com o predomínio da ocupação do solo. Trabalho de campo para identificação de fontes pontuais de contaminação. **Resultados:** Foi verificado o impacto do uso e ocupação do solo no balanço hídrico das bacias. O escoamento superficial foi um dos principais meios de contaminação dos corpos d'água e esteve relacionado a presença de vegetação. Áreas de maior preservação apresentaram menor escoamento superficial enquanto àquelas com predomínio de agricultura e de solo exposto apresentaram valores maiores. A partir desses dados foram identificadas as áreas prioritárias para melhor gestão do uso de agrotóxicos por apresentarem potencial de contaminação dos corpos d'água. **Conclusão:** O modelo SWAT e as ferramentas de geoprocessamento se mostraram adequadas para a caracterização do uso do solo e os resultados fornecem subsídios para melhoria das ações de vigilância da qualidade da água nos municípios.

Palavras-chave: Águas superficiais; Bacias hidrográficas; Escoamento superficial; Contaminação; Agrotóxicos.

ABSTRACT

PICCIRILLO, Denise Barbosa da Veiga. The impact of land use in the contamination of the superficial waters of public supply by pesticides, 2017. Dissertation (Masters degree Public Health) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Introduction: The surface waters quality and quantity are directly related to the economic activities present in the river basins and their levels of preservation. The increase in the use of pesticides can contribute to the contamination of soil and water, especially in agricultural watersheds. Preventing the contamination of water sources is essential to guarantee water quality and reduce risks to human health. Therefore, it is necessary to identify how the land use impacts water resources, their quality and their hydrological balance. **Objective:** Environmental characterization of two watersheds of public supply sources in order to identify vulnerable areas for the contamination of pesticides. **Method:** Application of the SWAT hydrological model for basin characterization and simulation of the hydrological cycle. Division of watershed in sub-basins according to the predominance of the land use. Fieldwork to identify point sources of contamination. **Results:** The impact of land use and occupation on the water balance of the watersheds was verified. Surface runoff was one of the main means of contamination of water bodies and was related to the presence of vegetation in the area. Areas of greater preservation presented lower surface runoff while those with predominance of agriculture and exposed soil showed higher values. Priority areas for better use of agrochemicals were identified because they present potential for contamination of water bodies. **Conclusion:** The SWAT model and spatial tools were adequate for the characterization of land use and the results provide subsidies for the improvement of water quality monitoring actions in municipalities.

Keywords: Surface water; Watersheds; Surface runoff; Contamination; Pesticides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico terrestre esquemático	15
Figura 2 – Modelo Digital de Elevação - cena 21S48_ZN.	28
Figura 3 – Etapas da ferramenta <i>Hidrology</i> para extração da rede de drenagem.....	32
Figura 4 – Fluxograma da metodologia	36
Figura 5 – Divisão das HRU's na bacia de abastecimento de Santa Cruz das Palmeiras	40
Figura 6 – Classificação do uso do solo na bacia de Santa Cruz das Palmeiras	41
Figura 7 – Resultado da simulação hidrológica na bacia de Santa Cruz das Palmeiras.....	43
Figura 8- Resultado da simulação do escoamento superficial por sub-bacia.....	45
Figura 9 – Ciclo da cana-de-açúcar na bacia de abastecimento, 2013, 2014, 2016	45
Figura 10 – Empresa de beneficiamento de laranja e poço de água residual	50
Figura 11- Área das empresas	51
Figura 12 – Posto de recolhimento de embalagens	52
Figura 13 – Divisão das HRUs na bacia de abastecimento de Piedade.....	55
Figura 14- Classificação do uso do solo na bacia de Piedade por HRUs.....	56
Figura 15 – Resultado da simulação hidrológica da bacia de Piedade.....	58
Figura 16 – Registro de campo das plantações em Piedade.....	61
Figura 17 – Instalações de armazenamento dos agrotóxicos.....	61
Figura 18 – Lavadouro de legumes próximo ao rio Pirapora.....	62

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização dos municípios.	27
Mapas 2 e 3 - Declividade de Santa Cruz das Palmeiras e de Piedade	29
Mapa 4 e Mapa 5 – Solos dos municípios de Santa Cruz das Palmeiras e Piedade	30
Mapa 6 – Uso do solo na bacia de abastecimento de Santa Cruz das Palmeiras.....	34
Mapa 7 – Uso do solo na bacia de abastecimento de Piedade.....	34
Mapa 8 – Áreas prioritárias para monitoramento na bacia de contribuição de Santa Cruz das Palmeiras	54
Mapa 9 – Simulação do escoamento superficial por HRU's na bacia de Piedade	58
Mapa 10- Áreas prioritárias para monitoramento na bacia de abastecimento de Piedade.	64

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Resultado da simulação da precipitação para a bacia de Santa Cruz das Palmeiras	42
Gráfico 2 – Quantidade de cada agrotóxico aplicados na cana-de-açúcar	46
Gráfico 3 – Resultado da simulação da vazão e escoamento da bacia e o número de agrotóxicos encontrados nas análises mensais de Santa Cruz das Palmeiras	48
Gráfico 4– Parâmetros hidrológicos (mm) para os dois cenários de uso do solo na bacia de contribuição de Santa Cruz das Palmeiras	49

Gráfico 5 – Resultado da simulação da precipitação para bacia de Piedade	57
Gráfico 6 – Resultado da simulação da vazão e escoamento da bacia e o número de agrotóxicos encontrados nas análises mensais de Piedade	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de solubilidade em água	12
Quadro 2- Classificação de mobilidade.....	12
Quadro 3- Classificação de lipossolubilidade	12
Quadro 4- Classificação de volatilidade	13
Quadro 5 – Classificação de Bioconcentração	13
Quadro 6– Classificação SWAT de uso e ocupação do solo.....	36
Quadro 7 – Agrotóxicos utilizados nas áreas estudadas e suas características ambientais e toxicológicas	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	9
2.1. Objetivo Geral.....	9
2.2. Objetivos específicos	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1. Agrotóxicos e Recursos Hídricos.....	10
3.2. Geoprocessamento e Saúde Ambiental.....	19
4. METODOLOGIA.....	24
4.1. Áreas de Estudo	24
4.2. Elaboração da Base de Dados	28
4.3. Soil Water Assessment Tool – SWAT	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Resultado da Modelagem SWAT – Santa Cruz das Palmeiras.....	40
5.2. Resultado da Modelagem SWAT- Piedade	55
5.3. Discussão dos resultados	69
6. CONCLUSÃO.....	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de agrotóxicos na agricultura foi disseminada em países de todo o mundo, em especial, após a Segunda Guerra Mundial. A indústria química, que até o momento comercializava produtos bélicos, diversificou seus mercados de forma que empresas-subsidiárias, oriundas de grandes grupos químicos, fossem criadas para a produção de agrotóxicos organossintéticos (TERRA, 2007).

No Brasil, a partir de 1945, a mecanização da agricultura e a utilização de agrotóxicos se intensificaram com o intuito de aumentar a produção. Essa mecanização impulsionou incentivos econômicos para que empresas químicas se instalassem no país, como, por exemplo, a Rhodia, que começou a produzir no Brasil o inseticida *parathion* em 1948. Já na década de 1950, o *DDT* começou a ser produzido pelo Instituto de Malariologia, do Departamento Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2003).

Na década de 1960, a Revolução Verde financiada pela Fundação Rockefeller (SILVA, 2010) difundiu, sobretudo nos países da América Latina e nos Estados Unidos da América, um modelo de produção agrícola baseado na monocultura, definida pela mecanização intensa, uso de sementes geneticamente modificadas e excessiva aplicação de agrotóxicos, buscando aumentar a produtividade especialmente de grãos. Nessa mesma época, os problemas ambientais consequentes da utilização dos agrotóxicos nos Estados Unidos da América, a subordinação da terra para produção da agricultura intensiva e os impactos da transformação dos ciclos naturais, foram denunciados pela bióloga estadunidense Rachel Carson em seu livro *Primavera Silenciosa* (1962).

Em menos de dois decênios do seu uso, os pesticidas sintéticos foram tão intensamente distribuídos pelo mundo que eles aparecem virtualmente por toda a parte. Foram encontrados e retirados da maior parte dos grandes sistemas fluviais, e até mesmo de cursos de água que fluem, sem ser vistos por nós, através da terra por vias subterrâneas. (CARSON, 1962, p.25)

No Brasil, em 1975, o II Plano Nacional de Desenvolvimento consolidou a indústria de agrotóxicos através do Programa Nacional dos Defensivos Agrícolas (PNDA) (SOARES, 2010). A busca pelo aumento da produtividade, desde então, vem provocando impactos sociais, ambientais e na saúde. A inserção da monocultura em

todo o país saturou os solos com glifosato, o que traz diversos riscos à vida microbiana e uma consequente infertilidade do solo. Estima-se que em 10 milhões de hectares de cultivos transgênicos são aplicados cerca de 80 milhões de litros de herbicida anuais (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Com a intensificação da agricultura, países em desenvolvimento tendem a ser os maiores consumidores de agrotóxicos movimentando um mercado altamente rentável ao comercializar substâncias banidas em outros países. Até 2016, esse mercado era controlado principalmente por seis grandes grupos transnacionais: Syngenta, Bayer, Basf, Dow, DuPont e Monsanto. No ano de 2016, houve uma reestruturação com características oligopolistas no setor de produção e venda de agrotóxicos; no mês de fevereiro a empresa chinesa ChemChina comprou a Syngenta numa transição de US\$ 43 bilhões¹; em julho a Dow Chemical e a Dupont se fundiram em um só grupo (DowDuPont) com valor de mercado de US\$130bilhões²; e em setembro, a Bayer adquiriu a Monsanto por US\$ 66 bilhões³.

A aplicação de agrotóxicos está inserida em diversos modelos de produção e de propriedades, ainda que o uso aumente com o tamanho do domínio territorial. Segundo o Censo Agropecuário do Brasil (IBGE, 2006), das pequenas propriedades (até 10 hectares), 27% consumiam agrotóxicos; nas médias propriedades (até 100 hectares), 36% utilizavam agrotóxicos; enquanto que nas grandes propriedades (acima de 100 hectares), 80% aplicavam agrotóxicos.

Os dados disponíveis no Relatório de Comercialização de Agrotóxicos do IBAMA⁴ mostram que, no ano de 2000, a região Sudeste comercializou 58.783 toneladas de princípios ativos, sendo que 41.795 toneladas foram comercializadas pelo estado de São Paulo – o qual alterna com o Mato Grosso a posição de maior consumidor de agrotóxicos no país. Essa quantidade apresentou crescimento em todos os anos e em 2014 atingiu 110.818 toneladas comercializadas na região Sudeste.

O aumento na aplicação e consumo de agrotóxicos vem preocupando pesquisadores de diversas áreas, uma vez que essa questão não atinge exclusivamente o meio ambiente, mas também a saúde de toda vida selvagem e humana através da

¹ http://brasil.elpais.com/brasil/2016/02/03/economia/1454504746_043900.html. Acesso: 05/02/2016

² <http://www.valor.com.br/empresas/4640739/acionistas-da-dow-chemical-e-dupont-aprovam-fusao-de-us-130-bilhoes> . Acesso: 20/09/2016

³ <http://www.valor.com.br/agro/4709299/bayer-compra-monsanto-por-us-66-bilhoes> Acesso:20/09/2016

⁴ http://dados.contraosagrototoxicos.org/pt_PT/dataset/comercializacao-ibama-2014 em 15/01/2017

contaminação direta ou indireta. As diferentes formas de exposição são retratadas em estudos nacionais e internacionais.

A contaminação direta caracterizada pela intoxicação aguda e crônica é mais recorrente em trabalhadores rurais. Diversos estudos têm se debruçado sobre esses casos, registrando entre os efeitos mais comuns: problemas no fígado e no sistema nervoso central; problemas nos sistemas cardiovascular e reprodutivo, com evidências de alteração endócrina; problemas nos olhos, rins, e aumento no risco de câncer (FERNANDES NETO; SARCINELLI, 2009). Existem estudos de acompanhamento dos casos de intoxicação por agrotóxicos e seus agravos, sobretudo nas regiões agrícolas dos Estados Unidos da América (KAMEL *et.al*, 2004; DE ROOS *et. al*, 2005; CALVERT *et. al*, 2008; QUANDT *et. al*, 2010).

Quanto às vias de exposição indireta, podem ser citadas aquelas que ocorrem através do solo, do ar (via pulverização) e principalmente através do consumo de alimentos e água contaminados. Há diversos estudos que tanto apontam para o problema dos alimentos contaminados (CARVALHO, 2006; JARDIM *et.al*, 2009, CRUZ, 2014) como se dedicam a novas metodologias para a diminuição dos resíduos de agrotóxicos em alimentos (PRASAD *et.al*, 2006; GILBERT-LÓPES *et.al*, 2009; GUO *et.al*, 2013; CARMO *et. al*, 2016).

Também em relação aos alimentos, no Brasil em 2001, foi criado o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos (PARA)⁵ sob-responsabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os últimos resultados disponíveis (2013-2015) correspondem às análises de 232 agrotóxicos em 12.051 amostras coletadas no mercado varejista de 25 tipos de alimentos. Os resultados revelam que 38,3% das amostras foram satisfatórias, apresentaram resíduos de agrotóxicos abaixo do limite máximo permitido e 19,7% foram insatisfatórias (com substância não autorizada para a cultura, e/ou acima do limite máximo permitido). Dessa forma é possível inferir que no total, 58% das amostras coletadas havia algum resíduo de agrotóxicos. De todas as análises, 134 princípios ativos foram detectados, e os mais presentes entre aqueles resultados de substâncias irregulares foram *acefato*, *carbendazim* e *clorpirifós*.

Ademais dos alimentos contaminados, a população também pode estar exposta a essas substâncias através do consumo da água. A ocorrência de agrotóxicos e

⁵ <http://portal.anvisa.gov.br/programa-de-analise-de-registro-de-agrotoxicos-para>

fertilizantes é a segunda causa de contaminação das águas superficiais no Brasil, atrás do lançamento de esgoto doméstico (ANVISA, 2010). De todos os impactos que a utilização dos agrotóxicos provoca no meio ambiente, e consequentemente na saúde humana, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas tende a ser um dos mais preocupantes, tanto por sua capacidade de transportar essas substâncias para além das áreas de aplicação e atingir um número maior de pessoas através do abastecimento público de água, como por suprimir espécies aquáticas e degradar os recursos hídricos (PERES; MOREIRA, 2003).

As águas superficiais podem ser contaminadas pelos agrotóxicos através da erosão e lixiviação de solos contaminados, pelo processo de deriva de pulverizações aéreas, pelo descarte e lavagem irregular das embalagens e pelo escoamento superficial. O escoamento superficial pode ser definido por água e qualquer matéria dissolvida ou suspensa que escoa por um terreno ou uma sub-bacia hidrográfica, nesse escoamento encontram-se partículas dissolvidas em suspensão ou mesmo agrotóxicos adsorvidos nessas partículas (SOARES, 2011).

Em todo o estado de São Paulo, é utilizado o tratamento convencional da água de abastecimento público. Esse tratamento tem baixa eficiência de remoção dos agrotóxicos da água, dessa forma, em alguns casos são associados outros tipos de tratamento, os quais apresentam vantagens e desvantagens sendo efetivos para algumas substâncias e não para outras. Entre os mais utilizados, estão: adição de polímeros, pré-oxidação, inter-oxidação, adsorção em carvão ativado pulverizado e carvão ativado granular. Este último foi utilizado em muitos sistemas de tratamento de água na Inglaterra e tem sido efetivo na redução de agrotóxicos como *acetanilida*, *triazina*, e *2,4D*, (GORZA, 2012).

Contudo, devido à heterogeneidade das características físico-químicas dos agrotóxicos, o tratamento escolhido pode não remover todas as substâncias presentes na água, ou remover parcialmente. No caso, por exemplo, da pré-oxidação com cloro ou com ozônio é comum a geração de subprodutos degradados, também tóxicos à saúde humana (GORZA, 2012; SOARES, 2011).

Para avaliar o potencial de contaminação dos agrotóxicos nos mananciais de abastecimento, é preciso considerar todos os meios pelos quais as substâncias podem atingir os corpos d'água, identificar seu comportamento ambiental e características

físico-químicas, estudos de monitoramento em campo, coletas e análises de solo e de água em diversos períodos.

Esse processo pode exigir disponibilidade em médio/longo prazo de uma equipe técnica qualificada e recursos financeiros elevados, indisponível muitas vezes em pequenos e médios municípios. Contudo, como alternativa de avaliação de contaminação do manancial é muitas vezes mais viável a identificação de compartimentos vulneráveis, com maior potencial de contaminação das águas superficiais (SOARES, 2011). Com a identificação dessas áreas e o conhecimento do comportamento ambiental das substâncias presentes é possível determinar pontos prioritários de monitoramento e mesmo de redução da aplicação de agrotóxicos.

Visando à qualidade da água e, portanto, apontando a necessidade de uma visão integrada da bacia de abastecimento, o Plano de Segurança da Água (BRASIL, 2012), em consonância com o *Guidelines for Drinking-Water Quality* da Organização Mundial da Saúde (OMS), apresenta uma metodologia para avaliação e gerenciamento dos riscos à qualidade da água presentes na bacia hidrográfica, traz um conjunto de ações que buscam a prevenção da contaminação dos mananciais de abastecimento salientando a importância de considerar as particularidades dos diversos sistemas produtores (VALENTIM, 2015).

A prevenção da contaminação dos mananciais é essencial para melhorar a qualidade da água e diminuir os riscos à saúde humana. O princípio da prevenção é pautado pela ação antecipada, ou seja, é necessário que os órgãos responsáveis pela qualidade da água tenham conhecimento e informações sobre a área, das substâncias presentes e do potencial de contaminação das águas de abastecimento de modo a preveni-la.

No Brasil, o monitoramento da qualidade da água e as ações preventivas estão sob a competência das Vigilâncias Sanitárias municipais (Lei Orgânica da Saúde 8.080/90 e Lei 8.142/90 sobre a descentralização da gestão e das políticas em saúde no país, um dos princípios organizativos do SUS). Os procedimentos de controle e vigilância bem como os parâmetros para a potabilidade da água estão sob as determinações da Portaria MS nº 2.914/2011⁶.

⁶ Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Portaria MS nº 2.914/2011. Anexo XII.

No estado de São Paulo, o controle e análises da qualidade dos mananciais de abastecimento público são responsabilidades da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) assim como manter sistemas de informações e divulgação de dados sobre o nível de poluição dessas águas (Lei nº 118/1973).

Combinado a esses procedimentos, o Ministério da Saúde (BRASIL, 2014) ainda indica a necessidade da elaboração de um plano de monitoramento de agrotóxicos o qual deve ocorrer de forma conjunta entre a Secretaria de Saúde do Estado e as Secretarias Municipais de Saúde.

A elaboração do plano de monitoramento permite considerar as especificidades locais e, por conseguinte, priorizar municípios com maior probabilidade de ocorrência de agrotóxicos na água de consumo humano, por exemplo, aqueles abastecidos por mananciais cuja bacia de contribuição apresenta uso (ou histórico de uso) intenso de agrotóxicos. (BRASIL, 2014, p.13).

Esse plano de monitoramento de agrotóxicos deve auxiliar as atividades de vigilância para que se cumpram os parâmetros de potabilidade da água de consumo humano estabelecidos pela Portaria MS nº 2.914/2011. Para as análises de agrotóxicos, a portaria recomenda que amostras de água sejam coletadas no mínimo uma vez a cada seis meses na saída do tratamento, salientando que para um monitoramento mais efetivo as características da bacia hidrográfica do manancial de contribuição bem como a sazonalidade das culturas⁷ devem ser consideradas.

No entanto, ainda que a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e a Portaria MS nº 2.914/11 aponte para a necessidade de estudos das áreas de abastecimento e o monitoramento direcionado de acordo com as características regionais, isso não acontece atualmente, sendo executado somente o monitoramento semestral de agrotóxicos para as 28 substâncias previstas na Portaria em todos os municípios. Dessa forma, segundo Mario Junior (2013), o monitoramento realizado hoje não considera a complexidade de fatores que influenciam a presença ou ausência das substâncias na água, como o comportamento no ambiente, tipo de aplicação, quantidade e frequência aplicada, sazonalidade do uso, localização das culturas, tipo de solo, entre outros.

