



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

HERMAM VARGAS SILVA

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O PLANO DIRETOR:  
A EXPERIÊNCIA EM MARINGÁ-PR**

---

Londrina  
2025

HERMAM VARGAS SILVA

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O PLANO DIRETOR:  
A EXPERIÊNCIA EM MARINGÁ-PR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Jose Paulo Peccinini Pinese.

Londrina  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

S586 Silva, Hermam Vargas .  
As águas subterrâneas e o plano diretor: : a experiência em Maringá-Pr / Hermam Vargas Silva. - Londrina, 2025.  
174 f. : il.

Orientador: Jose Paulo Peccinini Pinese.  
Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. geografia urbana - Tese. 2. plano diretor - Tese. 3. águas subterrâneas - Tese. 4. hidrogeologia urbana - Tese. I. Pinese, Jose Paulo Peccinini . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

HERMAM VARGAS SILVA

**AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O PLANO DIRETOR:  
A EXPERIÊNCIA EM MARINGÁ-PR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Jose Paulo Peccinini Pinese  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Lúcio José Sobral da Cunha  
Universidade de Coimbra - UC

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe  
Universidade de São Paulo - USP

---

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dra. Danielle de Almeida Bressiani  
Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Londrina, 25 de abril de 2025.

Aos meus pais, minha fonte de inspiração nesta vida, Glória e Hermes

As mulheres da minha vida que me fizeram forte e que me ensinam a nunca desistir.

A Thais, minha filha como um incentivo a sua vida. A Val, minha esposa e companheira nesta vida, sem a qual esta tese ficaria à beira da estrada. A Minhas netas, Liz e Clara, como um exemplo de esforço e de dedicação pela natureza e pelo homem.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Estadual de Londrina, pela aceitação no PPGEQ.

Ao meu querido amigo e orientador, Prof Dr. José Paulo, meu querido “Ditão” pela confiança, paciência e pelo acompanhamento nas fases desta tese.

Aos professores do curso pela demonstração de competência no trato da questão educacional “nos tempos da pandemia”, que inovaram na didática das aulas.

Aos colegas do curso pelos bons e maus momentos vividos pela “telinha”, tenho a certeza de que aprendemos um pouco mais da vida.

## RESUMO

SILVA, Herman Vargas. **A águas subterrâneas e o plano diretor**: a experiência em Maringá - PR. 2025. 174 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

As ideias deste trabalho, fruto da vivência profissional, começaram a fazer sentido a partir da Constituição Cidadã de 1988, onde o município passa a ser considerado como um “ente federativo” e com isso ganha mais responsabilidades. A partir do conceito do federalismo compartilhado, que nivela e relaciona os direitos e os deveres, inicia-se uma nova era de relacionamento federativo. O método utilizado *a priori* foi a pesquisa participante, pois durante esses anos sempre participei de discussões para a melhoria do ambiente municipal, no COMDEMA (Comissão de Meio Ambiente), também como funcionário público (estadual e municipal) e como participante das discussões técnicas para a revisão do PDM para Maringá. Utilizou-se também o geossistema, através da interpretação de dados organizados e trabalhados pelo programa livre QGIS; do SIAGAS – SGB e de equações para o cálculo da recarga para o sistema aquífero Serra Geral, além de dados obtidos do HIDROWEB - ANA. O município pode e deve se preocupar com as águas subterrâneas, sempre em convênio com o Estado (ente gestor das águas subterrâneas), uma vez que é o responsável pelo saneamento (onde existe a figura da concessão ou da execução do serviço de captação e distribuição de água), saúde (que tem na vigilância sanitária a obrigação da fiscalização da qualidade da água), o uso da terra (que é o maior agente de uso da água e o principal vetor de sua contaminação) e de maneira concorrente, a área ambiental (que vai licenciar empreendimentos com uma visão tripolar (locacional, projetos e implantação e, funcionamento de atividades locais). São termos que deveriam ser apontados no PDM e são relegados a invisibilidade, produto da insensibilidade técnica dos planejadores. A primeira discussão está pautada na irrelevância dos 10% de área de infiltração, uma vez que os solos do Sistema Aquífero Serra Geral são argilosos e por uma enorme diferença de velocidade de infiltração, entre solo e formação geológica, não conseguem fazer frente a necessidade da cidade. Por outro lado, nas áreas mais vulneráveis a contaminação não é devidamente conhecida, ocasionando problemas de contaminação no aquífero. Não estão implantados perímetros de proteção dos poços tubulares e nem regras técnicas para a perfuração e manutenção. Uma vez que são obras de engenharia e devem estar contemplados no Código de Edificações e Posturas Básicas do município e, no conjunto de normas técnicas a serem seguidas. O município não apresenta áreas de vulnerabilidades preocupantes, mas a falta de estudos torna o risco da contaminação mais real. Os dados apresentados não se mostraram condizentes com a necessidade, mostrando discrepâncias e inadequações, principalmente vazão estabilizada e vazão específica, que devem estar relacionadas e, a análise estatística observou que não existe correlação. São dados tomados em anos diferentes. A ideia de segurança hídrica para as águas subterrâneas tem tornado o recurso vital para o suprimento, modificando o ciclo hidrológico decorrente do aumento de descarga que está em evolução contínua e vai reduzir seriamente a resiliência da infraestrutura urbana. E o PDM não tece considerações a esse respeito. Temos um plano funcional voltado aos problemas de construção, de pavimentação e não de desenvolvimento integral da cidade. Com isso em mente é necessária uma tomada de consciência legislativa com relação a não inclusão desta preocupação no PDM, assim está proposto um projeto de lei (que está em anexo e sendo discutido pela câmara legislativa) que promove a segurança hídrica das águas subterrâneas para o município de Maringá.