⁷ Portaria MS nº 2.914/2011 Parágrafo 5º, Art 41.

A ocorrência de agrotóxicos nas águas superficiais de abastecimento está também associada ao desconhecimento tanto de suas propriedades físico-químicas como do próprio meio no qual são aplicados. De modo que para se buscar a segurança da água é preciso, *a priori*, identificar nas bacias ou sub-bacias hidrográficas as áreas de maior contaminação, considerando, portanto, aspectos geográficos regionais, como declividade do relevo, uso e ocupação do solo, índices pluviométricos, além dos modos de aplicação e das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos utilizados na área da bacia.

A qualidade e quantidade das águas superficiais estão diretamente relacionadas com as atividades econômicas presentes nas bacias hidrográficas e seus níveis de preservação. Bacias hidrográficas que possuem mata ciliar ao longo de seus rios e áreas preservadas de vegetação natural apresentam resultados de qualidade da água melhores que aquelas ocupadas por agricultura intensiva e áreas degradadas (CONNOLLY *et.al*, 2015). A vegetação ripária, ou mata ciliar, corresponde à vegetação que se concentra à margem de rios, lago, igarapés e olhos d'água e realiza a função de proteção dessas águas, evita o escoamento excessivo de água e de sedimentos para os corpos d'água bem como a preservação de corredores ecológicos.

Os estudos que priorizam as análises hidrológicas buscam compreender como o uso do solo, as alterações regionais do clima e/ou presentes em determinada bacia hidrográfica podem impactar a produção de sedimentos, o balanço hidrológico e a contaminação dos cursos d'água (BONUMÁ *et. al*, 2015). Para tanto, técnicas de geoprocessamento, como modelagem hidrológica, mapeamento de uso e ocupação do solo podem contribuir para criar modelos de exposição e de monitoramento dos agrotóxicos e outros contaminantes no ambiente. As ferramentas de geoprocessamento são capazes de trabalhar com informações matriciais, vetoriais e numéricas retratando, portanto, variáveis dependentes umas das outras como é o caso dos sistemas ambientais.

As análises baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são importantes para os estudos epidemiológicos e de saúde ambiental porque podem identificar as rotas de exposição, tempo e população impactada (CROMLEY *et. al*, 2002). Os modelos hidrológicos e biogeoquímicos aplicados nos limites de uma bacia hidrográfica são essenciais para se compreender os impactos e riscos potenciais não só

das transformações no uso do solo, como também da aplicação de agrotóxicos e outras substâncias tóxicas presentes na bacia (ARMAS, 2006).

Os estudos de caracterização das bacias hidrográficas que utilizam a ferramenta de geoprocessamento podem contribuir para o planejamento e gestão dos recursos hídricos visando à manutenção e melhoria da qualidade da água, sobretudo quando destinada ao consumo humano, de modo que seja possível também planejar de forma mais efetiva os períodos e frequências das análises de água resultando em um monitoramento menos custoso e mais efetivo.

Assim, esse trabalho tem por objetivo caracterizar o uso do solo e, a partir da dinâmica hidrológica, identificar as áreas potenciais da contaminação por agrotóxicos da água superficial de abastecimento público de dois municípios no estado de São Paulo, com a finalidade de subsidiar as ações de vigilância da qualidade da água de consumo humano.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Caracterização ambiental de duas bacias hidrográficas cujos mananciais superficiais são utilizados para abastecimento público no estado de São Paulo de modo a identificar as áreas críticas da contaminação por agrotóxicos, subsidiar ações de avaliação de riscos e estabelecer subsídios para a gestão da qualidade da água.

2.2. Objetivos específicos

- Mapear as bacias de contribuição dos pontos de captação de água superficial destinadas ao abastecimento público.
- Mapear as culturas agrícolas nas respectivas bacias delimitadas, identificando os agrotóxicos utilizados.
- Analisar as características hidrológicas, tipo de solo, relevo, presença de mata ciliar das bacias a fim de propor medidas de vigilância de agrotóxicos nessas áreas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Agrotóxicos e Recursos Hídricos

O crescimento da produção de grãos, em especial da soja e do milho, estimulados pela modernização da agricultura aumentou o consumo de agrotóxicos. A expansão da lógica capitalista industrial no campo se deu, sobretudo, pela produção e exportação de *commodities*. Esse processo contou com o financiamento do Estado a partir de subsídios fiscais que contribuíram na disseminação do uso de sementes modificadas, agrotóxicos e fertilizantes, juntamente com a criação de instituições técnicas e de pesquisa, como a EMBRAPA (STOTZ, 2007).

Ao longo dos anos, o maior crescimento no consumo aconteceu na década de 1980, quando ocorreu um aumento de 300% em relação à década anterior (TERRA, 2007). A partir de 2008, o Brasil se tornou o maior consumidor de agrotóxicos no mundo, com uma taxa de crescimento nas importações de princípios ativos de 400% e uma média de aplicação de 5 kg/hectare cultivado (CARNEIRO, 2015).

O termo *agrotóxico* abrange uma variedade de produtos com tipos e finalidades distintas, de forma que herbicidas, praguicidas, fungicidas, inseticidas entre outros, são produtos que estão nele contemplados. Essas substâncias podem ter tanto origem biológica quanto serem resultantes de preparações químicas de ingredientes ativos e inertes, como solventes, e impurezas tóxicas, como as dioxinas (WHO, 1990).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) utiliza comumente o termo *pesticida* e o define como sendo compostos químicos usados para a eliminação de pragas, insetos, roedores, fungos e plantas indesejáveis (“ervas daninha”). Também podem ser utilizados no controle de vetores de doenças, como mosquitos, contudo são potencialmente tóxicos para o meio ambiente e para os seres humanos⁸. No Brasil, a Lei 7.802 de 1989⁹, em seu artigo 2º, define agrotóxicos e afins como sendo:

[...] os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da

⁸ <http://www.who.int/ipcs/poisons/pesticides/em>. Acesso:26/04/2016

⁹ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm . Acesso:26/04/2016

fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos [...] substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento.

O termo agrotóxico será utilizado assim para se referir a todos os produtos e substâncias que serão abordados na pesquisa, evitando, portanto, os termos como *pesticidas, praguicidas, defensivos agrícolas* ou *produtos fitossanitários*.

O processo de autorização e registro de agrotóxicos no Brasil envolve o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério da Saúde (MS) através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), responsáveis pela avaliação e classificação toxicológica e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), responsável pela avaliação e classificação da periculosidade ambiental, as quais são realizadas a partir dos testes e estudos físico-químicos realizados pelas empresas interessadas em registrar seus produtos.

A ANVISA utiliza os critérios de classificação toxicológica¹⁰ para os agrotóxicos seguindo os parâmetros internacionais (OMS) de dosagem letal (DL), e determina que a classificação da substância esteja identificada no rótulo do produto, como Classe I- Extremamente Tóxico (rotulagem vermelha); Classe II – Altamente Tóxico (rotulagem amarela); Classe III – Medianamente Tóxico (rotulagem azul); Classe IV- Pouco Tóxico (rotulagem verde). Além da classificação toxicológica e seus riscos à saúde os agrotóxicos recebem uma classificação quanto a sua periculosidade ambiental, ou seja, quanto ao seu perigo de contaminação do meio ambiente. O IBAMA utiliza os estudos realizados pelas empresas fabricantes para cada produto e cria uma seleção de acordo com parâmetros de transporte, persistência, bioconcentração e ecotoxicidade atribuindo valores de 1 a 4 de acordo com seu potencial.

O comportamento dos agrotóxicos no meio ambiente depende de algumas características físico-químicas apresentadas a seguir. A solubilidade em água (WS) refere-se à quantidade máxima de uma substância que pode ser dissolvida em um litro de água. Quando uma substância apresenta alta solubilidade, possui maior probabilidade de se transportar do solo para a água, enquanto que substâncias com baixa solubilidade possuem um risco menor de contaminação da água, permanecendo no solo. Dessa forma, as substâncias recebem classificação de solubilidade segundo a USEPA (2012).

¹⁰ <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home/agrotoxicotoxicologia>

Quadro 1 – Classificação de solubilidade em água

Solubilidade em água (mg/L)	Classificação USEPA
>10.000	Muito solúvel
>1.000 - 10.000	Solúvel
>100 - 1.000	Solubilidade moderada
> 0,1 – 100	Ligeiramente solúvel
< 0,1	Solubilidade desprezível

O Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico (K_{oc}), ou coeficiente de adsorção estima a tendência de uma substância ser adsorvida pelo solo ou sedimentos, essa tendência independe das características do solo. Quando uma substância apresenta um valor de K_{oc} alto, seu comportamento tende a ser o de fixação do solo, com baixa mobilidade para a água (SANTOS, 2015).

Quadro 2- Classificação de mobilidade

Coeficiente K_{oc}	Classificação USEPA
> 4,5	Sorção muito forte ao solo
3,5-4,4	Sorção forte ao solo
2,5-3,4	Sorção moderada
1,5-2,4	Baixa sorção
<1,5	Sorção desprezível

O Coeficiente de Partição Octanol/Água (K_{ow}) estima a tendência de uma substância em se distribuir entre o octanol e a água. Também se refere à tendência de se concentrar em tecidos lipídicos e adsorver ao solo ou sedimento (SANTOS, 2015). Substâncias com valores K_{ow} altos possuem uma tendência maior em se bioacumular nos solos, sedimentos e biota, enquanto que substâncias com baixos valores de K_{ow} podem se distribuir mais facilmente na água e no ar.

Quadro 3- Classificação de lipossolubilidade

Log de K_{ow}	Classificação USEPA
<1	Altamente solúvel em água (hidrofílico)
>4	Pouco solúvel em água (hidrofóbico)
>8	Difícilmente biodisponível
>10	Não biodisponível

A Constante da Lei de Henry (HLC) considera a solubilidade, a pressão de vapor e o peso molecular para indicar o grau de volatilidade de uma substância em uma solução na água ou no ar (SANTOS, 2015). Quando uma substância apresenta o valor de pressão de vapor alto em relação a sua solubilidade em água, sua HLC será alta, ou seja, indica que pode se evaporar mais facilmente pelo ar.

Quadro 4- Classificação de volatilidade

HLC (atm-m³/mol)	Classificação USEPA
$> 10^{-1}$	Muito volátil a partir da água
10^{-1} a 10^{-3}	Volátil a partir da água
10^{-3} a 10^{-5}	Moderadamente volátil a partir da água
10^{-5} a 10^{-7}	Ligeiramente volátil a partir da água
$<10^{-7}$	Não volátil

A Meia-Vida por hidrólise indica o tempo em que uma substância pode permanecer nos cursos d'água após sua aplicação. Aponta, portanto a degradação das substâncias e pode variar de acordo com o pH do meio (SANTOS, 2015). O Fator de bioconcentração (BCF) refere-se à tendência de uma substância em se acumular em um organismo a partir da água. De maneira geral, uma substância que apresenta alto valor de K_{ow} também possui alto fator de bioconcentração.

Quadro 5 – Classificação de Bioconcentração

BCF	Classificação USEPA
> 5.000	Alto potencial de bioconcentração
$1.000 - 5.000$	Moderado potencial de bioconcentração
<1.000	Baixo potencial de bioconcentração

Dessa forma, após a análise dos parâmetros, os produtos recebem uma classificação ambiental sendo identificados como: Classe I – Produto altamente perigoso ao meio ambiente; Classe II - Produto muito perigoso ao meio ambiente; Classe III - Produto perigoso ao meio ambiente e Classe IV – Produto pouco perigoso ao meio ambiente. Assim, de acordo com as formulações e concentração, os diferentes tipos de agrotóxicos possuem riscos distintos de contaminação ambiental e de agravos à saúde humana.

O uso excessivo de agrotóxicos ao longo dos anos compromete a qualidade dos alimentos, do solo e dos recursos hídricos. As evidências de associação destas formas de exposição com efeitos à saúde são mais difíceis de serem obtidas, pois nesses casos há influência de outras variáveis de confusão. Contudo, recentemente, a preocupação da sociedade com esses efeitos e os estudos científicos tem se intensificado, tanto no que se refere ao monitoramento da contaminação ambiental, à redução e ou minimização das fontes de exposição quanto aos estudos sobre efeitos à saúde em baixas doses. Um estudo realizado pelo departamento de Pediatria Neonatal da Universidade de Medicina de Indianápolis, EUA, investigou e encontrou associação entre o aumento de problemas de saúde em recém-nascidos e concentração de *atrazina* na água de consumo durante o período de gestação (WINCHESTER *et.al*, 2009).

Crescentes estudos (HAYES *et.al* 2010; BRODY *et.al* 2014; CHAGURI *et.al* 2016; GIULIVO *et.al* 2016) têm se dedicado em investigar a associação entre problemas de saúde (cânceres dos sistemas reprodutivos, nascimentos prematuros, alterações hormonais, queda na fertilidade, entre outros) e a exposição em baixas doses de substâncias reconhecidas como interferentes endócrinos, essas substâncias agem no organismo de forma a alterar as funções e interações hormonais, e não possuem um limiar seguro de exposição. Muitos agrotóxicos possuem essas características (*endosulfan*, *metolacoloro*, *profenofós*, *tebutiuron*, *prometrina* entre outros).

Os agrotóxicos são considerados os contaminantes mais comuns em águas superficiais (ARMAS, 2006) e para entender porque isso acontece é preciso conhecer o comportamento ambiental e as características físico-químicas de cada substância além dos processos hidrológicos, presentes nas bacias hidrográficas, a partir dos quais os agrotóxicos e outras substâncias químicas podem atingir os corpos d' água.

Dessa maneira, para estudos ambientais, a bacia hidrográfica precisa ser considerada em sua totalidade uma vez que ela representa um sistema indissociável envolvendo solo, relevo, cobertura vegetal e drenagem, esta constituída por corpos d' água conectados que se direcionam para o mesmo ponto final de escoamento. Faz-se necessário, portanto, conhecer as características desses compartimentos combinados com as atividades econômicas ali inseridas, (ROSS, 1998).

Acerca da importância da análise do solo em uma bacia hidrográfica e a organização de sua ocupação para contaminação dos corpos d'água, Resende *et.al*

(2007) explicam como os agrotóxicos podem contaminar as águas superficiais por processos de erosão do solo, lixiviação, carregamento de sedimentos que podem contaminar inclusive águas subterrâneas.

Os processos de transporte de contaminantes e sedimentos em uma bacia hidrográfica se realizam a partir do ciclo hidrológico em sua fase terrestre (Figura 1). A principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre é a precipitação (chuva, neve, granizo). No Brasil, a fonte de entrada de água em uma bacia hidrográfica é a chuva que, mesmo antes de atingir o solo, já possui uma parte interceptada pela cobertura vegetal. Ao atingir o solo, a água é infiltrada até a capacidade de saturação do solo, parte dessa infiltração também é absorvida pela cobertura vegetal através de suas raízes que devolve umidade à atmosfera pela transpiração. O excedente de água não infiltrado no solo, desloca-se pela bacia através do escoamento (TUCCI,1993).

Figura 1 – Ciclo hidrológico terrestre esquemático

Fonte: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br> (2017)

Os escoamentos são divididos em superficial (fluxo sobre a superfície do solo e canais), subsuperficial (fluxo junto a raízes da cobertura vegetal) e subterrâneo (contribuição do aquífero). Os escoamentos superficial e subterrâneo são responsáveis pela maior parte de água escoada na bacia. O escoamento superficial é direcionado, através da gravidade, para os níveis mais baixos da bacia, e forma-se em pequenos filetes de água que moldam a superfície, podendo carregar partículas de solo e deslocar sedimentos afetando o uso e a conservação dos cursos d'água (TUCCI,1993).

Dessa forma, todos os processos físico-químicos e as atividades antrópicas presentes na bacia hidrográfica podem impactar a qualidade e a disponibilidade de água. Nesse sentido, priorizar as análises ambientais em bacias e microbacias hidrográficas é uma estratégia eficiente para gerar tecnologia regionalizada, difundir as práticas de manejo de solo e culturas, conservar os recursos naturais e a qualidade da água, além de contribuir para um desenvolvimento municipal e regional (MORO, 2005).

Priorizando as unidades hidrográficas para análise de contaminação, Sudo *et.al.*(2002), verificaram altas concentrações de agrotóxicos na bacia do Lago Biwa, no Japão, ocupada majoritariamente por plantações de arroz. A partir de seis pontos de monitoramento, os autores relatam que os afluentes do rio principal foram os que apresentaram concentrações mais altas de contaminantes.

Com o objetivo de quantificar o risco de contaminação à vida aquática de uma bacia no sudoeste da França, Faggiano *et al.*(2010) monitoraram a qualidade da água em quatro pontos da bacia e concluíram que os cursos d'água com áreas agrícolas e de pastagens em sua cabeceira apresentaram o maior risco de contaminação por agrotóxicos. Também priorizando as águas superficiais, Schwarzenbach *et al.*(2010) ao tratarem da contaminação da água por agrotóxicos apontaram as dificuldades de se quantificar e monitorar o uso dessas substâncias nas águas superficiais, uma vez que estão sujeitas a variações de ordem temporal e espacial. Os autores também citam a importância de monitorar pontos específicos com risco de aporte de agrotóxicos para águas superficiais incluindo pontos de armazenamento e distribuição dessas substâncias.

O impacto da agricultura na qualidade da água foi analisado por Connolly *et.al* (2015) em uma sub-bacia hidrográfica na Austrália. Os autores verificaram que na mesma área a qualidade da água bem como a concentração de nitrato, variou ao longo dos rios. Essa variação foi atribuída à presença de mata ciliar e ao nível de conservação

da vegetação na bacia. Um estudo realizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (GILLIOM, 2007) identificou que os agrotóxicos encontrados nas águas superficiais, eram os mais utilizados na agricultura da região:

Os herbicidas mais utilizados na agricultura (atrazina, metolacoloro, cianazina, alacloro e acetocloro) foram detectados com maior frequência e nas maiores concentrações em cursos de água em áreas agrícolas onde seu uso foi maior, particularmente no Cinturão do Milho, (GILLIOM, 2007, p.3413).

Carneiro (2015) traz um levantamento de diversos estudos realizados no Brasil acerca da contaminação das águas superficiais devido às atividades agrícolas. Entre eles, um estudo feito pela EMBRAPA em cultura de manga e uva no Vale do Rio São Francisco, no qual foram encontrados na água: *acefato*, *dimetoato*, *diuron*, *fenarimol*, *fosetil*, *metalaxil*, *metamidofós*, *metidation*, *metomil*, *monocrotofós*, *tebuconazole*, *triclorfon*, *paclobutrazol*, *ploclozaz* e *glifosato*.

Na região sudeste do Brasil, diversos estudos apontam para a contaminação ambiental por agrotóxicos e abordam a dificuldade para se evitar a contaminação das águas de consumo humano. Peres e Moreira (2007) descrevem a utilização de agrotóxicos na região serrana do estado do Rio de Janeiro e a contaminação ambiental dessas áreas, com evidências da diminuição da vida aquática, intoxicação de trabalhadores rurais e problemas de saúde devido à exposição da população às substâncias como *permetrina*, *lindano*, *ethl-paratlon*, *malation*, *carbaril* e *metoprene*.

Sobre os riscos de contaminação ambiental, Soares e Porto (2007) além de analisarem a questão do “custo x benefício” em se optar pelo uso dos agrotóxicos demonstraram como as monoculturas, sobretudo as de soja, milho e cana-de-açúcar, são as principais fontes de contaminação do solo e da água na região do cerrado brasileiro. Mario Junior (2013) apresenta um levantamento dos agrotóxicos mais comercializados a partir das culturas mais relevantes, em área plantada, no estado de São Paulo. O autor identificou 86 agrotóxicos prioritários para vigilância em águas de abastecimento público destinadas ao consumo humano.

Embora há muito tempo proibidos, o estado de São Paulo ainda apresenta, tanto no solo quanto na água, compostos organoclorados (*2,4D*, *DDT*, *endossulfan*, *lindano* entre outros) utilizados anteriormente na cultura de café, principalmente na região de Ribeirão Preto. Os maiores valores e ocorrências, contudo, foram observados

em córregos situados em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sugerindo que mesmo após a proibição eles continuam sendo utilizados (GOMES, 2014).

A aplicação de agrotóxicos no meio ambiente é uma ação intencional de contaminação, uma atividade que busca propositadamente afetar ou interromper o desenvolvimento de uma planta ou de uma vida selvagem como insetos, por exemplo. Por isso, a diversidade de substâncias aplicadas e presentes no meio ambiente pode impactar o desenvolvimento de outras espécies, não apenas o alvo. Além disso, pode ser também extremamente tóxico para vida humana.

3.2. Geoprocessamento e Saúde Ambiental

A geografia pode contribuir para os estudos da saúde de diversas formas, tanto para identificar padrões de distribuição de doenças e as condições socioambientais a que estão vinculadas, como para identificar fontes poluidoras, que podem estar relacionadas ao aparecimento de determinadas doenças. Esses estudos precisam considerar os aspectos geográficos, como características ambientais de clima, solo e relevo, bem como a organização do território, suas atividades e as condições econômicas da população.

Entre as contribuições da geografia, uma ferramenta se destaca nos estudos de saúde ambiental e de epidemiologia. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é constituído por um conjunto de *softwares* de análise espacial, dados estatísticos e informações sobre as características da população e da área estudada. Estudos que buscam avaliar a associação entre a exposição ambiental de substâncias tóxicas e os impactos na saúde humana consideram o SIG como uma ferramenta essencial para esse objetivo, permitindo determinar populações com alta exposição às substâncias prejudiciais à saúde quando combinado ao sensoriamento remoto (KAMINSKA, 2004).

O SIG também é muito utilizado para análises de áreas contaminadas e o transporte de compostos químicos desses ambientes para os corpos d'água. Nesse tipo de análise, é preciso considerar a associação entre a fonte de contaminação, sua rota de exposição e a conexão com a população atingida para então sugerir alguma associação entre essa fonte poluente e o risco de incidência de doenças na população exposta, o que alguns autores denominam de plausibilidade geofísica, (NUCKOLS *et.al*, 2004).

Além das ferramentas básicas do geoprocessamento, é possível combinar análises de sensoriamento remoto a partir da disponibilidade de imagens de satélites. A fim de entender a variação e alteração na quantidade e qualidade da água e da saúde do ecossistema, Forney *et al.* (2001) utilizaram de mapeamento temporal do uso do solo por sensoriamento remoto com imagens do satélite LANDSAT e concluíram que o crescimento da urbanização e consequentemente diminuição da mata ciliar foram determinantes para as alterações na qualidade da água do lago Tahoe, Califórnia.

Dessa forma, para estudos de exposição a agrotóxicos via águas superficiais, por exemplo, não basta apenas criar um *buffer*, ou seja, um raio de abrangência a partir

do ponto de aplicação da substância e considerar apenas a população inserida nesse raio, mas sim considerar a direção de fluxo dos cursos d'água para identificar a rota de exposição e a população abastecida por esse manancial, (VINE *et.al*, 1997).

Recentemente, a aplicação de modelos matemáticos que conversam com a interface de *softwares* de análise espacial vem contribuindo para análises mais acuradas, geração de cenários futuros, simulações de mudança na organização do território e dos aspectos ambientais e suas consequências.

Os modelos hidrológicos possuem funcionalidades e lógicas distintas e são comumente divididos em quatro grupos: (1) modelos distribuídos, em que os parâmetros variam no tempo, segundo um espaço geográfico, utilizando-se para representá-los equações diferenciais parciais com mais de uma variável independente; (2) modelos determinísticos, em que para uma mesma entrada, o sistema produz sempre a mesma saída; (3) Modelos discretos ou contínuos, quando os fenômenos são contínuos no tempo e quando se dão em intervalos determinados, são denominados discretos; (4) modelos conceituais ou empíricos, conceitual quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos e empíricos quando ajustam os dados calculados aos observados através de funções empíricas, mas que estão relacionadas com a física do sistema, (MORO, 2005).

Para diferentes tipos de análises ambientais, incluindo a de exposição e contaminação da água por agrotóxicos, muitos estudos utilizam programas de modelagem matemática, e entre os mais comumente utilizados está o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), uma ferramenta gratuita desenvolvida pelo departamento de Engenharia Agrícola na *USDA-Agricultural Research Services*, Texas, EUA.

Na década de 1970 com o surgimento da Lei Águas Limpas, nos EUA, cientistas iniciaram a elaboração de diferentes modelos hidrológicos para a simulação da produção hídrica e qualidade da água. No final da década de 1980 a partir das demandas da Secretária de Assuntos Indígenas, que necessitava de estudos sobre o fluxo dos cursos d'água em extensas bacias e o impacto das atividades econômicas presentes nas áreas, visando à qualidade e quantidade da água o SWAT foi desenvolvido (NEITSCH *et.al*, 2011).

O SWAT é um modelo conceitual desenvolvido com o objetivo de prever os impactos do uso e ocupação do solo visando o gerenciamento dos recursos hídricos.

A partir do fluxo do canal principal de uma bacia, o modelo é capaz de dividir a área em sub-bacias e simular fontes pontuais de contaminação e produção de sedimentos ao longo do rio principal e de movimentação de agrotóxicos. O modelo também simula análises de influências no ciclo hidrológico a partir das alterações de clima, sedimentação, temperatura do solo, crescimento vegetal, nutrientes e técnicas de cultivo (ARNOLD *et.al*, 1998).

Essa ferramenta também pode ser utilizada como um complemento no *software* ArcGIS, e recentemente no *software* livre QGis, e combina as informações espaciais da área de interesse com os parâmetros das substâncias que se pretende investigar. Os modelos hidrológicos conseguem prever o impacto que o uso e a ocupação do solo podem provocar na qualidade e quantidade de águas superficiais e subterrâneas, além de ser possível gerar cenários com usos de solo hipotéticos de forma que seja possível testar os impactos tanto da aplicação de práticas conservacionistas quanto de degradação intensa dessas áreas (BALDISSERA, 2005).

A literatura ressalta que, por ser um modelo semi-mecânico é possível aplicar o SWAT em bacias ainda sem monitoramento para análises de balanço hidrológico, embora suas análises sejam melhores para bacias monitoradas em longo prazo. Assim, é possível identificar os pontos críticos dentro da bacia e prever o momento em que determinado indicador de qualidade da água possa apresentar valores mais preocupantes (ANDREOLI, 2003).

Para tanto, o modelo necessita de informações sobre o clima, solo, topografia, vegetação e uso do solo na bacia hidrográfica estudada. Dessa forma, é preciso construir esses dados em *softwares* de geoprocessamento, uma vez que eles serão dados de entrada para o SWAT. A integração dessas ferramentas fica evidenciada no trabalho de Di Luzio, Srinivasan e Arnold (2002), os autores criaram modelos para erosão de vertentes e escoamento de contaminantes utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE), conjuntamente com a rede hidrográfica e a delimitação de sub-bacias calculadas pelo SWAT.

Através dessa ferramenta, é possível identificar e monitorar o impacto tanto de fontes pontuais como de fontes difusas, ou não pontuais, de contaminação. As fontes pontuais de contaminação correspondem aos locais específicos de emissão de poluentes, como por exemplo, pontos de lançamento de esgoto doméstico ou efluentes industriais,

os quais são de fácil identificação e mitigação. As fontes não pontuais de contaminação correspondem a todas as atividades presentes na bacia que podem contaminar os cursos d'água, o lançamento é intermitente e são transportados ao longo de toda a área sem um ponto de origem específico, como é o caso da aplicação de agrotóxicos e fertilizantes (GUO *et.al* 2014).

Com o intuito de identificar o transporte do herbicida *fluometuron*, utilizado na cultura do algodão, em uma bacia hidrográfica no Mississippi, Coupe (2007) aplicou a modelagem do SWAT considerando os processos de erosão do solo e o transporte de sedimento e contaminantes para os cursos d'água. O autor concluiu que, embora o modelo não possa identificar a data exata da concentração máxima do herbicida nos cursos d'água, ele identifica as áreas com maior potencial de contaminação desses cursos, sendo, portanto, uma ferramenta importante para o planejamento, gestão e propostas de regulamentação da aplicação de agrotóxicos.

O SWAT foi utilizado por Gevaert *et al.* (2008) com o objetivo de avaliarem diferentes práticas de manejo da cultura de milho na bacia hidrográfica do rio Nil, na Bélgica, identificando qual método resulta em maior redução do fluxo do herbicida *atrazina* nos cursos d'água. Bannwarth *et. al* (2014) também aplicaram o SWAT para simular o transporte de *atrazina*, *chlorothalonil* e *endosulfan* em uma bacia hidrográfica de Chiang Mai, na Tailândia, e concluíram que a percolação corresponde ao principal parâmetro para diferenciar as concentrações de cada agrotóxico encontrado.

No Brasil, é crescente o número de pesquisas que utilizam o SWAT para análises ambientais. Bressiani *et al.* (2015) apresentaram um panorama das pesquisas produzidas entre 1999 e 2015, com cerca de 100 estudos. A maior parte dos estudos foi realizada em bacias hidrográficas das regiões sul e sudeste no bioma da Mata Atlântica, e apresentaram somente resultados da mudança da dinâmica hidrológica atrelada às alterações no uso e ocupação do solo; essa análise muitas vezes é priorizada devido à escassez de dados observáveis de monitoramento das bacias, como vazão, produção de sedimentos, substâncias presentes na água entre outros. Cerca de 36% dos estudos trabalham com perda e transporte de sedimentos e apenas alguns estudos (9%) analisaram o transporte de agrotóxicos e nutrientes nos cursos d'água.

Baldissera (2005) utilizou o modelo SWAT com o intuito de simular vazões mensais na bacia do Rio Cuiabá, em Mato Grosso. As vazões foram simuladas em

quatro pontos da bacia e apresentaram médias semelhantes, podendo assim monitorar as fases de cheias da represa estudada.

Uzeika (2009) utilizou o SWAT em uma sub-bacia rural, no Rio Grande do Sul para simular a produção de sedimentos em diferentes cenários de uso do solo, floresta, cultivo do fumo em sistema convencional, e cultivo de fumo em sistema mínimo. Para a análise de vazão e escoamento superficial, o modelo apresentou melhor resultado para simulações mensais ou anuais e, em relação à erosão, os três diferentes usos apresentaram valores bem distintos.

Ao analisar as mudanças no uso e ocupação do solo e seu impacto na produção de sedimentos e de erosão no rio Mogi-Guaçu, Minotti (2006) concluiu que a modelagem no SWAT para delimitação de áreas de interesse hídrico e a simulação de cenários, foram satisfatórias e aplicáveis para a caracterização ambiental e identificação de áreas vulneráveis.

Armas (2006) aplicou a modelagem hidrológica do SWAT para verificar a biogeodinâmica de herbicidas aplicados nas plantações de cana-de-açúcar na sub-bacia do rio Corumbataí-SP. Elaborando cenários de expansão da cultura de cana em áreas hoje ocupadas por fruticultura, o modelo mostrou que as *triazinas* apresentaram os níveis mais elevados na rede hidrográfica da bacia, em períodos chuvosos, enquanto no período de seca o glifosato foi apontado com a maior transferência de massa.

Ainda que os autores indiquem limitações do uso do SWAT no Brasil, principalmente no que diz respeito à qualidade das informações e dos dados de entrada, o *software* é uma ferramenta importante para auxiliar na gestão e planejamento do manejo do uso do solo nas bacias hidrográficas, de modo a predizer e mitigar seus impactos na qualidade e quantidade das águas superficiais.

4. METODOLOGIA

4.1. Áreas de Estudo

A definição da área de estudo se deu a partir dos resultados da pesquisa FAPESP/PPSUS 50016-3: “Avaliação dos resíduos de pesticidas e protozoários patogênicos em água de abastecimento público do Estado de São Paulo”. Esse trabalho, durante o ano de 2015, monitorou a qualidade da água em 29 municípios do estado de São Paulo. Foram coletadas amostras mensais de água superficial bruta dos rios de abastecimento no ponto de captação da água bruta e no ponto de saída da água tratada. Os preparos e padrões das amostras para análise cromatográfica foram realizados na Embrapa Meio Ambiente seguindo a Metodologia para Determinação de Resíduos de Pesticidas em Amostras de Água utilizando Cartucho de Extração em Fase Sólida (SPE) e Cromatografia Gasosa Acoplada a um Espectrômetro de Massa.

De posse dos resultados dessa pesquisa, foram escolhidos para este trabalho os municípios que apresentaram o maior número de agrotóxicos presentes na água de abastecimento público, de modo a compreender melhor as características dos mananciais de abastecimento e identificar suas potenciais fontes de contaminação. No município de Santa Cruz das Palmeiras, foram encontradas em água bruta até cinco substâncias distintas e resultado positivo em dez meses durante todo o ano, em seguida, Piedade apresentou quatro substâncias diferentes e resultados positivos também ao de dez meses durante o ano em água bruta.

A agricultura nos dois municípios ocorre de formas distintas, enquanto o município de Santa Cruz das Palmeiras é ocupado, sobretudo pela monocultura da cana-de-açúcar, Piedade apresenta uma variedade de produção de frutas e hortaliças em pequenas propriedades. Foram realizados trabalhos de campo nos dois municípios para melhor identificar as culturas e agrotóxicos utilizados na área do manancial. Em seguida, foi realizado levantamento de dados e de bases cartográficas para aplicação da simulação hidrológica.

4.1.1. Santa Cruz das Palmeiras

O município se formou, sobretudo, devido à produção cafeeira nos anos de 1900. Após as crises do café (sobretudo a de 1929), o município não apresentou produção agrícola significativa. Somente com a instalação de usinas açucareiras em Pirassununga, município vizinho, as atividades agrícolas foram novamente incentivadas com cultivo da cana-de-açúcar, bem como de outros produtos representativos em sua economia, tais como algodão e laranja¹¹. Santa Cruz das Palmeiras está localizado na região nordeste do estado de São Paulo, com sede municipal nas coordenadas 21°49'37''Sul e 47°14'55'' Oeste. Está inserido na Região Hidrográfica da vertente paulista do Rio Grande, pertence à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Mogi-Guaçu (UGRHI-09) e localiza-se na sub-bacia do rio Jaguari-Mirim.

Santa Cruz das Palmeiras possui área territorial de 295,33km² e 29.932 habitantes, a economia do município é constituída principalmente pelo setor de serviços, seguido pela agricultura e pela indústria (IBGE, 2010). De acordo com dados da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2015), a principal atividade agrícola é a produção da cana-de-açúcar (90% da área plantada), embora produza também milho, café e laranja.

Segundo os dados do Censo (IBGE, 2010), o município tem cobertura de abastecimento de água para 99,91% dos domicílios e 99,74% de esgoto sanitário. Há três pontos de captação de água superficial: ETA Davi - Manancial Córrego do Pessegueiro (Captação: 200 m³/h); ETA Aurora - Manancial Rio Tabaranas (Captação: 252 m³/h); ETA Schiavon - Ribeirão Feio (Captação: 144 m³/h) desta última foram retiradas as amostras de água para análise da presença de agrotóxicos e a área de seu manancial corresponde à área de estudo.

Santa Cruz das Palmeiras está inserido na área da formação geológica Serra Geral, na qual se encontra o aquífero com o mesmo nome. Apresenta predomínio de rochas ígneas e basalto; o relevo é constituído de colinas amplas e suaves, com amplitude de 20m a 50m e declividades entre 3° e 10°. Os solos da região são caracterizados como Latossolos Vermelhos, são solos recorrentes no estado de São Paulo e estão relacionados às calhas de drenagem de alguns rios como o Tietê e Paranapanema. Os Latossolos Vermelhos apresentam teor predominantemente férrico,

¹¹ <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php> acesso: 10/05/2016

boa fertilidade química e alta permeabilidade, por estarem associados aos relevos de baixa declividade são intensamente ocupados pela agricultura mecanizada (EMBRAPA, 2006).

Santa Cruz das Palmeiras recebe a classificação climática de Koeppen Aw, clima predominante na região norte e nordeste do estado, definido como clima tropical, com inverno seco. Possui estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. A máxima de precipitação é em torno dos 250 mm, atingindo 1500 mm/ano (CEPAGRI¹²).

4.1.2. Piedade

O município foi inicialmente ocupado nos anos 1800 com o avanço dos tropeiros para a região de Sorocaba, que se instalaram às margens do rio Pirapora. Pertencente à região conhecida como Cinturão Verde, possui características distintas de Santa Cruz das Palmeiras, uma vez que é constituído principalmente por pequenas propriedades e diversidade de culturas. Com sede municipal nas coordenadas 23°42'43"Sul e 47°25'40" Oeste, Piedade se encontra na Serra de Paranapiacaba na bacia rio Tietê em seu nível médio e na sub-bacia do rio Sorocaba pertencentes à UGRHI 10 – Sorocaba/Médio Tiete.

Piedade corresponde a uma área territorial de 746,86 km² e uma população de 52.123 habitantes (IBGE, 2010). A economia é constituída pelo setor de serviços, seguido pela agropecuária e indústria. De acordo com os dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2015), as principais culturas em área colhida, são milho, cebola, batata-doce e feijão.

Está localizado no Planalto Cristalino Atlântico, na Serra de Paranapiacaba, unidade geomorfológica com características de relevo de mares de morros, com elevações de 80 a 200 m e declividade entre 15° e 35°. Apresenta predomínio de rochas ígneas e metamórficas como o granito. Há predomínio do solo Argissolo Vermelho-Amarelo, os Argissolos são o tipo de solo mais extenso do Brasil, depois dos Latossolos. São solos característicos de relevos ondulados, de baixa fertilidade e de erosão em ravinas (EMBRAPA, 2006).

¹² <http://www.cepagri.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>

O município está inserido na classificação climática de Koeppen Cwa, clima predominante do estado de São Paulo, principalmente nas regiões central, leste, e oeste. Clima subtropical de inverno seco e apresenta temperaturas abaixo de 18°C e verão quente com temperaturas superiores a 22°C. As precipitações são concentradas entre os meses de outubro a março, com máxima em torno dos 200 mm e podendo atingir 1300mm/ano (CEPAGRI).

Mapa 1 – Localização dos municípios.

Fonte: a autora, 2017.

4.2. *Elaboração da Base de Dados*

Para a caracterização da bacia hidrográfica no modelo SWAT é preciso preparar e organizar os dados de entrada (*inputs*). A simulação decorre de uma sobreposição de informações sobre hidrografia, solo, relevo, uso e ocupação do solo, e parâmetros climáticos.

4.2.1. *Modelo Digital de Elevação*

Para a caracterização física da área estudada e para a modelagem hidrológica, foram usados dados espaciais em formato *raster*. Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) utilizados são disponibilizados pelo projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), provenientes da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e fornecidos pelo *United State Geological Service* (USGS). O MDE é um dado *raster*, formado por *pixels* com conjuntos de coordenadas (x,y) e um valor de elevação (z), possui resolução de 30 metros e 16 bits, e corresponde ao mapeamento da superfície terrestre. O MDE fornece dados de redes de drenagem, orientação das vertentes, curvatura, declividade e altitude (VALERIANO, 2010).

Figura 2 – Modelo Digital de Elevação - cena 21S48_ZN.

Fonte: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>

4.2.2. Declividade

Utilizando o mesmo arquivo MDE, a declividade para o município de Santa Cruz das Palmeiras foi extraída em classes de porcentagem e denominada de acordo com o padrão indicado pela EMBRAPA (1979): Plano (0-3%); Suave Ondulado (3-8%); Ondulado (8-20%); Forte-Ondulado (20-45%); Montanhoso (45-75%); Escarpado (Acima de 75%).

Mapas 2 e 3 - Declividade de Santa Cruz das Palmeiras e de Piedade

Fonte: autora, 2017.