**Palavras-chave:** plano diretor; águas subterrâneas; hidrogeologia urbana; gestão hídrica subterrânea municipal; poços e uso da terra.

## ABSTRACT

SILVA, Herman Vargas. **Groundwater and the master plan: the experience in Maringá, PR.** 2025. 174 p. Dissertation (Doctorate in Geography) – State University of Londrina, Londrina, 2025.

This work came from professional experience. The ideas began to make sense after the Citizen Constitution of 1988, where the municipality began to be considered a “federative entity” and thus gained more responsibilities. Based on the concept of shared federalismo, which levels and relates rights and duties, a new era of federative relationship begins. The method used a priori was participatory research, because during these years I have always participated in discussions for the municipal environment, in COMDEMA (municipality environmental commission), also as a public servant (State and municipal) and as a participant in the technical discussions for Maringá PDM review. The geosystems was also used, through the interpretation of data collected through the QGIS freeware and SIAGAS – SGB and equations for calculating recharge for the Serra Geral system aquifer, in addition to data obtained from HIDROWEB-ANA. The municipality can and should be concerned with groundwater, always in agreement with the State (the entity managing groundwater), since it is responsible for sanitation (where there is the figure of execution of the water collection and distribution service), health (which has the obligation of monitoring water quality in the health surveillance), land use (which is the largest agent of water use and the main vector of its contamination) and, concurrently, the environmental area (which will license the enterprise with a three points, location, project and implementation and, operation for local activities). These are terms that should be included in the PDM but are relegated to invisibility of the planners. The first discussion is based on the irrelevance of the 10% for infiltration area, since the soils of the Serra Geral Aquifer System are clayey and, due to a huge difference in infiltration speed between the soil and the geological formation, cannot meet the needs of the city. On the other hand, the areas most vulnerable to contamination are not properly known, causing problems with aquifer contamination. There are no protection perimeters for tubular wells or technical rules for drilling and maintenance. Since these are engineering works, they must be included in the Building and Basic Regulations Code and to be followed in a set of technical standards. The municipality does not have areas of concern for vulnerability, but the lack of studies makes the risk of contamination more real. The data presented did not prove to be consistent with the need, showing discrepancies and inadequacies, mainly stabilized flow, which must be related, and the statistical analysis observed that there is no correlation. The data are taken from different years. The idea of water security for groundwater has made for supply, modifying the hydrological cycle due to the increase in discharges that are continually evolving and will seriously reduce the resilience of the urban infrastructure. And the PDM does not consider this. Our functional plan focuses on construction and paving problems and not on the integral development of the city. With this in mind, legislative awareness is needed regarding the non-inclusion of this concern, so a law project is proposed (which is attached and being discussed by the legislative chamber) that promotes water security for groundwater for the municipality of Maringá.

**Key-words:** municipal master plan; groundwater; municipal groundwater management; wells and land use.

## RESUMEN

SILVA, Herman Vargas. **Las aguas subterráneas y el plan director**: la experiencia en Maringá - PR. 2025. 174 p. Tesis (Doctorado en Geografía) – Universidad Estatal de Londrina, Londrina, 2025.