O mapa clinográfico de Santa Cruz das Palmeiras indica declividade mínima de 0% e máxima de 67%, com predomínio de declividade de 6%, suavemente ondulado. Piedade possui declividade mínima de 0% e máxima de 75%, predominando a faixa de 6% a 20% seguida de 20% a 45%, que corresponde a um relevo ondulado e forte-ondulado, respectivamente. Características condizentes com a geomorfologia de mares de morros em que o município está inserido.

4.2.3. Solos

Os dados de solo foram obtidos a partir do arquivo Mapa de Solos do Brasil, de 2001, da EMBRAPA, disponível no site do IBGE. Os solos encontrados em Santa Cruz das Palmeiras pertencem à classe dos Latossolos Vermelhos, a área de estudo é constituída pelos Latossolos vermelhos distroféricos + Latossolos vermelhos distróficos (LV3) e Latossolos vermelhos distróficos (LV18). Essas classes se diferenciam pela quantidade de ferro, ambas possuem saturação por bases baixa ($V < 50\%$), sendo bem providas de micronutrientes e apresentam textura muito argilosa, são resistentes à erosão laminar, mas podem apresentar ravinas e pequenas voçorocas se submetidos a cultivos intensos (EMBRAPA, 2006).

Mapa 4 e Mapa 5 – Solos dos municípios de Santa Cruz das Palmeiras e Piedade

Fonte: autora, 2017.

Em Piedade encontram-se, sobretudo, a classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos, que apresentam incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, possuem cores avermelhadas e amareladas e a textura varia de arenosa a argilosa sendo moderadamente ácidos. Os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos

são solos com saturação por base < 50% e de baixa fertilidade, sendo recomendável a adubação e calagem (EMBRAPA, 2006). Para inserção dos dados no modelo apenas a primeira classe hierárquica será considerada, dessa forma os solos correspondentes de cada área são os Latossolos e Argissolos.

4.2.4. Rede Hidrográfica e Área do manancial

Para a extração da rede hidrográfica foi utilizada a ferramenta *Hidrology*, do software ArcGIS 10.1. Seguindo as etapas da ferramenta (Figura 3), foi necessário primeiramente corrigir e remover *pixels* de depressões que impedem a continuidade do fluxo, dessa forma foi criado um MDE corrigido. Em seguida, utilizando o MDE corrigido (1), gerou-se um arquivo de direção de fluxo. Esse processo define o fluxo do curso d'água *pixel a pixel* em oito direções, orientando cada fluxo para uma direção. Mendes (2001, p.378) explica que o algoritmo de cálculo do aspecto discreto (ou direção de fluxo) foi obtido por Jenson (1988). A direção de fluxo é feita numa janela móvel 3x3 que percorre o MDE e atribui a cada célula a direção de uma de suas oito vizinhas.

A atribuição é feita mediante uma pesquisa de direção de maior declividade: a declividade é calculada por dZ/dS , onde dZ é a diferença entre as elevações na célula da direção considerada e a célula central e dS tem valor igual a 1 nas direções perpendiculares e raiz de 2 nas diagonais, (MENDES, 2001, p.378). Os *pixels* recebem valores de 1 a 255, os valores de cada direção para o centro respeitam a seguinte distribuição:

32	64	128
16		1
8	4	2

O processamento dessa etapa resulta em um arquivo *raster* de direção de fluxo (2) que será utilizado para o passo seguinte com a identificação do acúmulo do fluxo (3). Os *pixels* com acúmulo de fluxo representam áreas com maior concentração de fluxo, esse dado é importante porque, juntamente com o arquivo anterior, direção do fluxo, é possível criar a rede de drenagem (4) que posteriormente é ordenada de acordo com a metodologia Strahler (5). De acordo com esse método de hierarquização de Strahler, os primeiros cursos d'água à montante são classificados como de primeira

ordem até a confluência com outro rio também de primeira ordem, essa união de dois rios primários cria um rio de segunda ordem que se transforma em um de terceira ordem quando se encontra com outro de mesmo nível e assim por diante. Dessa forma, o rio principal pode apresentar classificações diferentes ao longo de sua extensão (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Figura 3 – Etapas da ferramenta *Hidrology* para extração da rede de drenagem

Fonte: autora, 2017.

Após essas etapas é possível, enfim, extrair a área de contribuição hídrica para o ponto de captação de água de abastecimento público para os dois municípios, a partir da ferramenta *Watershed* que utiliza os dados de direção de fluxo, rede de drenagem e ponto de interesse. Essa delimitação corresponde à bacia de contribuição hídrica do ponto de captação de água, a qual será objeto desse estudo.

4.2.5. *Clima*

Os dados de clima necessários para inserção no SWAT são principalmente, dados diários e mensais de temperatura, pluviosidade, umidade do ar e velocidade do vento. Para Santa Cruz das Palmeiras essas informações não são disponíveis, desse modo, foram usados os dados da estação meteorológica de São Carlos, município mais próximo da área de estudo (distância de 80 km) e que possui dados diários da estação disponibilizados pelo Sistema Integrado de Dados Ambientais do Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET). Para Piedade, as informações climáticas foram recolhidas da estação meteorológica automática do município de Sorocaba.

4.2.6. *Uso de Agrotóxicos*

Os dados de uso de agrotóxicos foram obtidos em trabalho de campo realizado conjuntamente com o Serviço de Vigilância Sanitária do Estado e dos Municípios por meio de visitas às propriedades agrícolas e ainda por meio de consulta aos técnicos responsáveis. Em Santa Cruz das Palmeiras, as informações sobre o manejo da cana-de-açúcar foram obtidas em visita a uma das Usinas responsáveis pela produção na região. Para Piedade, as informações sobre os agrotóxicos utilizados foram obtidas também em conjunto com o Serviço de Vigilância Sanitária do Estado e do Município através da visita em 30 propriedades na área do manancial e da observação das instalações de armazenagem dos produtos.

4.2.7. *Uso do Solo*

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir da técnica de Classificação Supervisionada da imagem do satélite *RapidEye*, datada de outubro de 2014 e disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A classificação supervisionada implica uma etapa inicial de Coletas de Amostras de Treinamento, a partir das quais o padrão de comportamento espectral é definido para cada classe determinada. Para essa etapa, foram utilizadas imagens do *Google Earth-pro* para auxiliar na interpretação visual, e também a realização do trabalho de campo para o conhecimento e georreferenciamento das áreas agrícolas no manancial de abastecimento.

A classificação foi realizada a partir da ferramenta de classificação de imagem do *software* ArcGIS 10.1 e usada a metodologia da Máxima Verossimilhança. Essa análise multiespectral *pixel a pixel*, considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes e usa as amostras de treinamento para calcular a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma determinada classe (IBGE, 2001).

Mapa 6 – Uso do solo na bacia de abastecimento de Santa Cruz das Palmeiras

Mapa 7 – Uso do solo na bacia de abastecimento de Piedade

Fonte: autora, 2017.

4.3. Soil Water Assessment Tool – SWAT

Um modelo hidrológico geralmente é definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície. A modelagem hidrológica deve ser considerada juntamente com a biológica, física e ecológica, já que o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas, químicas e físicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais e o regime do fluxo de água (RENNÓ E SOARES *et.al* 2013).

4.3.1. Dados de entrada

A interface do SWAT exige que os dados apresentem padrões de informação e unidades de medidas coincidentes para a sobreposição dos dados. A primeira etapa consiste na delimitação da bacia hidrográfica a partir do arquivo de Modelo Digital de Elevação (MDE) que deve estar em formato GRID ESRI com a resolução e as medidas de elevação em metros. Nessa etapa tem-se a opção de criar uma máscara já delimitando a sub-bacia de interesse, de modo que somente a parte do MDE contida no limite da máscara será processada, essa opção é importante para reduzir o tempo de processamento das funções. Com a inserção da máscara a hidrografia e declividade foram geradas automaticamente pelo SWAT.

Para delimitação das Unidades de Respostas Hidrológicas (HRU's), é preciso inserir os dados de solo e uso do solo, os quais devem estar na mesma projeção do MDE e possuir a tabela de atributos com os campos renomeados de acordo com os códigos já delimitados pelo SWAT. Para os dados de solo, foram usados os parâmetros referentes ao primeiro nível de classificação do solo (EMBRAPA, 1999), aos Latossolos e os Argissolos (Anexos).

Para a inserção dos dados climáticos no SWAT foi necessário organizar cada informação em uma tabela separada, dessa forma, os dados de entrada climáticos, correspondem a um conjunto de tabelas no formato.txt, de temperatura, uma tabela de precipitação, de umidade relativa do ar, de velocidade do vento e de radiação solar. Combinados a essas tabelas foram inseridos também no sistema outros parâmetros de clima que são exigidos pelo programa, esses parâmetros foram obtidos através dos dados disponíveis nas estações climáticas para os anos de 2008-2015.

Para as informações de uso e ocupação do solo, por exemplo, a classificação inicial foi adaptada para a classificação pré-existente no SWAT. Dessa forma, obteve-se a seguinte classificação:

Quadro 6– Classificação SWAT de uso e ocupação do solo

Santa Cruz das Palmeiras		Piedade	
Cana	SUGC	Área Agrícola	AGRR
Café	COFF	Pastagem	PAST
Mata	FRST	Mata	FRST
Açudes	WATR	Açudes	WATR
Edificações	URML	Edificações	URML
Solo Exposto	BARR	Solo Exposto	BARR

Após a inserção dos dados da bacia, do solo, da declividade, e do uso e ocupação do solo, a etapa de caracterização da área é seguida pela inserção dos dados climáticos os quais irão contribuir para a simulação do balanço hidrológico na bacia.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia

Fonte: a autora, 2017.

O SWAT processa os dados a partir de informações diárias e foi elaborado para prever o impacto do uso e ocupação do solo no ciclo da água, em bacia hidrográficas monitoradas e não monitoradas, o que o torna uma ferramenta que pode ser utilizada para os mais diversos contextos de gestão de bacias. (ARNOLD *et.al*, 2012).

Independente da análise desejada, o SWAT se pauta primeiramente pelo equilíbrio hídrico, dessa forma, para diagnosticar a movimentação dos agrotóxicos, sedimentos ou nutrientes, o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica é a simulação inicialmente necessária. Esse equilíbrio hídrico considera a fase do ciclo hidrológico no terreno, que controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e agrotóxicos no canal principal de cada sub-bacia e a fase de itinerário ou rota do ciclo, que considera a movimentação dos fluxos d'água até o ponto de descarga (NEITSCH *et.al*, 2011).

O processo de análise do equilíbrio hidrológico discrimina o escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, fluxo lateral, drenagem, canais tributários e redistribuição de água de acordo com o perfil do solo. Para produção de sedimento o programa usa a Equação Universal Modificada de Perda de Solo (Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE), essa equação utiliza a quantidade de escoamento para simular a erosão e a produção de sedimentos. (ARNOLD *et.al*, 2012).

Neitsch *et. al* (2011) apresenta os componentes do ciclo hidrológico que o SWAT considera para a simulação:

- Armazenamento na copa das árvores: corresponde à água interceptada pela superfície vegetal na qual fica retida e posteriormente eliminada por evaporação. Quando o método curva número é usado para computar a área de escoamento superficial, o armazenamento na copa das árvores é levado em consideração.
- Infiltração: referente à entrada da água no perfil do solo o qual se torna cada vez mais úmido fazendo com que a taxa de infiltração diminua com o tempo, até atingir um valor estável. A taxa inicial de infiltração depende da quantidade de água do solo antes da água escoar para a superfície do solo. A taxa final de infiltração equivale à saturação da condutividade hidráulica do solo. O modelo utiliza o método de curva de números para calcular a área de escoamento superficial, não sendo possível modelar diretamente a infiltração. A quantidade de água presente no perfil do solo é calculada

pela diferença entre a quantidade de precipitação e quantidade de escoamento superficial.

- **Redistribuição:** referente à movimentação contínua da água pelo perfil do solo quando cessada a entrada de água, ocorre pelas diferenças de umidade do solo. O modelo usa uma técnica de rota de armazenamento para prever o fluxo em cada camada de solo na zona da raiz. O fluxo descendente ou percolação ocorre quando a capacidade de retenção de água de uma camada de solo é ultrapassada e a camada abaixo não está saturada. A taxa de fluxo é regida pela condutividade saturada da camada do solo.

- **Evapotranspiração:** inclui evaporação dos rios e açudes, solo sem cobertura vegetal e superfícies com vegetação e transpiração. A potencial evaporação da água no solo é calculada por uma função da evapotranspiração potencial e do índice de área foliar (área das folhas das plantas equivalentes à área de HRU). A evaporação real da água existente no solo é calculada por meio de funções exponenciais da profundidade do solo e quantidade de água. A evapotranspiração potencial é a taxa em que a evapotranspiração poderia ocorrer em uma área completa e uniformemente coberta por vegetação e que tenha acesso ao fornecimento ilimitado de água no solo.

- **Escoamento lateral-subsuperficial:** contribuição do fluxo d'água abaixo da superfície, mas acima da zona de saturação. O escoamento lateral subsuperficial no perfil do solo (0-2m) é calculado simultaneamente com a redistribuição. Um modelo de acumulação cinemática é usado para prever o fluxo lateral em cada camada do solo.

- **Escoamento superficial:** fluxo que ocorre ao longo da superfície, o SWAT utiliza dos dados de precipitação diária para simular o volume do escoamento superficial e as taxas máximas desse escoamento em cada Unidade de Resposta Hidrológica (HRU).

- **Retorno de Fluxo:** corresponde ao volume do fluxo do curso d'água originado nas águas subterrâneas. O modelo SWAT divide as águas subterrâneas em dois sistemas de aquíferos: o aquífero raso não confinado, o qual contribui para o retorno do fluxo ao córrego dentro da bacia hidrográfica, e o um aquífero profundo confinado, que contribui para o retorno do fluxo ao córrego fora da bacia hidrográfica. As águas de percolação que ultrapassam o final da zona de raízes são divididas em duas frações, cada fração se torna uma fonte de abastecimento para um dos aquíferos. Além de repor o fluxo de água, a água armazenada no aquífero raso pode reabastecer a

umidade do perfil do solo em condições secas ou, ser diretamente absorvida pela vegetação.

Considerando esses processos, o modelo simula o ciclo hidrológico no solo baseado pela equação:

$$SW_1 = SW_0 + \sum^t (R_{\text{day}} - Q_{\text{surf}} - E_a - W_{\text{seep}} - Q_{\text{gw}})$$

Em que SW_1 representa a quantidade final de água no solo (mmH_2O); SW_0 é a umidade do solo inicial no dia i (mmH_2O). T é o Tempo em dias. R_{day} a quantidade de precipitação no dia i (mmH_2O); Q_{surf} a quantidade de escoamento superficial no dia i (mmH_2O); E_a a quantidade de evapotranspiração no dia i (mmH_2O); W_{seep} a quantidade de água que entra na zona de aeração do perfil do solo no dia i (mmH_2O); e Q_{gw} a quantidade de retorno do fluxo dia i (mmH_2O).

Dessa forma, o SWAT gera uma simulação do ciclo hidrológico para a área de interesse e apresenta como resultado uma representação gráfica da bacias com os valores (mm) para cada variável hidrológica além de dados mensais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultado da Modelagem SWAT – Santa Cruz das Palmeiras

A sequência de etapas no SWAT inicia-se pelo *Watershed Delineator*, ou seja, os primeiros resultados que o modelo fornece correspondem à delimitação da bacia de interesse, suas características de solo e declividade assim como o uso e ocupação, e a delimitação em sub-bacias. A área da bacia de contribuição do manancial de abastecimento possui 11,6km² e é ocupada predominantemente pela cultura da cana-de-açúcar, com declividade de 3% a 8% e foi dividida em 23 sub-bacias (Figura 5).

As Unidades de Respostas Hidrológicas (*Hidrologic Response Units – HRU*) foram divididas a partir do uso do solo predominante; dessa forma, o modelo apresentou 23 divisões geradas, das quais 17 possuem sua maior área ocupada pela cana-de-açúcar (Figura 6).

Figura 5 – Divisão das HRU's na bacia de abastecimento de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017

Figura 6 – Classificação do uso do solo na bacia de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017

O resultado da caracterização indica que 57,42% da área são ocupados pela cana-de-açúcar, e 24,76% correspondem à área destinada à cana-de-açúcar, mas classificadas como solo exposto devido à rotatividade atual da colheita. A ocupação urbana corresponde a 6,66%; mata 6,28%; café 4,63%; e açudes 0,23%.

A partir dos resultados da classificação do uso do solo, é perceptível não só o predomínio da cana-de-açúcar como também a escassez de vegetação natural, sobretudo nas Áreas de Proteção Permanente (APP) que correspondem à preservação das matas ciliares e Áreas de Reserva Legal (RL). A escassez de vegetação pode facilitar processos erosivos e o aumento do escoamento superficial, mecanismos de carregamento de nutrientes e substâncias tóxicas do solo para os corpos d'água.

As sub-bacias 2, 22, 20, 19, 12 e 17 possuem mais de 80% da sua área ocupada por cana-de-açúcar, com um destaque especial para as sub-bacia 17 e 22, pelas quais passam os rios e as sub-bacias 2 e 12 nas quais possuem nascentes. Em relação à preservação da vegetação, a área que apresenta maior porcentagem de mata é a sub-

bacia 13, contudo não chega a 50% de sua ocupação. Para áreas de reservatórios de abastecimento público, o Novo Código Florestal determina que as APP's devam corresponder a larguras de 30m a 100m em zona rural e de 15m a 30m em zona urbana¹³. Ainda que seja possível verificar a presença de APP na área, ela ocorre esparsamente e é possível observar a ocorrência de vários trechos de rio desprotegidos.

A partir dos dados utilizados da estação automática de São Carlos, a precipitação foi simulada considerando sete anos de dados. O gráfico a seguir apresenta o resultado da simulação da precipitação comparativamente com a precipitação esperada para o município de Santa Cruz das Palmeiras e para o município de São Carlos, segundo dados do CEPAGRI.

Gráfico 1 – Resultado da simulação da precipitação para a bacia de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017.

Como observado no gráfico, a simulação tendeu a subestimar as maiores precipitações, como nos meses de outubro a dezembro, principalmente no mês de fevereiro e também em agosto, considerado o mês mais seco para a área. Por outro lado, nos meses de redução das chuvas, o modelo superestimou a precipitação como é

¹³ http://www.ciflorestas.com.br/cartilha/APP-localizacao-e-limites_protecao-conservacao-dos-recursos-hidricos-dos-ecossistemas-aquaticos.html

possível observar os dados de junho e julho. Contudo, a simulação foi considerada satisfatória por apresentar o mesmo comportamento da ocorrência de chuvas esperadas para a região.

O SWAT também apresenta como resultado o balanço hidrológico anual da bacia de forma esquemática, incluindo a Curva Número, que corresponde não só ao grupo hídrico do solo, mas este combinado com a cobertura da área. Para essa bacia, a Curva Número foi de 77, valor considerado alto e que pode descrever uma situação de reduzida cobertura vegetal, ou agricultura intensa e de possível escoamento superficial excessivo (TUCCI 1993).

Figura 7 – Resultado da simulação hidrológica na bacia de Santa Cruz das Palmeiras

Observa-se que a Evapotranspiração real foi estimada em 60% do Potencial de Evapotranspiração e em 51% do total precipitado. A percolação no solo e o escoamento superficial correspondem a maior quantidade de água (mm) no processo terrestre (46% do volume precipitado) e estão relacionados às características de permeabilidade do solo. No caso de Santa Cruz das Palmeiras os Latossolos são

considerados solos mais profundos, bem drenados e bem permeáveis mesmo quando mais argilosos, são solos de fácil preparo para plantio que combinado com relevo pouco ondulado e baixa erodibilidade são intensamente ocupados por culturas extensivas (OLIVEIRA, 2008).

O escoamento superficial também está relacionado à cobertura vegetal, já que a presença de raízes profundas tende a diminuir o escoamento superficial, enquanto que raízes mais curtas, como as da cana-de-açúcar, podem contribuir para o aumento do escoamento superficial (ARMAS, 2006). Contudo as sub-bacias 17, 19 e 20 que possuem sua maior área ocupada por cana-de-açúcar não apresentaram os maiores valores de escoamento. A partir dos dados estimados de escoamento superficial (Figura 8) é possível observar que as sub-bacias que apresentaram as médias mais elevadas de escoamento correspondem àquelas que possuem maior porcentagem de solo exposto (3, 4, 16, 21 e 23), uma vez que a ausência de vegetação facilita o escoamento superficial (RESENDE, 2007).

Medir o escoamento superficial é importante, porque ele representa um meio significativo pelo qual os agrotóxicos aplicados no solo atingem os corpos d'água. Embora as áreas de plantio estejam a mais de 50m dos cursos d'água, como determina o Código Florestal, ao levar em conta o uso de agrotóxicos, muitos herbicidas usualmente utilizados na cana-de-açúcar, como por exemplo, o *Tebutiuron* e o *Metolaclor*, não devem ser aplicados em áreas com distância inferior a 500m dos corpos d'água destinados ao abastecimento público e identificadas como áreas alagáveis, segundo indicação do próprio fabricante. Essa recomendação está presente, inclusive nas bulas comerciais dos produtos, por serem substâncias persistentes e apresentarem risco de contaminação das águas e vida aquática.

O ciclo da cana-de-açúcar envolve cinco ou seis cortes¹⁴, e pode ser realizada em sistema de ano-e-meio (Cana de 18meses) ou em sistema de ano (Cana de 12meses). O mais utilizado em grandes produções é o sistema inicial de 18 meses no qual a cana-de-açúcar é plantada entre os meses de janeiro e março. Os três primeiros meses correspondem ao desenvolvimento inicial da cana que diminui seu ritmo com a chegada do inverno (período mais seco de abril a agosto), em seguida entra o período de vegetação e amadurecimento (setembro a abril), (Figura 9).

¹⁴http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html

Figura 8- Resultado da simulação do escoamento superficial por sub-bacia

Fonte: a autora, 2017.

Figura 9 – Ciclo da cana-de-açúcar na bacia de abastecimento, 2013, 2014, 2016

Fonte: Google Earth Pró, série histórica CNS/Astrium, 2017.

A aplicação de agrotóxicos, em especial de herbicidas, concentra-se nos meses de janeiro a março, podendo ocorrer em novembro e dezembro, correspondendo, portanto, ao período mais úmido e chuvoso no estado de São Paulo e consequentemente de maior escoamento superficial. Através do levantamento de campo foram identificados alguns agrotóxicos utilizados na área, contudo raramente foi possível saber a quantidade exata aplicada. Para fins de mensuração do quanto pode estar sendo aplicado na bacia, usou-se a quantidade recomendada de cada princípio ativo para a cultura. Considerando a plantação de cana-de-açúcar tem-se uma aplicação desses agrotóxicos em uma área total de 463.97 hectares.

Gráfico 2 – Quantidade de cada agrotóxico aplicados na cana-de-açúcar

Fonte: a autora, 2017.

A partir dessa estimativa, os agrotóxicos utilizados na cana-de-açúcar de maior quantidade na área são herbicidas, em especial *atrazina*, *ametrina*, *diuron* e *metolacoloro*. Foi realizado um levantamento das características desses agrotóxicos, (apresentado mais a frente - Quadro 7), a partir do banco de dados (*PPDB- Pesticide Properties Database*) desenvolvido pelo Departamento de Pesquisa em Agricultura e Meio Ambiente da Universidade de Hertfordshire, no Reino Unido. De posse desses dados, verificou-se que a *atrazina* é um herbicida de alto potencial de lixiviação, persistência moderada no solo e mobilidade moderada. Seu uso não está aprovado nos países da União Europeia e Inglaterra. Contudo, é autorizada no Brasil e a Portaria MS

nº 2.914/2011 apresenta um Valor Máximo Permitido (VMP) para água de consumo de 2µg/L. A atrazina possui classificação quanto ao seu potencial de interferência endócrina e de neurotoxicidade como “possivelmente”, o que significa que pode estar associada a estes efeitos, porém ainda não há evidências conclusivas.

Já a *ametrina* tem moderada mobilidade, moderada persistência no solo, moderada solubilidade em água e baixo potencial de lixiviação. Assim como a atrazina, seu uso não está autorizado nos países da União Europeia e Inglaterra, e a Portaria MS nº 2.914/2011 não apresenta valores de VMP. Ainda se desconhece seu potencial carcinogênico bem como seu potencial para interferência endócrina e neurotoxicidade. Acerca da substância *diuron*, ela tem seu uso aprovado pela União Europeia e Inglaterra. A Portaria MS nº 2.914/2011 determina um VMP de 90µg/L. Possui baixa solubilidade em água, moderada persistência no solo e leve mobilidade, sendo classificada como possivelmente carcinogênico e interferente endócrino.

Esses agrotóxicos identificados como de maior utilização na cana-de-açúcar condizem com os resultados obtidos pelo projeto FAPESP/PPSUS. Os meses que apresentaram maior quantidade de substâncias presentes no manancial de abastecimento público correspondem aos meses de maior escoamento superficial que coincidem com o período mais chuvoso. A maioria dos meses apresentaram pelo menos uma substância e o mês de novembro registrou até quatro substâncias diferentes (gráfico 3). Esse resultado pode ser atribuído tanto ao período de aplicação dos herbicidas, o qual se coincide com os meses chuvosos, como também ao fato de que nos meses mais secos o escoamento superficial diminui, e os agrotóxicos tendem a permanecer retidos no solo dependendo de suas características.

Contudo é preciso considerar que outras variáveis podem influenciar esse resultado, como por exemplo, a data de coleta das amostras de água e a quantidade de chuva nesse dia. As amostras de água do projeto FAPESP/PPSUS não foram necessariamente coletadas após eventos de chuva, caso fossem poderia apresentar um aumento dessas substâncias na água.

Gráfico 3 – Resultado da simulação da vazão e escoamento da bacia e o número de agrotóxicos encontrados nas análises mensais de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017.

Com o intuito de identificar o impacto do uso do solo no ciclo hidrológico da bacia, principalmente na variável escoamento superficial, testou-se outra classificação de ocupação dessa bacia. Considerando que áreas florestadas têm uma capacidade de armazenamento da água no solo maior que áreas agrícolas ou degradadas, foi projetado um cenário de preservação. As parcelas correspondentes à cana-de-açúcar foram reclassificadas como mata, resultando em uma preservação de mais de 50% da área de contribuição.

Utilizando os mesmos dados climáticos da simulação original, bem como os dados de solo e declividade o ciclo hidrológico foi novamente simulado com o objetivo de observar possíveis alterações. O Gráfico 4 apresenta esses resultados comparativamente ao simulado para o cenário atual. O cenário preservado apresentou valores menores para escoamento superficial e para curva número ao mesmo tempo em que apresentou valores maiores para percolação no solo, fluxo de retorno e recarga do aquífero. Esse resultado reflete um ciclo hidrológico mais equilibrado que pode contribuir para melhoria da qualidade da água quando considerado também o fato de que uma área preservada recebe uma quantidade menor de agrotóxicos. Áreas que apresentam cobertura vegetal preservada tendem a reter a umidade no solo e reduzir o

escoamento superficial, diminuindo processos erosivos e consequentemente o carregamento de sedimentos e contaminantes para os cursos d'água (RANDHIR *et. al*, 2001).

Gráfico 4– Parâmetros hidrológicos (mm) para os dois cenários de uso do solo na bacia de contribuição de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017.

Para fins de melhor aproximação com a área, foram realizados trabalhos de campo a partir dos quais se caracterizou não só o uso do solo, mas também alguns pontos que possam ser considerados fontes pontuais de contaminação para o cenário atual de ocupação. A bacia de contribuição, como apresentado anteriormente, possui extensa área ocupada pela cultura de cana-de-açúcar e, entre outros usos estão pequenas produções agrícolas, como café, milho, e instalações industriais.

Um dos pontos visitados corresponde a uma empresa de beneficiamento de laranja, a qual recebe frutas plantadas na região, nos municípios de Aguaí e Casa Branca, e realiza a lavagem e ensacamento do produto. São lavadas cerca de 3 mil caixas/dia de laranja com amônia quartenária, essa água da lavagem é direcionada a um poço de decantação tratado com cloração para posteriormente ser despejada no Ribeirão Feio, um dos rios que serve de abastecimento. A figura 10 mostra o processo de lavagem das laranjas, o poço de decantação da água residual e o aspecto da água final, descartada do rio.

Figura 10 – Empresa de beneficiamento de laranja e poço de água residual

Fonte: a autora, 2016.

Essa água descartada pode conter quantidades residuais de agrotóxicos comumente utilizados na laranja, como por exemplo, *fipronil*, *paraquat*, *imidacloprido* e *difenoconazol*, contudo a empresa não realiza análise dessa água descartada tão pouco o controle da produção da laranja recebida de forma que se desconhecem quais agrotóxicos foram utilizados nos produtos recebidos.

Outra área observada situa-se ao lado da anterior e também está inserida na área de contribuição do ponto de abastecimento. Especializada em biotecnologia, a empresa possui um Centro de Difusão de Tecnologia no município, no qual são realizados experimentos de técnicas de manejo de cana-de-açúcar, do milho e até

recentemente, de algodão. É feito também teste de eficiência de sementes transgênicas e de herbicidas como o *Roundup NA* e *Roundup Read Plus*, produtos a base de *glifosato* e *atrazina* em estufas de ambiente controlado. Na propriedade, há um açude particular ligado ao Ribeirão Feio, próximo a sua nascente, usado para irrigação das plantações experimentais.

Não foram permitidos registros fotográficos das plantações ou das estufas de testes de sementes transgênicas. A figura 11 corresponde à imagem de satélite da área das duas empresas, onde é possível observar: (1) a localização da nascente do manancial de abastecimento; (2) o açude represado pela empresa de biotecnologia; (3) irrigação de suas plantações experimentais; (4) ponto de descarte da água residual utilizada no beneficiamento da laranja.

Figura 11- Área das empresas

Fonte: Google Earth Pro (2016).

Além das empresas citadas acima, consideradas potenciais fontes de contaminação pontual devido a suas atividades, outro local identificado como importante para atenção e monitoramento corresponde a um posto de coleta de embalagens de agrotóxicos. Nesse local, são recolhidos a cada duas semanas 40 sacos contendo 70 embalagens cada um (figura 12). As embalagens recebidas são de produtos utilizados na região de Santa Cruz das Palmeiras. Na propriedade, há um poço de monitoramento para análise da água subterrânea e do solo com profundidade de 7m, contudo não foram obtidas informações sobre o resultado dessas análises.

Figura 12 – Posto de recolhimento de embalagens

Fonte: autora, 2016.

A partir da observação da modelagem hidrológica, da caracterização da bacia de contribuição e dos pontos levantados em campo, foi possível estimar e identificar algumas áreas como vulneráveis à aplicação de agrotóxicos e que podem estar contribuindo para a contaminação da água de abastecimento público. Dessa maneira, buscou-se dividir essas áreas em três categorias: (1) as sub-bacias que possuem fontes pontuais de contaminação (sub-bacias 3,4 e 14) juntamente com as sub-bacias em que se encontra o ponto de captação de água para abastecimento (10 e 11) foram identificadas como prioritárias para monitoramento constante de agrotóxicos; (2) as sub-bacias que apresentaram predomínio da cana-de-açúcar foram consideradas importantes para atenção e melhor gestão da aplicação de agrotóxicos, devido à intensificação da cultura e sua proximidade com os corpos d'água; e (3) as sub-bacias que apresentaram maior escoamento, e que possuem predomínio de solo exposto, foram consideradas como importantes para atenção aos eventos de maior chuva, devido à facilidade de carregamento de sedimentos para os corpos d'água da mesma forma em que precisam ser priorizadas para melhorias na cobertura vegetal.

Diante dos resultados, entende-se que o monitoramento da qualidade da água, para esse manancial de abastecimento deva-se concentrar a princípio nos pontos sugerido no Mapa 8, com atenção especial aos meses chuvosos, nos quais se concentram a aplicação de agrotóxicos na cana-de-açúcar. Associadamente seria de grande relevância se a empresa de beneficiamento de laranja exigisse aos seus fornecedores uma relação dos produtos utilizados nas plantações e repassasse essas informações, assim como a usina de açúcar e álcool, ao município.

Em trabalho de campo, buscou-se por essas informações inicialmente na Secretária Municipal de Saúde e na Casa de Agricultura, no entanto, ambas não possuem informações sobre o que é utilizado no município. Devido ao predomínio da cana-de-açúcar, o controle do uso dos agrotóxicos nessa cultura restringe-se ao setor responsável da Usina na região, não havendo nenhuma obrigatoriedade de reportar essas informações às autoridades municipais. Desse modo, ao desconhecer o manejo das atividades agrícolas e o risco das atividades industriais presentes na bacia, também se ignora o risco de contaminação do manancial de abastecimento e seus e os riscos à saúde humana.

Mapa 8 – Áreas prioritárias para monitoramento na bacia de contribuição de Santa Cruz das Palmeiras

Fonte: a autora, 2017.

5.2. Resultado da Modelagem SWAT- Piedade

A bacia de contribuição do manancial de abastecimento do município de Piedade corresponde a 93.59km² e foi dividida no modelo em 25 sub-bacias, bem como em Unidades de Respostas Hidrológicas (Figura 13) ao considerar suas características predominantes de declividade que se concentram entre 20% e 45% e de uso e ocupação do solo (Figura 14).

Figura 13 – Divisão das HRUs na bacia de abastecimento de Piedade

Fonte: a autora, 2017.

A agricultura em Piedade é desenvolvida em pequenas e médias propriedades, corresponde a uma produção diversificada onde se destacam os cultivos de morango, cebola, alho, alface, couve, pêssego e ameixa.

Figura 14- Classificação do uso do solo na bacia de Piedade por HRUs

Fonte: a autora, 2017.

A bacia é ocupada principalmente por mata (53%), seguida por agricultura (32%) e pastagens (8%), os outros 7% da área são divididos entre solo exposto, açudes e edificações. As sub-bacias 1, 20, 21 e 24 possuem mais de 80% de sua área florestada e apresentam nascentes mais preservadas, diferente das nascentes presentes nas sub-bacias 3, 5, e 19, que são ocupadas predominantemente por agricultura assim como as sub-bacias 4, 10, 11 e 12. Nota-se que a atividade agrícola se concentra nas sub-bacias mais próximas ao ponto de captação.

A partir dos dados climáticos de sete anos da estação automática de Sorocaba, a precipitação na área foi simulada no modelo. O gráfico a seguir apresenta o resultado da simulação comparativamente aos dados mensais de chuva esperada para o município de Piedade e Sorocaba, segundo dados do CEPAGRI. A partir da observação do gráfico, é possível notar que embora a simulação seja considerada satisfatória, subestimou os valores na maior parte do período principalmente em fevereiro e março.

Gráfico 5 – Resultado da simulação da precipitação para bacia de Piedade

Fonte: a autora, 2017.

Os meses correspondentes ao verão (dezembro-março) são os que concentram maior quantidade de chuva enquanto que o inverno (junho-setembro) corresponde ao período com menor valor precipitado. Para o município espera-se um total de precipitação de 1.300mm/ano e o modelo estimou 1.261 mm/ano o que foi considerada uma simulação satisfatória.

Quanto à simulação do ciclo hidrológico, a evapotranspiração real correspondeu a 49,7% do Potencial de Evapotranspiração e 49,2% do total precipitado, o escoamento subsuperficial (fluxo lateral) representou 37,2% da precipitação, essas duas variáveis são, portanto, os principais destinos da água que entra no sistema. A percolação e o escoamento superficial foram considerados baixos e correspondem juntos a 13% da quantidade de chuva (Figura 15). Esses resultados estão relacionados às características do solo e da cobertura vegetal.

Figura 15 – Resultado da simulação hidrológica da bacia de Piedade

Mapa 9 – Simulação do escoamento superficial por HRU's na bacia de Piedade

O valor elevado do escoamento subsuperficial da bacia pode ser atribuído ao predomínio de floresta preservada que com suas raízes profundas auxiliam na infiltração da água e mantém o solo úmido por mais tempo (TUCCI,1993). A partir do escoamento superficial extraído para cada sub-bacia (Mapa 9) é possível observar que as áreas que apresentaram maior escoamento correspondem às sub-bacias com uso predominante da agricultura enquanto que aquelas com maior porcentagem de preservação apresentaram um escoamento menor.

As culturas presentes na bacia são de curta duração, de modo que as informações sobre época de aplicação dos agrotóxicos não foram obtidas com muita precisão. Embora sejam áreas pequenas de plantio, essas plantações são irrigadas e estão localizadas em áreas de morro de declividade média, o que pode contribuir para eventos de erosão e para o escoamento dos agrotóxicos. Foi possível identificar que alguns herbicidas, como o *metolachlor* e *prometrina* são usados praticamente durante todo o ano, em especial nos meses chuvosos.

A substância *metolachlor* é um herbicida de uso suspenso na União Europeia e Inglaterra (quadro 7), possui alta solubilidade em água, volatilização moderada assim como sua mobilidade e persistência no solo. É classificado como possivelmente carcinogênico e interferente endócrino, a Portaria MS nº 2.914/2011 determina um VMP de 10 µg/L para água de consumo humano. *Prometrina* também é um herbicida de uso proibido na União Europeia e sem regulação do VMP em água de consumo humano pela Portaria MS nº 2.914/2011, tem mobilidade e persistência moderadas no solo e baixo potencial de lixiviação, é uma substância reconhecida como interferente endócrino e possivelmente neurotóxica.

Os resultados do projeto FAPESP/PPSUS mostram pelo menos um agrotóxico no manancial de abastecimento público de Piedade, durante todo o ano. Comparando com a simulação hidrológica, os períodos de aumento do escoamento superficial corresponderam a maior ocorrência de agrotóxicos na água, com exceção do mês de maio. O mês de outubro registrou até cinco substâncias diferentes e maio, setembro e novembro duas substâncias

Gráfico 6 – Resultado da simulação da vazão e escoamento da bacia e o número de agrotóxicos encontrados nas análises mensais de Piedade

Fonte: a autora, 2017.

Para fins de aproximação com a área de estudo, foram realizados trabalhos de campo não só para auxiliar no mapeamento do uso e ocupação do solo, mas também para buscar identificar possíveis fontes pontuais de contaminação. Durante as visitas em cerca de 30 propriedades observou-se o recorrente uso da irrigação em diferentes tipos de plantio, em muitos casos as instalações para o bombeamento da água não possuíam outorga do DAEE. Em alguns açudes utilizados para irrigação há vazamento de óleo proveniente dos equipamentos de bombeamento dessas águas para os níveis mais altos das propriedades.

A figura 16 retrata as características de plantio comumente encontrados na área de estudo. São plantações muitas vezes em declive, com irrigação constante e contaminação de açudes por vazamentos de óleo. Foi verificado que a maioria dos agricultores possui instalações de armazenamento dos agrotóxicos, contudo nenhum possuía os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários para a aplicação. As orientações e recomendações de produto utilizado são obtidas diretamente nas lojas de comercialização de insumos agrícolas, sem que haja avaliação prévia das condições da terra e da produção por parte de um agrônomo.

Figura 16 – Registro de campo das plantações em Piedade.

Figura 17 – Instalações de armazenamento dos agrotóxicos.

O local visitado que se apresentou como potencial fonte pontual de contaminação da água de consumo humano corresponde a um lavadouro de legumes, sobretudo de cenouras, que descarta a água residual da lavagem no rio Pirapora (manancial de abastecimento). Essa área está localizada ao lado do rio, entre as sub-bacias 1,2 e 5, muito próximo ao ponto de captação de água e da estação de tratamento do município. O estabelecimento bombeia água do rio Pirapora para a lavagem, a água residual passa por poços de decantação nos quais deveriam ficar retidos resíduos de solo e folhagens, para depois ser descartada no mesmo rio.

Figura 18 – Lavadouro de legumes próximo ao rio Pirapora

Fonte: autora, 2016.