Este trabajo surgió de la experiencia profesional. Las ideas empezaron a tener sentido con la Constitución Ciudadana de 1988, donde el municipio pasó a ser considerado una “entidad federativa” y así ganó más responsabilidades. A partir del concepto de federalismo compartido, que nivela y relaciona derechos y deberes, se inicia una nueva era de relaciones federativas. El método utilizado a priori fue la investigación participativa ya que durante estos años siempre participé de discusiones para mejorar el medio ambiente municipal, en la COMDEMA (Comisión de Medio Ambiente), también como empleado público (estatal y municipal) y como participante en discusiones técnicas para la Revisión del PDM de Maringá. También se utilizó el geosistema, mediante la interpretación de datos recopilados a través del QGIS y del SIAGAS – SBG y ecuaciones para el cálculo de recarga del sistema acuífero Serra Geral, además de los datos obtenidos de HIDROWEB – ANA. El municipio puede y debe preocuparse por las aguas subterráneas, siempre de acuerdo con el Estado (entidad que gestiona las aguas subterráneas), ya que le corresponde el saneamiento (donde existe la figura de concesión o ejecución del servicio de captación y distribución de agua), la salud (que tiene en la vigilancia sanitaria la obligación de monitorear la calidad del agua), el uso del suelo (que es el mayor agente de uso del agua y el principal vector de su contaminación) y, de manera concurrente, el área ambiental (que licenciará un emprendimiento con visión tripolar – localización, proyectos e implementación y operación de actividades locales). Son términos que deberían ser mencionados en el PDM y que quedan relegados a la invisibilidad, producto de la insensibilidad técnica de los planificadores. La primera discusión se basa en la irrelevancia del área de infiltración del 10%, ya que los suelos del Sistema Acuífero Serra Geral son arcillosos y debido a una gran diferencia en la velocidad de infiltración, entre el suelo y la formación geológica, no pueden cubrir las necesidades de la ciudad. Por otro lado, no se conocen adecuadamente las zonas más vulnerables a la contaminación, generando problemas de contaminación de los acuíferos. No existen perímetros de protección para los pozos tubulares ni normas técnicas de perforación y mantenimiento. Ya que son obras de ingeniería y deben estar incluidas en el Código de Edificación y Posturas Básicas y en el conjunto de normas técnicas a seguir. El municipio no presenta áreas de vulnerabilidades preocupantes, pero la falta de estudios hace más palpable el riesgo de contaminación. Los datos presentados no fueron consistentes con la necesidad, mostrando discrepancias e insuficiencias, principalmente caudal estabilizado y caudal específico que debe relacionarse y el análisis estadístico observo que no existe correlación. Son datos tomados en diferentes años. La idea de seguridad hídrica para las aguas subterráneas ha hecho que el recurso sea vital para el abastecimiento, modificando el ciclo hidrológico resultante del aumento de vertidos, que evoluciona continuamente y reducirá gravemente la resiliencia de las infraestructuras urbanas. Y el PDM no hace ninguna consideración al respecto. Tenemos un plan funcional enfocado a los problemas de construcción y pavimentación y no al desarrollo integral de la ciudad. En este sentido, es necesaria una conciencia legislativa sobre la no inclusión de esta preocupación, por lo que se propone un proyecto de ley (que se adjunta al fin de este trabajo y está en discusión en la cámara legislativa) que promueva la seguridad hídrica en las aguas subterráneas para el municipio de Maringá.

**Palabras clave:** plan director municipal; aguas subterráneas; gestión municipal de aguas subterráneas; pozos y uso de la tierra.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da Região Metropolitana de Maringá- PR .....	16
<b>Figura 2</b> - Passos metodológicos para a realização do estudo .....	20
<b>Figura 3</b> - Relação da bacia do rio Pirapó, com o município de Maringá e a sua área urbana, com o posto fluviométrico .....	23
<b>Figura 4</b> - Variograma para a variável nível estático (a) e dinâmico (b).....	26
<b>Figura 5</b> - Usos da água subterrânea na cidade.....	31
<b>Figura 6</b> - Evolução do uso setorial da água no Brasil .....	32
<b>Figura 7</b> - Tipo de manancial usado para abastecimento urbano .....	33
<b>Figura 8</b> - Abastecimento de sedes urbanas por manancial subterrâneo, em relação as regiões brasileiras e a vazão explotada .....	34
<b>Figura 9</b> - Alterações na profundidade e na distância dos poços tubulares durante o crescimento da cidade.....	36
<b>Figura 10</b> - Impacto urbano sobre o ciclo das águas. As flechas vermelhas indicam fluxos de água que foram modificados ou introduzidos pela urbanização.....	37
<b>Figura 11</b> - Relação entre a degradação e o retardo do contaminante .....	42
<b>Figura 12</b> - Relação entre concentração relativa da poluição e a proporção de recarga afetada .....	43
<b>Figura 13</b> - Relação entre a carga hidráulica e a profundidade da descarga.....	43
<b>Figura 14</b> - Relação entre a duração (tempo) e a probabilidade de ação da carga contaminante .....	44
<b>Figura 15</b> - Método GOD esquematizado para aplicação em cartografia de vulnerabilidade.....	46
<b>Figura 16</b> - Representação gráfica dos parâmetros DRASTIC .....	47
<b>Figura 17</b> - Conceito de área de proteção para poços tubulares e as prováveis restrições de uso.....	61
<b>Figura 18</b> - Zonas de captura e os perímetros para o tempo de trânsito ao redor de um poço .....	63
<b>Figura 19</b> - Mapa de localização da área de estudo.....	67
<b>Figura 20</b> - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná .....	71
<b>Figura 21</b> - Subdivisão das camadas da Grupo Serra Geral .....	73
<b>Figura 22</b> - Distribuição dos tipos de solo pra ao município de Maringá-PR.....	75