Nesse ponto, observa-se um processo de assoreamento logo abaixo da área de descarte dessa água, o que indica que resíduos de solo são levados para o rio. De acordo com informações obtidas no local, esses legumes não são produzidos no

município, vêm em sua maioria, do estado de Minas Gerais, sem nenhuma informação sobre os possíveis agrotóxicos utilizados em sua plantação.

Analisando os mapas de uso e ocupação do solo, de escoamento superficial e das características da bacia observadas em campo, buscou-se identificar os compartimentos de maior vulnerabilidade para contaminação da água por agrotóxicos. Dessa forma, as sub-bacias foram divididas em duas categorias de sugestão de ação: (1) prioridade de monitoramento de agrotóxicos; (2) atenção para aplicação de agrotóxicos. Para algumas sub-bacias, como a 1 e a 5, sugere-se que sejam aplicadas as duas ações, uma vez que são bacias que apresentam fonte pontual de contaminação, predomínio da atividade agrícola e alto escoamento superficial. As bacias classificadas como “atenção para utilização” correspondem àquelas com predomínio da agricultura e maiores valores de escoamento.

Diante do exposto, faz-se necessário uma atenção maior para o uso de agrotóxicos na bacia de contribuição hídrica do manancial de abastecimento público. Assim como observado em Santa Cruz das Palmeiras, também em Piedade houve dificuldade em obter dados da comercialização e aplicação de agrotóxicos no município, sendo essas informações ausentes tanto na Secretária Municipal de Saúde, quanto na Casa de Agricultura. A partir dos resultados obtidos, entende-se que o monitoramento do uso de agrotóxicos, para esse manancial de abastecimento, deva se concentrar a princípio nas áreas sugeridas no mapa 10. Associadamente seria importante que a Casa de Agricultura elaborasse um registro dos agrotóxicos comercializados para que o município tenha conhecimento dos produtos utilizados e seus riscos.

A maior parte dos agrotóxicos utilizados na área é classificada como (I) - extremamente tóxico e com periculosidade ambiental (II) - muito perigoso ao meio ambiente. Essas substâncias apresentam características persistentes no meio ambiente e de risco à vida aquática, no entanto, são aplicadas no ambiente sem a devida orientação por parte das autoridades municipais.

Mapa 10- Áreas prioritárias para monitoramento na bacia de abastecimento de Piedade.

Fonte: a autora, 2017.

Quadro 7 – Agrotóxicos utilizados nas áreas estudadas e suas características ambientais e toxicológicas

Substância básica	Tipo	n° CAS	Status EC Regulation	Portaria MS 2.914/2011	Solubilidade em água	GUS	BCF	Carcinogênico	Mutagênico	Disruptor endócrino	Inibidor de colinesterase	Neurotóxico
Abamectina**	Inseticida	71751-41-2	-	Não consta	-	-	-	-	-	-	-	-
Ametrina	Herbicida	834-12-8	Não aprovado	Não consta	Moderada	Baixa lixiviação	Baixo potencial	-	Não	-	Não	-
Atrazina	Herbicida	1912-24-9	Não aprovado	Consta	Baixa	Alta lixiviação	Baixo potencial	Não	Não	Possível	Não	Possível
Azoxistrobina	Fungicida	131860-33-8	Aprovado	Não consta	Baixa	Transição	Baixo potencial	Não	-	-	Não	Não
Bifentrina	Inseticida	82657-04-3	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Possível	Possível	Sim	Não	Sim
Boscalida	Fungicida	188425-85-6	Aprovado	Não consta	Baixa	Transição	Limiar de preocupação	Possível	-	Não	Não	Não
Captana	Fungicida	133-06-2	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Possível	Não	Não	Não	Não
Carbossulfano	Inseticida	55285-14-8	Não aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	-	Não	Sim	Não
Ciazofamida	Fungicida	120116-88-3	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	Não	-	Não	Não
Cimoxanil	Fungicida	57966-95-7	Aprovado	Não consta	Alta	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Não	-	-	Não	Não
Clorotalonil	Fungicida	1897-45-6	-	Não consta	-	-	-	-	-	-	-	-
Deltametrina	Inseticida	52918-63-5	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	Não	Sim	Não	Sim
Difeconazol	Fungicida	119446-68-3	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Possível	-	Não	Não	Não
Dimetoato	Inseticida	60-51-5	Aprovado	Não consta	Alta	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Possível	Não	Possível	Sim	Não

Substância básica	Tipo	n° CAS	Status EC Regulation	Portaria MS 2.914/2011	Solubilidade em água	GUS	BCF	Carcinogênico	Mutagênico	Disruptor endócrino	Inibidor de colinesterase	Neurotóxico
Diuron	Herbicida	330-54-1	Aprovado	Consta	Baixa	Transição	Baixo potencial	Possível	Não	Possível	Não	Não
Fenoxaprope-P-Etílico	Herbicida	71283-80-2	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	-	-	-	Não	-
Fenpropatrina	Inseticida	39515-41-8	Não aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	-	-	Não	Não
Fipronil	Inseticida	120068-37-3	Aprovado	Não consta	Baixa	Transição	Limiar de preocupação	Possível	-	Possível	Não	Sim
Fludioxonil	Fungicida	131341-86-1	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Possível	-	-	Não	Não
Glifosato**	Herbicida	1071-83-6	Aprovado	Consta	Alta	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Possível	Não	-	Não	Não
Imidacloprido	Inseticida	138261-41-3	Aprovado	Não consta	Alta	Alta lixiviação	Baixo potencial	Não	Possível	-	Não	-
Iprodiona	Fungicida	36734-19-7	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Possível	Possível	Possível	Não	Não
Lambda-cialotrina	Inseticida	91465-08-6	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	Não	Não	Não	Possível
Mandipropamida	Fungicida	374726-62-2	Aprovado	Não consta	Baixa	Transição	Baixo potencial	Não	Não	Não	Não	Não
Metolacoloro	Herbicida	51218-45-2	Não aprovado	Consta	Alta	Transição	Baixo potencial	Possível	Não	Possível	Não	Não
Metomil	Inseticida	16752-77-5	Aprovado	Não consta	Alta	Transição	Baixo potencial	Não	Não	Possível	Sim	Possível
Metribuzin	Herbicida	21087-64-9	Aprovado	Não consta	Alta	Transição	Baixo potencial	Não	Não	Possível	Não	-
Oxyfluorfen	Herbicida	42874-03-3	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Sim	Possível	-	Não	Não
Paraquate**	Herbicida	4685-14-7	Não aprovado	Não consta	Alta	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Possível	Sim	Não	Não	Não

Substância básica	Tipo	n° CAS	Status EC Regulation	Portaria MS 2.914/2011	Solubilidade em água	GUS	BCF	Carcinogênico	Mutagênico	Disruptor endócrino	Inibidor de colinesterase	Neurotóxico
*Parationa Metilica	Inseticida	298-00-0	Não aprovado	Consta	Moderada	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Possível	Não	Possível	Sim	Sim
Piraclostrobina	Fungicida	175013-18-0	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	-	-	Não	Não
Procimidona	Fungicida	32809-16-8	Não aprovado	Não consta	Baixa	Alta lixiviação	Baixo potencial	Sim	-	Sim	Não	-
Prometrina	Herbicida	7287-19-6	Não aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Baixo potencial	Não	Não	Sim	Não	Possível
Propargito	Acaricida	2312-35-8	Não aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Alto potencial	Possível	-	-	Não	Não
Sulfentrazona	Herbicida	122836-35-5	Não aprovado	Não consta	Alta	Alta lixiviação	Baixo potencial	Não	Não	-	Não	Não
Tebuconazol	Fungicida	107534-96-3	Aprovado	Consta	Baixa	Alta lixiviação	Baixo potencial	Possível	-	-	Não	Não
Tebutiuron	Herbicida	34014-18-1	Não aprovado	Não consta	Alta	Alta lixiviação	Baixo potencial	Não	Não	-	Não	Não
Teflubenzuron	Inseticida	83121-18-0	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Possível	Não	-	Não	Não
Trifloxistrobina	Fungicida	141517-21-7	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	-	-	Não	Não
Triflumurom	Inseticida	64628-44-0	Aprovado	Não consta	Baixa	Baixa lixiviação	Limiar de preocupação	Não	-	Não	Não	Não
Trifuralina	Herbicida	1582-09-8	Não aprovado	Consta	Baixa	Baixa lixiviação	Alto potencial	Possível	Não	Sim	Não	-

Fonte: PPDB, <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. (-) : Sem informação.

*Uso banido no Brasil pela ANVISA desde setembro de 2016. Resolução 2.297/2016.

**Em processo de reavaliação toxicológica pela ANVISA

O Quadro 7 apresenta o resultado do levantamento dos agrotóxicos identificados em campo para as duas bacias e suas características toxicológicas e ambientais. Foram identificados no total 41 agrotóxicos, entre eles 14 são fungicidas; 13 herbicidas; 13 inseticidas; e 1 acaricida. Dentre todas essas substâncias, 13 estão proibidas na União Europeia e Inglaterra, 34 ou 82,9% do total não possuem VMP em água de consumo humano regulamentando pela Portaria MS nº 2.914/2011.

Quanto as características ambientais vale ressaltar que das 41 substâncias, 12 possuem solubilidade alta ou moderada, o que pode facilitar seu transporte do solo para a água; 6 apresentam alta lixiviação, processo em que essas substâncias são removidas do solo pela água; e 19 tem alto fator de bioacumulação, ou seja tem capacidade de se acumular em um organismo vivo. Quanto suas características toxicológicas 46% das substâncias encontras são classificadas como carcinogênicas ou possivelmente carcinogênicas; 34% são classificadas como interferentes endócrinos ou possivelmente interferentes; e 19,5% neurotóxicas ou possivelmente neurotóxicas.

Das 12 substâncias de solubilidade alta ou moderada; 5 são carcinogênicas ou possivelmente carcinogênicas; e 5 são interferentes endócrinas ou possivelmente interferentes e entre elas 3 possuem as duas características. Importante destacar que dessas 12 substâncias, ainda se desconhece o potencial fator de interferência endócrina para 6 delas. Essas informações evidenciam a diversidade de substâncias aplicadas e a complexidade em investigar e identificar seu comportamento no meio ambiente e os riscos de sua exposição à saúde humana.

5.3. Discussão dos resultados

A aplicação do modelo SWAT apresentou resultados bastante satisfatórios para análises do comportamento das principais variáveis do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas estudadas. Deve ser destacada ainda a importância dos resultados obtidos para a vigilância da qualidade da água de abastecimento público. O modelo tem sido utilizado para avaliação dos impactos do uso e ocupação do solo nos mananciais e como instrumento para auxílio no planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas em vários países. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) tem destacado a relevância do SWAT e de outros modelos hidrológicos para gestão e controle da qualidade da água, inclusive no que se refere a contaminação por agrotóxicos (PARKER *et. al*, 2007).

Estudo realizado em uma sub-bacia no estado de Ohio nos EUA, sobre como os diferentes usos do solo contribuem de modos distintos para a contaminação dos recursos hídricos, verificou que as áreas predominantemente agrícolas contribuem cinco vezes mais para o aumento de nitrogênio na água do que áreas ocupadas por florestas (TONG e CHEN, 2002). Ao longo do tempo, a intensificação da agricultura, em diferentes bacias, tem resultado em um aumento de substâncias na água tanto pelo aumento do uso de agrotóxicos e fertilizantes, como também pela alteração do ciclo hidrológico a partir das mudanças no uso solo (MATTIKALLI, RICHARDS, 1996).

No Brasil, o estudo da produção de sedimentos em bacias hidrográficas aplicando o SWAT é crescente. Lelis e Calijuri (2010) monitoraram a produção de sedimentos e o escoamento superficial em uma bacia rural no estado de Minas Gerais. As autoras verificaram que o maior aporte de sedimentos estava relacionado a eventos de chuva intensa, e que as sub-bacias com predomínio de pastagem apresentaram os maiores valores de escoamento superficial. A dificuldade em se encontrar parâmetros regionais que alimentem o banco de dados foi identificada pelas autoras como a grande limitação do SWAT para estudos no país.

Em bacias monitoradas, é possível realizar a calibração a partir de dados observados, sendo possível comparar melhor a eficiência da simulação. Machado *et. al* (2003) simularam o escoamento superficial na microbacia do Ribeirão dos Marins, na região de Piracicaba-SP, ocupada predominantemente pela cana-de-açúcar. Calibrando a simulação com os dados observados de precipitação e vazão de um posto

hidrossedimentométrico do DAEE, o resultado indicou uma boa correlação entre precipitação e escoamento.

O modelo se apresenta como uma ferramenta versátil e de importante auxílio para pesquisas e gestão das bacias hidrográficas sendo capaz de realizar diferentes análises de acordo com o interesse do estudo (FERNANDES *et. al*, 2012). A simulação hidrológica para as duas bacias foi considerada satisfatória principalmente quando comparada aos valores reais de precipitação para os municípios. Mesmo sem a calibração, por se tratar de bacias não monitoradas, foi possível simular algumas estimativas do ciclo hidrológico bem como suas alterações de acordo com o uso do solo. O resultado do escoamento superficial, por exemplo, sofreu significativa redução quando testado um cenário mais preservado para a bacia de Santa Cruz das Palmeiras.

Baker e Miller (2013) utilizaram o SWAT para verificar os impactos do avanço da agricultura sobre o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica no Kenya, simulando as alterações ao longo de dezessete anos, concluíram que as sub-bacias com avanço das áreas cultivadas e diminuição das florestas apresentaram valores crescente de escoamento superficial com o passar dos anos e diminuição nos valores de recarga das águas subterrâneas, principal fonte de abastecimento para a população.

Com o intuito de quantificar a perda de solo e relacioná-la com o uso e ocupação da bacia hidrográfica, Silva *et. al* (2011) simularam diversos cenários na bacia do rio Colônia, na Bahia, a qual atualmente apresenta predomínio de pastagem e aumento da área de cacau. Os autores concluíram que ao reflorestar áreas hoje ocupadas pelo pasto, a perda de solo apresentou um decréscimo de $20,91 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A simulação de cenários hipotéticos no SWAT pode contribuir para uma melhor gestão das bacias. O monitoramento de agrotóxicos e fertilizantes em cursos d'água tem demonstrado também que nas áreas mais preservadas, ou com a presença da mata ciliar, a quantidade dessas substâncias é menor quando comparada com aquelas menos preservadas. O uso e ocupação do solo em mananciais de abastecimento é uma variável importante da qualidade da água (GONZALES-INCA *et.al*, 2015).

Da mesma forma, como concluem Randhir *et.al* (2001), as bacias hidrográficas florestadas produzem água de qualidade superior quando comparado com outros usos. A mata ciliar exerce uma função de manutenção da qualidade da água através da estabilidade do solo e consequente redução do assoreamento o que contribui

para que os nutrientes do solo não sejam arrastados para os cursos d'água, bem como os produtos químicos e fertilizantes nele aplicados (ARTHINGTON e PUSEY, 2003).

Alguns países da América do Norte e Europa vêm buscando, por meio da proteção dos mananciais destinados ao abastecimento, reduzir os custos de tratamento da água para consumo humano. A USEPA enfatiza que uma gestão eficaz e sustentável de uma bacia hidrográfica deve considerar todas as integrações entre uso do solo e as características fisiográficas da região de forma a salvaguardar os mananciais dos potenciais contaminantes (EMELKO *et.al*, 2011).

Assim a preservação dessas áreas contribui na qualidade da água e tem sido demonstrado em diversos estudos, sobretudo em áreas com histórico de contaminação dos recursos hídricos e mais recentemente de redução na oferta de água (CONOLLY *et. al*, 2015). A irrigação excessiva, por exemplo, tem sido observada especialmente na produção de alimentos, mesmo sendo considerada importante para o aumento da produção, pode agravar as crises hídricas e a contaminação dos lençóis freáticos. Estima-se que a eficiência da agricultura irrigada em todo mundo não passa de 40% e a perda de volume de água, degradação dos cursos d'água e infiltração de agrotóxicos e fertilizantes são os principais problemas enfrentados (PAZ *et.al*, 2000; WARD e VELAZQUEZ, 2008).

Os impactos na qualidade da água devido a substituição de áreas de florestas por pasto e pela cana-de-açúcar no estado de São Paulo foram demonstrados por Taniwaki *at.al* (2017) a partir de análises da água ao longo da bacia. Os autores concluíram que a intensificação da agricultura e a supressão da vegetal natural aumentou o escoamento superficial carregando sedimentos, fertilizantes e agrotóxicos para os corpos d'água, sobretudo nos períodos de maior precipitação. Ainda que a mata ciliar tenha se apresentado como filtro importante para a diminuição dos contaminantes, os autores ressaltam que ela deve vir acompanhada de um melhor manejo das plantações e apontaram ainda a necessidade de mais estudos sobre os impactos do uso do solo nos recursos hídricos.

Desse modo, todas as atividades presentes em uma bacia hidrográfica, sobretudo naquelas responsáveis pelo abastecimento de água, precisam ser conhecidas e monitoradas, pois influenciam não só na quantidade, mas também na qualidade da água. A Política Nacional de Recursos Hídricos através da Lei 9.433/97 quando instituiu a

bacia hidrográfica como unidade territorial para preservação de suas características físicas, estudos de ecossistemas, planejamento e gestão dos recursos hídricos, já reforçou seu papel enquanto unidade de gestão. No entanto, é importante que as variáveis do ciclo hidrológico sejam registradas por tempo suficiente para que tenhamos dados históricos, para quantificar e avaliar as inter-relações dessas variáveis com maior confiança (GUANDIQUE e MORAIS, 2015).

Em bacias hidrográficas monitoradas, além de obter resultados de maior eficiência do ciclo hidrológico é possível também prever o escoamento de agrotóxicos para os mananciais de forma a minimizar os custos com análises de água. Como verificaram Boithias *et.al*, (2011) em uma bacia do sudoeste da França com precipitação anual de 600-900mm onde foram aplicados em média 23 toneladas de *metolacoloro* e 18 toneladas de *trifluralina*. Os autores concluíram que a variável escoamento superficial foi o maior responsável pela exportação dos agrotóxicos do solo para a água os quais apresentaram maiores concentrações após eventos de maior precipitação.

Considerando as variáveis hidrológicas, as áreas agrícolas, as características de solo, relevo e a média de uso de agrotóxicos em cada país, estima-se que 40% da cobertura terrestre apresenta risco de contaminação das águas por escoamento superficial. As áreas agrícolas dos EUA e dos países da América Central são consideradas de risco muito alto para contaminação dos corpos d'água e as áreas agrícolas do Brasil, Índia e China de alto risco de contaminação (IPPOLITO *et.al*, 2015).

O Conselho de Direitos Humanos da ONU estima que a intoxicação por agrotóxicos provoque cerca de 200.000 mortes por ano, e que 99% desses casos ocorrem em países em desenvolvimento onde as regulamentações de saúde, segurança e meio ambiente são mais fracas, além de possuir uma agricultura intensiva e permitir o uso de agrotóxicos altamente tóxicos banidos de outros países. A contaminação das águas, dos alimentos, a exposição ocupacional e a pulverização aérea sobre núcleos urbanos e mananciais são nocivos à saúde e ao meio ambiente e são considerados ações que vão contra e negam o direito à saúde, à alimentação saudável e à justiça ambiental¹⁵.

¹⁵ Assembléia Geral da ONU. Conselho de Direitos Humanos 2017. Report of the Special Rapporteur on the right to food. <http://www.ohchr.org/EN/Issues/Food/Pages/FoodIndex.aspx>

O estado de São Paulo possui 658 pontos de captação de água de mananciais superficiais destinados ao abastecimento, entre sistemas de abastecimento público e soluções alternativas, em 297 municípios¹⁶. Para o Brasil a Portaria MS nº 2.914/2011 que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano prevê e permite 28 agrotóxicos na água dentro de um valor máximo permitido (VMP). Contudo, esse padrão de potabilidade estabelecido não corresponde às variabilidades regionais que devem ser consideradas em termos de monitoramento da qualidade da água (BRASIL 2014).