<b>Figura 23</b> - Localização dos poços da SANEPAR .....	80
<b>Figura 24</b> - Análise de correlação dos dados obtidos no sítio eletrônico SIAGAS .....	82
<b>Figura 25</b> - Lineamentos para o município.....	84
<b>Figura 26</b> - Densidade de Lineamentos .....	85
<b>Figura 27</b> - Ao centro uma concentração de poços na área central e a esquerda, concentração de poços na área industrial .....	86
<b>Figura 28</b> - As isolinhas de profundidade baseados no NE para o município .....	87
<b>Figura 29</b> - As isolinhas de profundidade baseados em ND para o município.....	87
<b>Figura 30</b> - Direções de fluxo baseados no NE para área urbana.....	88
<b>Figura 31</b> - Distribuição dos poços pelos períodos escolhidos para análise da direção de fluxo e do comportamento dos níveis estáticos.....	89
<b>Figura 32</b> - Delimitação da área de análise para interpolação dos dados piezométricos .....	90
<b>Figura 33</b> - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 1995 até 1999.....	91
<b>Figura 34</b> - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2000 até 2004.....	92
<b>Figura 35</b> - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2005 até 2009.....	93
<b>Figura 36</b> - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2010 até 2014.....	94
<b>Figura 37</b> - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2015 até 2019.....	95
<b>Figura 38</b> - Localização de concentração de poços tubulares na região residencial central do município (zona 1).....	97
<b>Figura 39</b> - Tendências do fluxo baseado nos NE para a área central .....	100
<b>Figura 40</b> - Tendências do fluxo baseado nos NE para a área industrial .....	100
<b>Figura 41</b> - Tendências do fluxo baseado nos ND para a área industrial .....	101
<b>Figura 42</b> - Tendências do fluxo baseado nos ND para a área central.....	101
<b>Figura 43</b> - Zoneamento de vulnerabilidade mostrando as áreas de lineamentos .....	103
<b>Figura 44</b> - Zoneamento de vulnerabilidade mostrando a hidrografia e os poços outorgados .....	103
<b>Figura 45</b> - Locais para observações .....	104
<b>Figura 46</b> - Relação entre sepultamentos por ano e a avaliação da vulnerabilidade.....	109

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS</b> .....	18
2.1	PROCEDIMENTOS .....	20
2.1.1	Separação do Escoamento de Base .....	21
2.1.2	Dados Hidrológicos .....	22
2.1.3	Taxa de Recarga para o Aquífero .....	24
2.1.4	Precipitação Média .....	24
2.1.5	Informações sobre os Solos .....	24
2.1.6	Coeficiente de Escoamento .....	24
2.1.7	Evapotranspiração .....	25
2.1.8	Para as análises dos dados de NE e ND .....	25
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	27
3.1	OBJETIVO GERAL .....	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
<b>4</b>	<b>RECARGA DE AQUÍFEROS URBANOS</b> .....	28
<b>5</b>	<b>IMPACTOS DO USO DA TERRA NA HIDROGEOLOGIA URBANA</b> <b>– ATIVIDADES TECNOGENÉTICAS</b> .....	30
5.1	CLASSIFICAÇÃO DE USO DA TERRA NO MEIO URBANO .....	30
5.2	ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DA TERRA URBANA NA DINÂMICA HIDROGEOLÓGICA .....	38
<b>6</b>	<b>VULNERABILIDADE E GESTÃO DE AQUÍFEROS</b> .....	41
<b>7</b>	<b>ESTRATÉGIAS DE GESTÃO INTEGRADA PARA ÁREAS</b> <b>URBANAS</b> .....	48
<b>8</b>	<b>A INTERDEPENDÊNCIA ENTRE A POLÍTICA DE USO DA</b> <b>TERRA E A EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES</b> .....	53
8.1	INTRODUÇÃO .....	53
8.2	O USO DA TERRA, SUAS CATEGORIAS, INFLUÊNCIAS E DESAFIOS PARA A HIDROGEOLOGIA URBANA.....	55
8.3	RELAÇÃO ENTRE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E AS ÁREAS DE RECARGA NO PLANO DIRETOR .....	56
8.4	O PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DOS POÇOS TUBULARES.....	60

<b>9</b>	<b>UMA ANÁLISE ESPACIAL PARA O MUNICÍPIO DE MARINGÁ</b> .....	66
9.1	INTRODUÇÃO.....	66
9.2	O MUNICÍPIO DE MARINGÁ- PR.....	66
9.3	O MEIO FÍSICO .....	68
9.3.1	Clima .....	69
9.3.2	Geomorfologia .....	69
9.3.3	Geologia e Hidrogeologia.....	69
9.3.4	Pedologia .....	74
<b>10</b>	<b>OBSERVAÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE MARINGÁ</b> .....	76
10.1	INTRODUÇÃO AS ANÁLISES PARA O MUNICÍPIO .....	76
10.2	SOBRE OS DADOS APRESENTADOS PARA VAZÃO ESTABILIZADA E VAZÃO ESPECÍFICA .....	81
10.3	SOBRE A ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DO AQUIFERO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO .....	102
<b>11</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	112
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	118
	<b>APÊNDICES</b> .....	136
	APÊNDICE A– ARTIGO 1 A SER APRESENTADO PARA PUBLICAÇÃO ..	137
	APÊNDICE B - ARTIGO 2 A SER APRESENTADO PARA PUBLICAÇÃO ..	155
	<b>ANEXO</b> .....	172
	ANEXO 1 – PROPOSTA DE LEI APRESENTADA A CÂMARA LEGISLATIVA DE MARINGÁ.....	173

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 60, até os anos 70, a demanda pelo consumo de águas subterrâneas aumentou consideravelmente, associada diretamente com o crescimento da população, aliado ao desenvolvimento econômico da cidade e do campo. Este crescimento (da utilização dos poços) está consoante com as épocas de seca que provocam a diminuição da quantidade das águas superficiais (ANA, 2024).

As principais vantagens para o uso das águas subterrâneas são, segundo (Conicelli *et al.*, 2021):

- o custo da construção dos poços tubulares, profundos ou rasos é, geralmente menor que o custo das obras para captação das águas superficiais, da construção de represas e estações de tratamento;
- e, na maioria das vezes, a sua qualidade é adequada ao consumo humano, não existindo a necessidade de tratamento. Não acontecem episódios de composição química inadequada para alguns usos, devido às suas interações com as rochas do aquífero entre outras características.

As desvantagens se situam em casos onde existem contaminação do recurso e baixa vazão do poço tubular por existência de *aquitard* ou pior, de um aquífugo. Assim, os poços tornaram-se uma alternativa bastante interessante para as pequenas e médias cidades, e para agrupamentos rurais.

Com relação à qualidade pode-se vislumbrar as possibilidades de contaminação por várias fontes, que atingem o solo, acarretando consequências imprevisíveis. A principal delas é o aumento do custo do tratamento, mostrando que os problemas não serão resolvidos no curto prazo.

Esta importância não se mostra somente na questão da qualidade, mas é na caracterização da quantidade que se torna mais visível. Por outro lado, as alterações climáticas estão levando as cidades a procurarem alternativas para o abastecimento da sua população e com isso indo de encontro com a utilização de águas subterrâneas.

Relevância deste trabalho está baseada na informação que está disponível para uma gestão mais coerente e técnica da hidrogeologia de uma região e, principalmente para o meio urbano, para o abastecimento das cidades e das interferências que o uso da terra pode acarretar na quantidade e na qualidade do recurso.

Este estudo se justifica pela importância atual do tema, como reconhecido pelo IPCC (2023), que avalia a interdependência do clima e suas alterações na sociedade humana. Estas alterações tem causado substanciais impactos que continuam se intensificando, principalmente na utilização do recurso “água” para a utilização nas atividades antrópicas (abastecimento de água potável, irrigação, saúde pública e como insumo para o processo industrial, entre outros usos da terra<sup>1</sup>). Aqui se destaca o uso das águas subterrâneas, que pouco são levadas em consideração nos planos de desenvolvimento, como mostram os trabalhos de Foster, Hirata, Garduño, Tuinhof, entre vários outros autores, que refletem uma grande preocupação desde a década de 90 e que são relacionados no capítulo 4, 5, 6, 7 e 8 nas discussões do capítulo 9. O relatório do IPCC reconhece a interdependência do clima com o ecossistema e a biodiversidade, com a sociedade humana e os valores diversos do conhecimento e, faz uma estreita ligação entre adaptação às mudanças climáticas, a mitigação dos seus efeitos, a saúde do homem e seu bem estar e os ecossistemas, levando em consideração a história geológica do planeta (Eerola, 2003), além do desenvolvimento econômico sustentável. Toda esta discussão está relacionada com o uso das águas subterrâneas para e, pelo homem, na sua efetuação na superfície do planeta. Além de tocar nas discussões do direito onde o sujeito não humano é fundamental para a sobrevivência do ser humano no planeta (Souza-Fernandes, 2021, Souza-Fernandes; Fernandes, 2025).

O papel do governo federal é estabelecer a política geral, por sua vez o Estado proporciona a outorga e as características de apropriação do recurso subterrâneo e o município, com as suas responsabilidades de gestão local, ainda não tem claro o seu método de ação. Este trabalho quer discutir a inserção desta responsabilidade partindo das orientações do PDM (Plano Diretor Municipal). O aquífero pode ser considerado um “sujeito de direito” desde que considere o uso da terra e a ordenação do solo, a proteção do ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas, abrangendo os limites do seu território, em lei municipal observando a sua proteção (Souza-Fernandes; Fernandes, 2025).

Com isso, estabelecer conceitos gerais para a gestão do recurso hídrico subterrâneo pelo município, segundo o interesse local, assim, saúde da população, saneamento (produção de água potável, para a população e para a indústria), gestão ambiental do recurso hídrico (uso e manutenção da qualidade e quantidade), e na proposição de zoneamento (proteção de fontes e surgências, proteção de poços tubulares e áreas de recarga dos aquíferos), incluindo a

---

<sup>1</sup> A modificação da superfície terrestre pelas atividades humanas (cultura, construção) e características físicas (kirk, 2020).

observação de normas construtivas. A partir daí, intervir na legislação que será derivada das políticas públicas advindas das discussões do PDM.