Nas bacias de Piedade e de Santa Cruz das Palmeiras foram encontradas substâncias dentro do VMP da portaria, não obstante apresentou agrotóxicos não são considerados, como *metribuzin*, *prometrina* e *imidacloprid* e *fipronil* e *tebutiuron*.

Por apresentar potencial de interferência endócrina, o *tebutiuron*, por exemplo, não é autorizado na União Europeia e não possui limiar seguro de ingestão segundo a Agência Proteção Ambiental dos Estados Unidos¹⁷. *Prometrina* e *fipronil* também possuem essa característica, assim como o *metolaclor* e a *atrazina*, esses últimos também presentes nos mananciais estudados, porém dentro dos limites da portaria MS nº 2.914/2011. Atualmente, mais de 800 substâncias são conhecidamente ou suspeitas de interferir nos receptores hormonais. As consequências da exposição a estas substâncias podem envolver efeitos como os cânceres no sistema reprodutor, puberdade precoce, nascimentos prematuros e baixo peso, assim como a diminuição da fertilidade, entre outros agravos à saúde relatados em diversos estudos envolvendo baixas doses (WHO, 2012).

Os agrotóxicos citados possuem também potencial de carcinogenicidade e mutagenicidade e, portanto, seus efeitos crônicos também não apresentam dose limiar, ou seja, não há um valor de ingestão seguro. A compreensão dos efeitos à saúde humana, assim como dos riscos que a exposição a estas substâncias, presentes no meio ambiente podem trazer, tem sido demonstrado em diversos estudos. Desse modo a tomada de decisão relacionada ao meio ambiente, à saúde e a economia deveriam orientar-se pelo princípio *in dubio pro salute*, a partir do qual essas decisões devem

¹⁶ SISAGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano - Ministério da Saúde. Ano de referência 2016, extraído do sistema dia 20/03/2017 às 08:00h

¹⁷ <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/tebutiuron#section=Metabolism-Metabolites>

pautar-se pela proteção à saúde acima de qualquer outro interesse (VENTURA e BALBINOT, 2015).

Pretende-se assinalar a urgência de um plano regional de monitoramento de agrotóxicos para o estado de São Paulo de acordo com suas especificidades agrícolas e para além da simples análise da água, necessidade esta já identificada por Mario Junior (2013) que ao considerar o potencial de contaminação da água, identificou 86 agrotóxicos considerados de preocupação do ponto de vista de contaminação dos recursos hídricos no estado de São Paulo.

A busca pela qualidade da água de consumo humano tem sido um desafio para gestores em diversos países, a agricultura enquanto fonte difusa de poluição é tema de muitas pesquisas e exige uma visão integradora dos processos existentes nas bacias hidrográficas uma vez que produz um grande impacto na qualidade da água, sobretudo nos períodos chuvosos (SHI *et.al*, 2017). Mais de 347.000 produtos químicos são autorizados em todo o mundo e muitos deles irão entrar em contato com a água durante seu ciclo, o rastreamento e análises dessas substâncias podem ser inviável e ineficiente em nível de descontaminação (FISCHER *et.al*, 2017). Contudo, com a disseminação do uso das tecnologias de informação geográficas é cada vez mais exequível prever e evitar a presença desses contaminantes em água e diminuir o custo de análises e de tratamentos (FISCHER *et.al*, 2017).

Uma das dificuldades mais significativas para o estudo e entendimento da dinâmica dos agrotóxicos nos mananciais de abastecimento, foi a falta de informação e de controle por parte do município nas áreas estudadas. Contudo, a ausência de informação não implica em ausência do problema, a intensificação da agricultura, combinada a intensificação de eventos de fortes chuvas e de estiagem, gerando conflitos no uso da água, e o aumento dos agravos em saúde devido à exposição ambiental, exige um fortalecimento das instituições que devem seguir suas diretrizes visando à proteção à saúde.

Embora com algumas limitações, sobretudo ao que se refere a ausência de calibração dos resultados, a caracterização ambiental da bacia e do seu ciclo hidrológico foram considerados importantes para a identificação das áreas de maior vulnerabilidade quanto ao escoamento de agrotóxicos para os mananciais de abastecimento. Como demonstrado por outros trabalhos o levantamento dessas características é uma estratégia

para melhor gerir a ocupação das bacias hidrográficas e a utilização de contaminantes nessas áreas.

De posse desse material de mapeamento do território e do comportamento da precipitação e de outras variáveis hidrológicas, as ações de controle do uso de agrotóxicos e da vigilância da qualidade da água, tendem a ocorrer de forma mais efetiva e com maior detalhamento da realidade local e de suas particularidades. Esse processo deve acontecer de modo que as autoridades municipais e estaduais responsável pelo meio ambiente, agricultura e saúde trabalhem conjuntamente visando o objetivo comum da qualidade dos mananciais.

Com todos os estudos e informações disponíveis, não se deve mais admitir ações fragmentadas no território tampouco responsabilidades individualizadas e desarticuladas entre os setores. É urgente uma visão integrada dos ambientes naturais, das atividades econômicas existentes e seus impactos ambientais e de saúde.

A partir dos resultados obtidos, recomenda-se ações de controle do uso dos agrotóxicos nas áreas de maior vulnerabilidade, atenção especial para os períodos e eventos de chuva concentradas bem como a preservação das matas ciliares. Em 2017 a ONU reconheceu os impactos dos agrotóxicos como uma questão de Direitos Humanos, desse modo replica-se aqui algumas das recomendações do relatório da ONU visando a diminuição progressiva do uso de agrotóxicos:

(1) Estabelecer políticas integradoras entre agências nacionais de agricultura, saúde pública e o meio ambiente, a fim de cooperarem eficazmente no combate ao impacto adverso dos agrotóxicos e na mitigação dos riscos relacionados com a sua utilização indevida e abusiva; (2) Considerar primeiro as alternativas não-químicas e apenas permiti-las aonde a necessidade possa ser demonstrada, incentivando a agroecologia; (3) Criar zonas-tampão em torno de plantações que receberam aplicação, de forma a reduzir o risco de exposição aos agrotóxicos; (4) Organizar programas de formação para os agricultores a fim de sensibiliza-los aos feitos nocivos dos agrotóxicos e oferecer métodos alternativos; (5) Eliminar os subsídios aos agrotóxicos e, em vez disso, prorrogar medidas de sobretaxa aos produtos.

6. CONCLUSÃO

O uso intenso de agrotóxicos combinado com a degradação dos ambientes naturais, sobretudo em bacias hidrográficas, contribui para os recorrentes cenários de contaminação do solo e da água assim como a alteração do ciclo hidrológico devido o uso e ocupação do solo. Os períodos chuvosos são apontados como os momentos mais críticos e mais propensos a essa contaminação devido ao maior escoamento superficial observado.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a partir das técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagens hidrológicas tem se apresentado como um instrumento importante na identificação de áreas vulneráveis, a partir da caracterização ambiental dessas bacias gerando materiais que subsidiam o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Mesmo em regiões com informações escassas sobre o comportamento hidrológico das áreas de interesse é possível utilizar os modelos e as simulações de forma a estimar os impactos do uso do solo nos mananciais.

Destaca-se que os materiais necessários para mapeamento, como imagens de satélites e bases cartográficas dos municípios são disponibilizados gratuitamente em muitos portais do governo, como IBGE, Agência Nacional de Águas, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, entre outros. De forma que a maior parte das informações necessárias para o reconhecimento das áreas de interesse já estão disponíveis. Do mesmo modo, muitos dos programas necessários para tais análises são de domínio público não havendo necessidade de custo adicional para sua obtenção.

Compete, portanto ao estado ou aos municípios, capacitar seu quadro técnico para a utilização das ferramentas básicas que os estudos de bacias hidrográficas exigem. O reconhecimento do território bem como o levantamento dos agrotóxicos utilizados são medidas importantes para prevenir a contaminação das águas de abastecimento público, obter melhores valores na qualidade da água, diminuir os custos de tratamento e oferecer uma água mais segura à população.

A atenção da Organização Mundial da Saúde (OMS) à exposição da população às substâncias carcinogênicas e aos disruptores endócrinas tem promovido diversas discussões e fórum de debates acerca das consequências dessa exposição e das medidas de proteção à saúde que devem ser tomadas. Assim como também o tema da segurança da água dedica-se a remediações das águas contaminadas e ações de

prevenção a esses contaminantes. A preservação dos mananciais tem sido apontada como uma variável importante nesse processo de prevenção e melhoria na qualidade da água.

Esse controle se faz necessário inclusive para que as regras de utilização de agrotóxicos sejam seguidas, substituindo o uso de substâncias de alta periculosidade ambiental, como por exemplo, daquelas que são indicadas como proibidas para áreas próximas de cursos d'água e regiões com risco de contaminação dos recursos hídricos. O controle desses agrotóxicos deve estar de acordo com as particularidades da bacia de abastecimento, e não se restringir apenas a análise das substâncias previstas na Portaria MS nº 2.914/2011, pois em muitos casos, os parâmetros da portaria estão aquém daqueles presentes nas bacias.

Desse modo, a preservação do manancial pode contribuir para um ciclo hidrológico mais equilibrado, diminuindo o escoamento superficial e o aporte de sedimentos, ao mesmo tempo em que a aplicação de agrotóxicos nessas áreas seja mais controlada de acordo com as características ambientais da bacia diminuindo o risco de seu escoamento para os cursos d'água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR KC; ROUHOLAHNEJAD E; VAGHEFI S; SRINIVASAN R; YANG H; KLØVE, B - A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology* v.524 pp.733-752, 2015.

ANDREOLI CV (org) – Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão: Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu. SANEPAR FINEP, Curitiba, 2003.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Relatório de Atividades 2010/ Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, 2010.

ARMAS ED – Biogeodinâmica de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar (*saccharum spp*) na sub-bacia do rio Corumbataí – Tese doutorado ESALQ/USP, 2006.

ARNOLD J; SRINIVASAN R; MTTIAH R; WILLIAN JR – Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development basin scale model SWAT – *Journal of the American Water Resources Association* v.34, pp. 73-89, 1998.

ARNOLD J; MORIASI DN; GASSMAN PW; ABBASPOUR KC; WHITE MJ; SRINIVASAN R.; SANTHI C; HARMEL RD; GRIENSVEN Van; VANLIEW M. W; KANNAN N; JHA MK. Swat: Model Use, Calibration, and Validation. *ASABE, American Society of Agricultural and Biological Engineers* v.55(4):1491-1508, 2012.

ARTHINGTON AH; PUSEY BJ - Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish : a review - *Marine and Freshwater Research* v. 54 pp. 1-16, 2003.

BAKER TJ; MILLER SN – Using the Soil Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resource in an East African watershed – *Journal of Hydrology* v.486 pp. 100-111, 2013.

BALDISSERA GC – Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT, para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Dissertação de mestrado – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFMT, 2005.

BANNWARTH MA; SANGCHAN W; HUGENSHMIDT C; LAMERS M; INGWERSEN J; ZIEGLER AD; STRECK T – Pesticide transport simulation in a tropical catchment by SWAT – *Environmental Pollution* v. 191, pp.70-79, Elsevier 2014.

BOITHIAS L; SAUVAGE S;TAGHAVI L; MERLINA G; PROBST JL; PÉREZ JMS – Occurrence of metolachlor and trifluralin losses in the Save river agricultural catchment during floods - *Journal of Hazardous Materials* v.196, pp. 210-219, 2011.

BONUMÁ NB; Reichert JM; RODRIGUES MF; MONTEIRO JAF; ARNOLD JG; SRINIVASAN R - Modeling surface hydrology, soil erosion, nutrient transport, and future scenarios with the ecohydrological swat model in Brazilian watersheds and river basins - *Tópicos em Ciência do Solo* 9: 241-290, 2015.

BRASIL. Lei 7802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, experimentação, produção, embalagem e rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, além da propaganda comercial, utilização, importação e exportação, destino final dos resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus

componentes e afins. Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 12 de jul. de 1989. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Ciência e Tecnologia em Saúde. Atuação do Ministério da Saúde no Caso de Contaminação Ambiental por pesticidas organoclorados, na Cidade dos Meninos, Município de Duque de Caxias, RJ. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Ciência e Tecnologia em Saúde. Brasília, Ministério da Saúde, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. – Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Coordenação Geral de Vigilância Em Saúde Ambiental Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano. Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRESSIANI DA; GASSMAN PW; FERNANDES JG; GARBOSSA LHP; SRINIVASAN R; BONUMÁ NB; MENDIONDO ME – Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects - International Journal of Agricultural and Biological Engineering v.8 n.3 pp. 9-35, 2015.

BRODY JG; ASCHENGRAU A; McKELVEY W; RUDEL RA; SWARTZ C; KENNEDY T – Breast Cancer risk and historical exposure to pesticides from wide-area applications assessed with GIS – Environmental Health Perspectives v. 112 n.8, 2004.

CALVERT GM; KARNIK J; MEHLER L; BECKMAN J; MORRISSEY B; SIEVERT J; BARRETT R; LACKOVIC M; MABEE L; SCHWARTZ A; MITCHELL Y; MORAGA-MCHALEY S - Acute Pesticide Poisoning Among Agricultural Workers in the United States, 1998–2005. American Journal Of Industrial Medicine 51:883–898, California, 2008.

CAMARA MRG; CALDARELLI CE – Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo – Estudos Avançados. Universidade de São Paulo, IEA, v. 30 n° 88, pp 93-113, 2016.

CARMO SV; OLIVEIRA AC; BASTOS LH; CARDODO MHW; Otimização e validação de método analítico para determinação de resíduos de agrotóxicos em pimentão – Revista Analytica, jun/jul, 2016.

CARNEIRO FF (Org.) - Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde/ Organização de Fernando Ferreira Carneiro, Lia Giraldo da Silva Augusto, Raquel Maria Rigotto, Karen Friedrich e André Campos Búrigo. - Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CARSON R. Primavera Silenciosa, 2ªed, Edições Melhoramentos, São Paulo, 1962.

CARVALHO FP – Agriculture, pesticides, food security and food safety – Environmental Science&Policy v.9 pp.685-692, 2006.

CHISTOFOLETTI A – Geomorfologia: A análise de Bacias Hidrográficas, 2ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

CONNOLLY NM; PEARSON RG; LOONG D; MAUGHAN M; Agriculture, Ecosystems and Environment Water quality variation along streams with similar agricultural development but contrasting riparian vegetation - Agriculture, Ecosystems and Environment v 213 PP. 11-20, 2015.

COUPE RH – Use of a watershed model to characterize the fate and transport of fluometuron, a soil-applied cotton herbicide, in surface water – International Journal of Environmental Analytical Chemistry, v.87, n.13-14, pp. 883-896, 2007.

CROMLEY EK; MCLAFFERTY S – GIS and public health. The Guilford Press, New York, 2002.

CRUZ, GV - O quadro de contaminação de frutas, legumes e verduras (FLVs) com resíduos de agrotóxicos no Brasil e as oportunidades emergentes. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em agronegócio, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

DI LUIZO M; SRINAVASAN R; ARNOLD J - Integration Of Watershed Tools And Swat Model Into Basins - Journal Of The American Water Resources Association. Vol 38 nº4, 2002.

EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 1).

EMELKO MB;ULDIS S; BLANDON KD; STONE M – Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies – Water Research v. 45, pp.461-472, 2011.

EMBRAPA – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ªed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro, 2006.

FAGGIANO L; ZWART D; GARCIA-BERTHOU E; LEK S; GEVREY M – Patterning ecological risk of pesticide contamination at the river basin scale – Science of the Total Environment 408, pp. 2319-2326, Elsevier 2010.

FAO – Agriculture, food and water. World Water Assesment Programme, UNESCO, FAO, 2003. <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/agricfoodwater.pdf>

FERNANDES JG; GALVÍNCIO JD; FREIRE MBG – O modelo SWAT e suas possibilidades de aplicações em APL agrícolas – Revista Brasileira de Geografia Física v.1 pp. 115-126, 2012.

FERNANDES ML; SARCINELLI PN - Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira – Engenharia Sanitária e Ambiental v 14 pp. 69-78, 2009.

FISCHER A; LAAK T; BRONDERS J; DESMET N; CHRISTOFFELS E; WEZWL A; HOEK JP – Decision support for water quality management of contaminants of emerging concern – Journal of Environmental Management v. 193 pp. 360-372, 2017.

FORNEY W; RICHARD R; ADAMS K; MINOR T; ROWE T; SMITH J; RAUMANN C - Land Use Change and Effects on Water Quality and Ecosystem Health in the Lake Tahoe Basin, Nevada and California - U.S. Geological Survey, 2001.

GEVAERT V; GRIENSVEN AV; HOLVOET K; SEUNTJENS P; VANROLLEGHEM PA – SWAT developments and recommendations for modeling agricultural pesticide mitigation measures in river basins – Hydrological Sciences Journal v.53, pp.1075-1089, 2008.

GILBERT-LÓPEZ B; GARCIA-REYES JF; MOLINA-DÍAZ A – Sample treatment and determination of pesticide residues in fatty vegetable matrices: a review – Talanta v.79 pp.109-128, 2009.

GILLIOM RJ - Pesticides in the Nation's Streams and Ground Water - Environmental Science and Technology, v. 41, n.10, pp. 3408–3414, 2007.

GIULIVO M; ALDA ML; CAPRI E; BARCELÓ D – Human exposure to endocrine disrupting compounds: Their role in reproductive systems, metabolic syndrome and breast cancer. A review – Environmental Research v.151 pp. 251-264, 2016.

GONZALES-INCA C; KALLIOLA R; KIRKKALA T - Multiscale Landscape Pattern Affecting on StreamWater Quality in AgriculturalWatershed, SW Finland – Water Resource Management v.29 pp 1669-1682, 2015.

GOMES MAF. Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011 / Marco Antonio Ferreira Gomes; Robson Rolland Monticelli Barizon.– Jaguariúna, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2014.

GORZA, NL - Remoção de agrotóxicos em instalação piloto de tratamento de águas de abastecimento do tipo convencional, associado à pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular - Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, 2012.

GUANDIQUE MEG; MORAIS LC – Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas - *in* POMPÊO (org.) - Ecologia de reservatórios e interfaces. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

GUO W; FU Y; RUAN B; GE H; ZHAO N – Agricultural non-point source pollution in the Yongding River Basin – Ecological Indicators v.36 pp.254-261, 2014.

GUO X; ZHANG X;CAI Q;SHEN T;ZHU S; Developing a novel sensitive visual screening card for rapid detection of pesticide residues in food – Food Control v.30 pp. 15-23, 2013

HAYES TB; KHOURYA V; NARAYANA A; NAZIRA M; PARKA A; BROWNA T; ADAMEA L; CHANA E; BUCHHOLZB D; STUEVEA T; GALLIPEAUA S - Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*) - Proceedings of the National Academy of Sciences 107, (10) 4612-4617, 2010.

IBGE – Introdução ao Processamento Digital de Imagens – Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, manuais técnicos em geociências (ISSN 0103-9598, 94p) – IBGE, Rio de Janeiro, 2001.

IBGE – Censo Agropecuário. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, Rio de Janeiro 2006.

IBGE – Censo Demográfico 2010 Características Gerais da População. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro 2010.

IBGE – Produção Agrícola Municipal 2014. IBGE, Rio de Janeiro, 2015.

JARDIM ICSF; ANDRADE JA – Resíduo de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global, um enfoque às maçãs – Química Nova v.32 nº4 pp. 996-1012, 2009.

KAMEL F; HOPPIN JA – Association of Pesticide Exposure with Neurologic Dysfunction a disease – Environmental Health Perspectives, v.112, n.9, Annual Review, pp. 950-958, 2004.

KAMINSKA IA; OLDAK A; TURSKI W A – Geographical Information System (GIS) as a tool for monitoring and analyzing pesticide pollution and its impact on public health. Ann Agric Environ Med 2004, 11, 181–184.

LELIS TA; CALIJURI MLA- Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT - Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 5, n. 2, p. 158-174, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.145).

MACHADO RE; VETTORAZZI CA; CRUCIANI DE – Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento – RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos v.8 n.1, PP. 147-155, 2003.

MARIO JUNIOR, R – Identificação dos Agrotóxicos prioritários para a vigilância da água de consumo humano no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, FSP-USP, 2013.