Nesse sentido, o projeto pretende analisar o papel do município na proteção das águas subterrâneas, com base em suas competências e verificar que ações esse “ente” podem adotar para proteger os recursos hídricos subterrâneos com base no direito e com o suporte da hidrogeologia. Para atingir esse objetivo, foram analisadas as competências do município na gestão das águas e do solo, bem como, sua utilização como balizador do PDM. Por fim, com base na hidrogeologia, se apresentam estratégias e ferramentas que podem ajudar o município, através do PDM a promover uma melhor gestão dos aquíferos.

A metodologia utilizada para se alcançar o objetivo proposto passou pela análise da literatura especializada e da legislação constitucional e infraconstitucional, com destaque a Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938/1981; Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997, e a Política Nacional de Saneamento, Lei nº 11.445/2007 e o novo Marco legal do Saneamento, Lei nº 14.026/2020.

Com isso colocar para o estudo a importância do PDM e discutir a inserção do tópico – gestão das águas subterrâneas, alterando o discurso urbanista corrente, de planejamento sem as variáveis ambientais, sem o monitoramento dos recursos hídricos, principalmente os que estão subterrâneos (Young; Sedoura, 2019).

A sociedade moderna se organiza através da promulgação de legislação. O PDM é um método dialógico, que compreende a organização social pela discussão, através dos seus representantes e dos interesses presentes na sociedade, das suas normas, regras e planos (Silva; Farias, 2020).

A expressão dos interesses que subsistem no território do município é objetivada numa negociação que é apresentada no PDM, foi instituído pela Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001 (Brasil, 2001), que regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana (Brasil, 1988). E que pressupõem ações de organização para o desenvolvimento e conservação dos recursos naturais dentro da área do município (ABNT, 1992). O PDM também tem a função de analisar a potencialidade de proteção de espaços territoriais protegidos, tais como, as áreas de recarga do aquífero que abastece a cidade (Campanhão; Fontes; Souza, 2014). Destaca-se aqui o desafio imposto ao ordenamento territorial urbano pela superposição da cidade ao aquífero, o que desempenha um fator determinante para a preservação da qualidade e da quantidade deste recurso (Seraphim; Bezerra, 2019).

O Plano Diretor Municipal – PDM, instrumento contido na Constituição Federal de 1988, orienta a construção da política urbana na esfera municipal, na qual os conflitos são evidenciados de forma mais intensa, por ser a escala em que os agentes sociais se relacionam e colocam em prática seus interesses políticos e econômicos.

O Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), por sua vez, qualifica o PDM como Plano Diretor Participativo por meio dos instrumentos de gestão democrática. É importante destacar que, em se tratando do Estatuto da Cidade, instituído em 2001, o PDM revela uma enorme importância como arcabouço legal para o ordenamento territorial e tem a prerrogativa de potencializar o planejamento e gestão democrática (Antonello, 2020; Maricato, 2011).

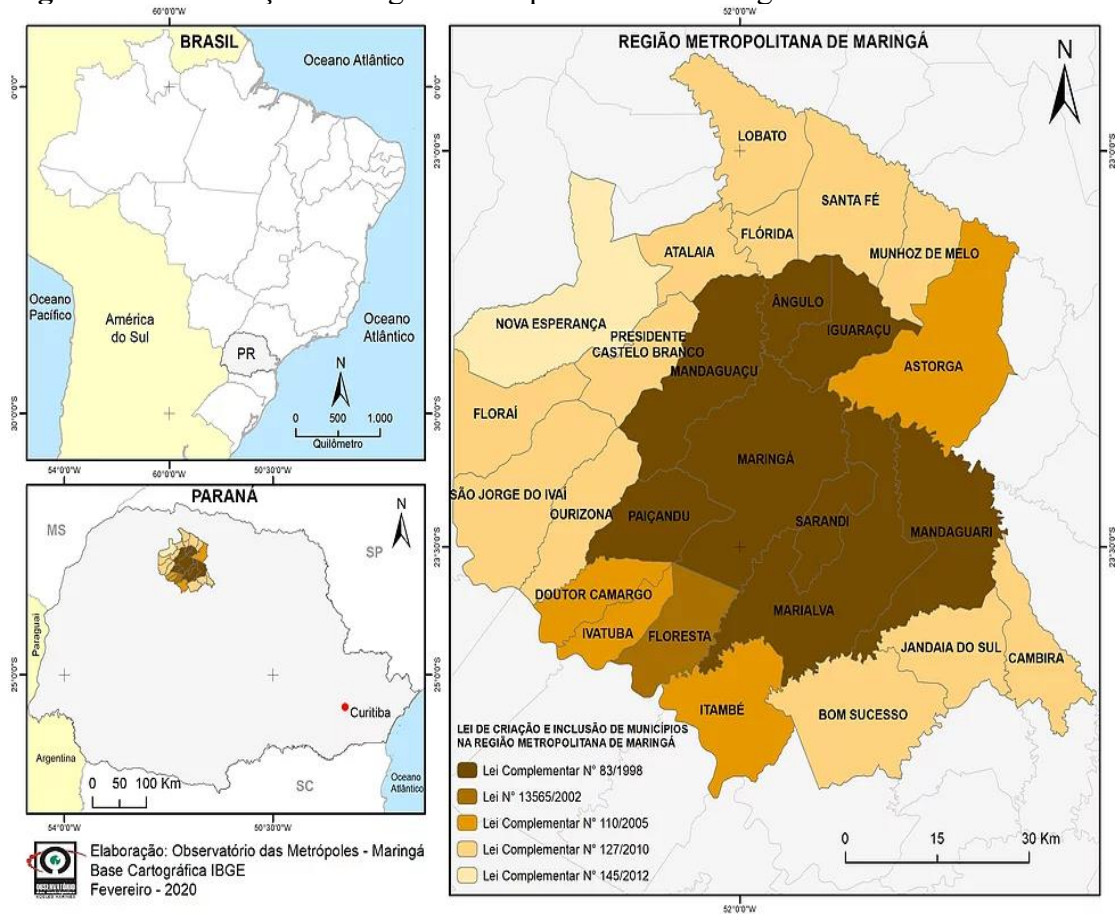
Na perspectiva do Estatuto da Cidade, este trabalho traz um destaque para o que deve ser levado em consideração no decorrer da elaboração de um plano diretor para o município. É uma forma de entendimento que demanda uma visão ampla de sustentabilidade urbano-ambiental, vinculada a política pública de desenvolvimento do meio urbano, como foco no macrozoneamento e zoneamento (lei específica de uso e ocupação da terra).