MATTIKALLI N; RICHARDS KS - Estimation of Surface Water Quality Changes in Response to Land Use Change: Application of The Export Coefficient Model Using Remote Sensing and Geographical Information System – Journal of Environmental Management v.48 pp.263-282, 1996.

MENDES CAB; CIRILO JA– Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. ABRH, Porto Alegre, 2001.

MINOTI RT – Abordagens qualitativa e quantitativa de microbacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-superior, SP. Tese de doutorado. ESALQ-USP, São Carlos 2006.

MORO M; A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos - Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.

NEITSCH, S L; ARNOLD, J G; KINIRY, J R; WILLIAMS, J R - Soil & Water Assessment Tool (SWAT) - Instituto de Recurso Hídricos do Texas - Relatório técnico No. 406 Texas A&M University System College Station, Texas, 2011.

NUCKOLS J; WARD M; JARUP L – Using Geographic Information Systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies – Environmental Health Perspectives v. 112, pp.1007-1015, 2004.

OLIVEIRA JB – Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas, Instituto Agrônomo, 1999.

OLIVEIRA JB; Pedologia aplicada 3ªed – FEALQ, Piracicaba, 2008.

PARKER R; ARNOLD JG; BARRETT M; BURNS L; CARRUBBA L; NEITSCH SL; SNYDER NJ; SRINIVASAN R – Evaluation of three watershed-scale pesticide environmental transport and fate models – Journal of the American Water Resources Association v. 43 nº6 pp.1424-1443, 2007.

PAZ VPS; TEODORO REF; MENDONÇA FC - Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PERES F; MOREIRA JC (orgs) - É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. 384 p. SciELO Books <http://books.scielo.org>.

PERES F; MOREIRA JC – Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um polo agrícola do Estado do Rio de Janeiro, Brasil – Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro 23 (612-621), 2007.

PORTO-GONÇALVES CW – A fome e o meio ambiente. In: A globalização da natureza e a natureza da globalização. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 2006.

PRASAD R; REKHA S; NAIK N – Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis – Chemical Health & Safety, nov/dec, 2006

QUANDT SA; CHEN H; GRZYWACZ JG; VALLEJOS QM; GALVAN L; ARCURY TA- Cholinesterase Depression and Its Association with Pesticide Exposure across the Agricultural Season among Latino Farm workers in North Carolina - Environmental Health Perspectives v. 118, nº 5, 2010.

RANDHIR, TO; O'CONNOR R; PENNER PR; GOODWIN DW - A Watershed-based land prioritization model for water supply protection - Forest Ecology and Management v.143 pp. 47-56, 2001.

RENNÓ C; SOARES J - Conceitos básicos de modelagem hidrológica: Capítulo 2. Journal of Chemical Information and Modeling v. 53 pp. 1689-1699, 2013

RESENDE M; CURI, N; REZENDE SB; CORRÊA GF – Pedologia: Base para distinção de ambientes. 5ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2007.

ROOS AJ; BLAIR A; RUSIECKI A; HOPPIN JÁ; SVEC M; DOSEMECI M; SANDLER DP; ALAVANJA MC – Cancer Incidence among Glyphosate- Exposed Pesticide Applicators in the Agricultural Health Study – Environmental Health Perspective, v.113. n.1, pp.49-54, 2005.

ROSS JLS - Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. Revista do Departamento de Geografia nº12, FFLCH-USP, 1998.

SANTOS, CEM - Priorização de fármacos em água destinada ao consumo humano baseada em avaliação da toxicidade e do comportamento ambiental por meio de modelos computacionais (in silico) para fins de gestão ambiental, 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SCHWARZENBACH R; EGLI T; HOFSTETTER T; GUNTEN Urs Von; WEHRLI B - Global Water Pollution and Human Health Annual Review Environmental. Resources. 2010. 35:109–36.

SECRETÁRIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Governo do Estado de São Paulo. Boletim de Recomendações Gerais para a Conservação do solo na Cultura da Cana-de-

açúcar. Grupo de Trabalho - Resolução SAA - 27, de 26-6-2015. Instituto Agrônomo, Campinas, 2016.

SHI P; ZHANG Y; LI Z; LI P; XU H – Influence of land use cover patterns on seasonal water at multi-spatial scales – *Catena* v. 151 p. 182-190, 2017.

SILVA EM - A modernização da agricultura: uma aproximação histórica do caso brasileiro e mexicano (1970-1980) - *Revista Territórios e Fronteiras* V.3 N.1 – Jan/Jun 2010 Programa de Pós-Graduação – Mestrado em História do ICHS/UFMT.

SILVA VA; MOREAU MS; MOREAU AMS ; REGO NA – Uso da terra e perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Colônia, Bahia – *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v. 15 n. 3 pp. 310-315, 2011.

SOARES AFS - Uso de agrotóxicos, contaminação de mananciais e análise da legislação pertinente: um estudo na região de Manhuaçu - MG. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, para a obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2011.

SOARES WL; PORTO MF. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. *Revista Ciencia&Saúde Coletiva*, 12: 131-143, 2007.

SOARES, WL - Uso dos agrotóxicos e seus impactos à saúde e ao ambiente: uma avaliação integrada entre a economia, a saúde pública, a ecologia e a agricultura. Tese (doutorado) Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro 2010.

SPADOTTO CA. Avaliação de riscos ambientais de agrotóxicos em condições brasileiras. Documentos 58, EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, São Paulo, 2006.

STOTZ EM. A “Questão Agrária” e a saúde pública: considerações em torno de uma crítica ao neoliberalismo. *Revista Ciencia&Saúde Coletiva*, 12: 15-24, 2007.

SUDO M; KUNIMATSU T; OKUBO T – Concentration and loading of pesticide residues in Lake Biwa basin (Japan) – *Water Research* 2002, 36(315-329).

TANIWAKI RH; CASSIANO CC; FILOSO S; FERRAZ SFB; CAMARGO PB; MARTINELLO LA - Impacts of converting low-intensity pastureland to high-intensity bioenergy cropland on the water quality of tropical streams in Brazil – *Science of the Total Environment* v.584 pp.339-347, 2017.

TERRA FHB – A indústria de agrotóxicos no Brasil – Dissertação de Mestrado, UFPR, 2008.

TONG STY; CHEN W – Modeling the relationship between land use and surface water quality – *Journal of Environmental Management* v. 66 pp. 377-393, 2002.

TUCCI CEM – Hidrologia: ciência e aplicação. Ed. da Universidade: ABRH, EDUSP, 1993.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Framework Manual: Estimating Physical / Chemical and Environmental Fate Properties with EPI Suite™. EPA-748-B12-001) USA: EPA/OOPT, 2012.

UZEIKA T – Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2009.

VALENTIM LSO; O plano de segurança da água no contexto sanitário paulista – Boletim Epidemiológico Paulista v.12 nº 141, pp.35-40, 2015.

VALERIANO MM; ALBUQUERQUE PCG – Topodata: processamento dos dados SRTM – INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE -16702-RPQ/854) 79p, São José dos Campos, 2010.

VENTURA DFL; BALBINOT RAA - A aplicação judicial das normas da Organização Mundial da Saúde no Brasil: *in dubio pro salute*. Revista de Direito Sanitário v.15 nº3 pp.162-172, 2015.

VINE FM; DEGNAN D; HANCHETTE C – Geographic Information Systems: Their Use in Environmental Epidemiologic Research – Environmental Health Perspectives v. 105 n.6, pp.598-605, 1997.

WARD FA; PULIDO-VELAZQUEZ M - Water conservation in irrigation can increase water use. PNAS v.105, nº 47, pp. 18215–18220, 2008.

WHO – Public health impact of pesticides used in agriculture. World Health Organization, Geneva, 1990. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39772/1/9241561394.pdf>

WHO - Endocrine disrupters and child health: Possible developmental early effects of endocrine disrupters on child health, 2012.

WINCHESTER P, JORDAN H, JUN Y - Agrichemicals in surface water and birth defects in the United States - Acta Pædiatrica/Acta Pædiatrica (ISSN 0803–5253) 98, pp. 664–669, 2009.

ANEXOS 1 – Tabela com os parâmetros dos solos utilizados na geração do modelo

OBJECTID	1	2
MUID	LAT	ARG
SEQN	0	0
SNAM	LATOS	ARGISOL
S5ID	LATOSSOLO	ARGISSOLO
CMPPCT	0	0
NLAYERS	4	3
HYDGRP	B	B
SOL_ZMX	1500	1300
ANION_EXCL	0.38	0.32
SOL_CRK	0.3	0.3
TEXTURE		
SOL_Z1	360	200
SOL_BD1	1.5	1.7
SOL_AWC1	0.3	0.4
SOL_K1	12.5	90
SOL_CBN1	1.1	1.3
CLAY1	30.3	11.7
SILT1	16	18.1
SAND1	53.7	70.2
ROCK1	0	0
SOL_ALB1	0.15	0.15
USLE_K1	0.13	0.14
SOL_EC1	0	0
SOL_Z2	760	550
SOL_BD2	1.7	1.7
SOL_AWC2	0.3	0.4
SOL_K2	12.5	90
SOL_CBN2	0.2	0.6
CLAY2	29.8	18.8
SILT2	14.3	17.2

OBJECTID	1	2
SAND2	55.9	64
ROCK2	0	0
SOL_ALB2	0.15	0.15
USLE_K2	0.14	0.15
SOL_EC2	0	0
SOL_Z3	1210	1300
SOL_BD3	1.7	1.7
SOL_AWC3	0.4	0.7
SOL_K3	12.5	12.5
SOL_CBN3	0.5	0.3
CLAY3	29.5	20.8
SILT3	13.8	18.3
SAND3	56.7	60.9
ROCK3	0	0
SOL_ALB3	0.15	0.15
USLE_K3	0.14	0.16
SOL_EC3	0	0
SOL_Z4	1500	0
SOL_BD4	1.6	0
SOL_AWC4	0.4	0
SOL_K4	12.5	0
SOL_CBN4	0.4	0
CLAY4	35.6	0
SILT4	15.91	0
SAND4	48.5	0
ROCK4	0	0
SOL_ALB4	0.15	0
USLE_K4	0.14	0
SOL_EC4	0	0

Adaptado de Baldissera, 2005 e Oliveira 1999.

SNAM classificação do solo; NLAYERS número de layers de informação; HYDGRP grupo de saturação hidráulica (A, B, C e D); SOL_ZMX profundidade máxima de solo que a raiz alcança (mm); ANION_EXCL fração de porosidade do solo; SOL_Z profundidade de horizonte (mm); SOL_BD densidade do solo (g/cm SOL_AWC a capacidade de água do solo (mm/mm); SOL_K condutividade hidráulica saturada (mm/hr); SOL_CBN conteúdo de carbono orgânico do solo (%peso solo); CLAY argila no solo (%peso solo); SILT silte no solo (%peso solo); SAND areia no solo (%peso solo); ROCK cascalho no solo (% volume); SOL_ALB albedo do solo; USLE_K fator de erodibilidade do solo (0,013 t.m2.hr/m3.t.cm).

ANEXO 2 - Tabela dos Dados climáticos para estação de São Carlos

DADOS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	30.3	29.8	28.4	27.7	24.8	24.8	24.1	27.2	28.6	29.8	28.6	29.8
TMPMN	19.5	19.4	18.7	17.2	14.8	14.2	13.2	13.5	16.3	17.5	18.4	19.2
TMPSTDMX	2.14	1.33	0.91	0.82	0.62	0.65	0.36	0.9	1.11	2.25	0.4	0.22
TMPSTDMN	0.89	0.53	0.26	0.83	0.27	0.57	1.24	0.93	0.82	1.25	0.64	0.6
PCPMM	159.3	150.1	192.5	69.83	80.93	23.2	47.4	11.3	112.5	92.47	206.1	188.9
PCPSTD	22.15	8.22	9.09	5.06	17.35	3.02	4.72	3.73	7.68	11.01	11.39	10.63
PCPSKW	1.3	-1.72	-1.42	-0.09	1.64	0.1	0.85	0.95	-0.36	1.65	0.8	1.4
PR_W1	0.24	0.14	0.15	0.13	0.23	0.17	0.09	0.25	0.31	0.12	0.15	0.2
PR_W2	0.09	0.23	0.28	0.06	0.05	0.02	0.05	0.05	0.1	0.16	0.2	0.23
PCPD	11	13.6	13	6.3	4.3	3.3	5	1.66	7.66	7	12.3	14.3
*RAINHHMX	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
SOLARAV	23.03	19.08	17.28	17.28	14.39	13.2	12.6	18.4	18.4	22.98	20.13	21.73
DEWPT	15.5	15.8	14.6	10	8.9	8.2	8.5	8.9	13.7	14.9	17.9	20.2
WNDVAV	0.95	0.9	0.78	1.11	0.92	0.97	1	1.13	1.34	1.31	1.08	1.08

Tabela dos Dados climáticos para estação de Sorocaba

DADOS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	31.3	31.8	29.1	27.4	25.6	24.7	23.9	27.3	27.6	29.2	28.9	30.3
TMPMN	20.7	21.2	19.7	17.5	15.3	14.3	13.2	13.4	16.2	17.3	19.2	20.3
TMPSTDMX	2.7	1.85	0.69	0.52	0.42	0.72	0.3	0.92	0.8	1.8	0.21	0.5
TMPSTDMN	1.11	1.1	1.1	0.48	0.4	0.19	0.85	1.2	0.79	0.94	0.8	0.5
PCPMM	146.3	91.3	111	80.67	53.03	57.5	67.3	17.4	109	66.9	178	172.2
PCPSTD	9.092	10.02	13.97	9.291	5.144	13.9	3.63	0.157	4.663	6.458	9.778	8.056
PCPSKW	0.37	1.5	-0.8	-0.63	0.74	1.71	1.36	-1.4	1.35	-1.5	-1.6	-0.44
PR_W1	0.2	0.15	0.16	0.07	0.08	0.08	0.11	0.04	0.14	0.15	0.2	0.16
PR_W2	0.19	0.1	0.11	0.05	0.06	0.03	0.14	0.05	0.14	0.05	0.16	0.12
PCPD	12	7.3	9.3	4	4.6	4	7.3	2.3	8.6	6	12	9.3
RAINHHMX	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
SOLARAV	21.88	20.15	16.7	17.28	12.67	13.8	12.1	17.28	17.79	21.25	18.4	20.73
DEWPT	15.2	13.2	12.2	9.4	8.7	7.7	7.7	8.8	14.6	16.7	19.4	19.4
WNDVAV	0.92	0.79	0.79	0.81	0.57	0.72	0.64	0.8	1	1.22	0.94	1.03

Adaptado dos dados do INMET. TMPMX: Temperatura máxima (°C); TMPMN: Temperatura mínima (°C); TMPSTDMX: Desvio padrão da temperatura máxima (°C); TMPSTDMN: Desvio padrão da temperatura mínima (°C); PCPMM: Precipitação média (mm); PCPSTD: Desvio padrão da precipitação (mm); PR_W1: Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias secos (%); PR_W2: Probabilidade de dias úmidos seguidos de dias úmidos (%); PCPSKW: Coeficiente de assimetria para a precipitação máxima; PCPD: Número de dias de precipitação (dias); RAINHHMX: Precipitação máxima de 0,5 hora (mm); SOLARAV: Radiação solar (MJ m⁻² dia⁻¹); DEWPT: Temperatura no ponto de orvalho (°C); e WNDVAV: Velocidade do vento (m s⁻¹).

*Ausência de informação, código para que o campo seja calculado pelo modelo.

Dados gerais | Formação | Atuação | Projetos | Produções | Eventos | +

Denise Piccirillo Barbosa da Veiga

Bolsista de Mestrado do CNPq

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/6427740067324613>

Última atualização do currículo em 27/03/2017

Bacharelado em Geografia pela Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas-USP. Pesquisa na área de Geografia Agrária e Geografia Humana, com ênfase na produção camponesa e nos Programas de Aquisição de Alimentos. Licenciatura em Geografia pela Faculdade de Educação - USP. Mestrado em andamento na Faculdade de Saúde Pública - USP, na área de Saúde Ambiental, com o projeto de pesquisa sobre áreas contaminantes de águas superficiais por agrotóxicos. Experiência profissional em Geoprocessamento e Licenciamento Ambiental. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome

Denise Piccirillo Barbosa da Veiga

Nome em citações bibliográficas

PICCIRILLO, DBV

Endereço

Formação acadêmica/titulação

2015

Mestrado em andamento em Saúde Pública (Conceito CAPES 6).
Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Título: Agrotóxicos e águas superficiais de abastecimento público do estado de São Paulo: O impacto do uso do solo na contaminação de bacias hidrográficas, Orientador:

Adelaide Cassia Nardocci.

Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.

Palavras-chave: Agrotóxicos; Manancial de Abastecimento; Escoamento superficial; SWAT.

Grande área: Ciências da Saúde

Grande Área: Ciências da Saúde / Área: Saúde Coletiva / Subárea: Saúde Pública.

2009 - 2014

Graduação em Geografia.

Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Título: O PNAE e a agricultura camponesa - Estratégias de reprodução frente aos avanços da silvicultura.

Orientador: Valéria de Marcos.

2004 - 2006

Ensino Médio (2º grau).

Marques de São Vicente, EE, Brasil.

Atuação Profissional

Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Vínculo institucional

2015 - Atual

Vínculo: Bolsista, Enquadramento Funcional: Mestranda, Regime: Dedicação exclusiva.

Atividades

[Dados gerais](#) | [Formação](#) | [Atuação](#) | [Projetos](#) | [Produções](#) | [Educação e Popularização de C & T](#) | [Eventos](#) | [Orientações](#) | [Bancas](#) | [Citações](#) | + **Adelaide Cassia Nardocci** Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/7211771211059721> Última atualização do currículo em 11/01/2017

Sou Bacharel em Física pela Universidade Estadual de Londrina (1987), mestre em Engenharia Nuclear pela Coordenação dos Programas de Pós Graduação Em Engenharia (COPPE/UFRJ) (1990) e doutora em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo (1999). Tenho pós-doutorado pela Universidade de Bologna (2008) e Livre-docência pela USP (2010). Sou professora associada do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Minha atividade de pesquisa atual tem ênfase em Avaliação e Gerenciamento de Riscos Ambientais, em especial: avaliação quantitativa de exposições e riscos de agentes químicos e microbiológicos; gerenciamento de riscos; percepção de riscos; saúde ambiental.

(Texto informado pelo autor)

Identificação

Nome

Adelaide Cassia Nardocci

Nome em citações bibliográficas

NARDOCCI, A. C.; NARDOCCI, ADELAIDE CÁSSIA

Endereço

Endereço Profissional

Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública.
AVENIDA DR ARNALDO, 715
CERQUEIRA CESAR
01246-904 - São Paulo, SP - Brasil
Telefone: (11) 30617887
Fax: (11) 30617732
URL da Homepage: www.fsp.usp.br

Formação acadêmica/titulação

1995 - 1999

Doutorado em Saúde Pública (Conceito CAPES 6).
Universidade de São Paulo, USP, Brasil.
Título: Risco como Instrumento de gestão ambiental, Ano de obtenção: 1999.
Orientador: Carlos Celso do Amaral e Silva.
Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.
Palavras-chave: avaliação de riscos; gestão ambiental; gerenciamento de riscos; saúde ambiental.
Grande área: Ciências da Saúde

1988 - 1990

Mestrado em Engenharia Nuclear.
Coordenação dos Programas de Pós Graduação Em Engenharia, COPPE/UFRJ, Brasil.
Título: Desenvolvimento de um sistema de medidas de conteúdo mineral ósseo `in vivo` usando raios gama monoenergéticos, Ano de Obtenção: 1990.
Orientador: Ricardo Tadeu Lopes.
Bolsista do(a): Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, Brasil.
Palavras-chave: Atenuacao da Radiação; Densidade Ossea; Instrumentação Nuclear; interação da radiação com a matéria.
Grande área: Engenharias

1983 - 1987

Graduação em Bacharel em Física.
Universidade Estadual de Londrina, UEL, Brasil.
Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.

Pós-doutorado e Livre-docência

2010

Livre-docência.
Universidade de São Paulo, USP, Brasil.