Maringá é um município da região noroeste do Paraná, polo central de uma região metropolitana. A RMM (Região Metropolitana de Maringá) foi instituída pela lei complementar n. 83/1998, com oito municípios, que foram evoluindo para, atualmente, 26 municípios, por outras quatro leis estaduais (leis n° 13.565/2002; n°.110/2005; n°.127/2010 e n° 145/2012). É uma das quatro regiões metropolitanas do estado do Paraná (Figura 1).

A RMM é considerada como de média concentração urbana, são arranjos populacionais acima de 100 mil habitantes (Floresta, Iguaçu, Itambé, Mandaguçu, Marialva, Ourizona, Paiçandu, Presidente Castelo Branco e Sarandi), sendo reflexo de dinâmicas pendulares e conurbações existentes (IBGE, 2019).

A Figura 1 apresenta a localização do município de Maringá que agrega no seu entorno outros municípios como anteriormente referidos na RMM (Figura 1), sendo que Maringá está ao centro.

**Figura 1 - Localização da Região Metropolitana de Maringá- PR**



Fonte: Chirney e Rodrigues (2020).

O município de Maringá tem uma área territorial de 487.026 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 425.983 habitantes (baseado no censo de 2022). Sua população tem escolarização básica (de 6 a 14 anos) para 98,4 (censo de 2010), apresenta um IDHM (índice de desenvolvimento humano municipal) de 0,808 e um PIB (produto interno bruto) de R\$ 51.908,79 (IBGE, 2021).

É o terceiro maior município do Paraná (Chirney; Rodrigues, 2020). É a sétima da região sul do Brasil em relação a sua população, destacando-se pela qualidade de vida oferecida a seus moradores e por ser um importante entroncamento rodoviário regional. É considerada uma das cidades mais arborizadas e limpas do país. Destaca-se hoje, pelo setor de comércio e prestação de serviços, embora a agricultura venha a ocupar um lugar fundamental na economia. A atividade agrícola diversificou-se, e além do café, mostra também, milho, trigo, algodão, rami, feijão, amendoim, arroz, cana-de-açúcar, e principalmente, soja (IPARDES, [2025]).

Dentro do setor industrial pode-se observar o da metalmecânica, a agroindústria, o vestuário, a prestação de serviços e o turismo. O setor industrial não é tão expressivo como a agricultura. O município tem um parque crescente que lida com tecelagem e agroindústria, mas

principalmente confecções, com grandes empresas que geram empregos no município, e em outras cidades da região. A área metalmecânica atende todo o território nacional e exporta para países da América Latina. Maringá é o polo da moda no sul do país, contando com o maior polo atacadista da América Latina. Recentemente, Maringá também se destaca no mercado de software (Suporte [...], 2019).

## 2 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Este trabalho caracteriza-se por ser uma pesquisa de cunho qualitativo que procura analisar através da legislação constitucional e das leis pertinentes aos estados e aos municípios a oportunidade de legislar a respeito da proteção da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas sob o domínio do território municipal. Como documento principal de orientação das políticas públicas e de crescimento econômico do município, o PDM deve conter estas diretrizes e orientações de políticas para a gestão ambiental, do saneamento, da saúde e do zoneamento do uso da terra. A legislação que dará base para o município orientar a apropriação do seu território (relacionado com as águas subterrâneas) deve apresentar a sua contra parte técnica, devendo mostrar um pequeno diagnóstico da situação atual e um modelo teórico da ocorrência e da gênese deste recurso, aliado a concentração dos poços e as áreas para a proteção da sua recarga. Deve ainda apresentar as variáveis (qualidade e quantidade) observadas nas outorgas de uso (responsabilidade estadual) (Zanello, 2013). Este estudo pode ser encarado também, como pesquisa participante pois o autor é membro da Comissão de Acompanhamento Técnico e acompanhou todas as fases de elaboração do PDM.

Os estudos são orientados para um diálogo com as ciências humanas, realçando a complexidade e os seus diferentes fatores exógenos, as relações, influências e impactos entre os componentes, entidades, domínios e escalas, nas diversas redes e interações, como, maneira de expressar a mobilidade do sistema, a variabilidade das discussões e as condições nada estáticas da construção de um PDM, que é um palco de discussões e de defesa de interesses (Gomes; Vitte, 2018).

O sistema mostra uma desordem criadora (entropia) que exhibe ruídos inevitáveis (perturbações aleatórias presentes no processo), que provoca novos estados comunicativos, indo a um estado auto organizativo. A interação entre os componentes internos, pela dissipação de energias, surge a ordem, de forma espontânea. O resultado é autônomo em relação ao ambiente, porque as referências são internas (Pessoa Junior, 2006).

São características impostas pela individualidade e, não por uma universalidade controladora e as relações entre o que é padrão/singular, regra/particular, tornando mais fluída e dependentes das interações ao nível do local. É um jogo entre ordem e desordem em todos os domínios e dimensões, que vai alimentar o sistema com a ordem provinda do sistema, mas também com os ruídos inevitáveis do processamento das informações, aumentando a complexidade e a adaptabilidade (Christofolletti, 1987).

O referido autor, como um sistema auto organizado, questiona o paradigma da objetividade, pois o conhecimento acerca da realidade é mediado pela representação simplificada do pesquisador. Uma vez que o sistema observado depende dos objetivos do seu criador, gerando uma teoria de cognição (autopoiese). Onde a linguagem é o mecanismo de interação fundamental para produzir cultura e conhecimento. A individualidade humana é social e condição da mudança na conduta dos indivíduos.

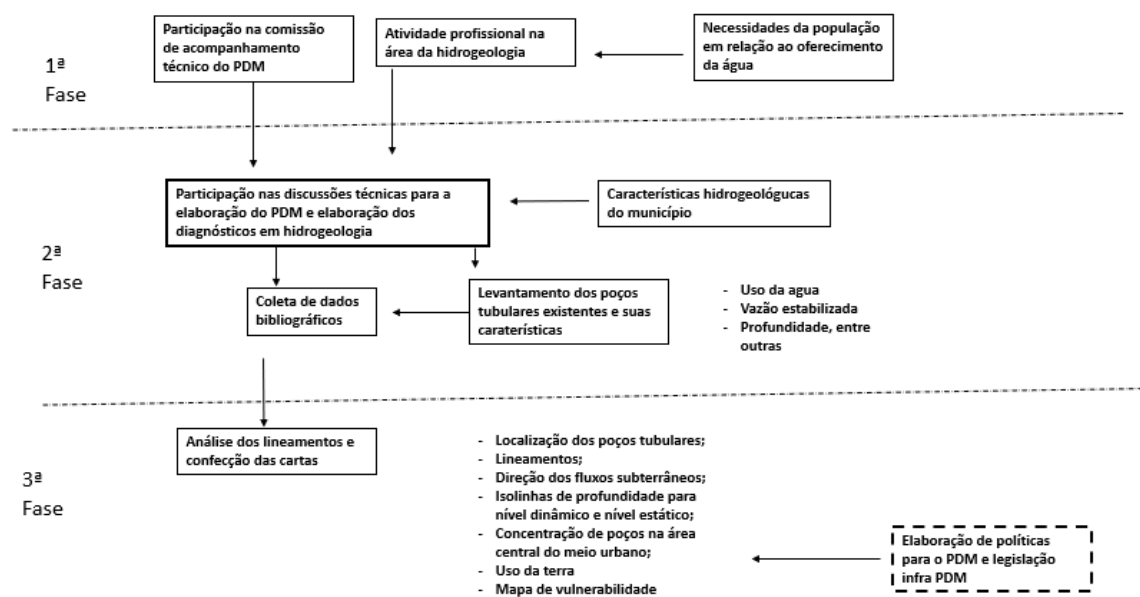
Dentro das análises setoriais do PDM apresentar-se-ão análises quantitativas, a saber:

- ❖ Mapa com os dados coletados através do sítio eletrônico SIAGAS (Peixinho; Castilho, 2019) (vazão estabilizada e vazão específica, nível estático e nível dinâmico) para construção de um entendimento sobre o funcionamento dos fluxos e do modelo hidrogeológico para o município;
- ❖ Elaboração de uma carta dos lineamentos através de mapeamento das feições lineares, estruturais para enriquecer a interpretação do modelo hidrogeológico;
- ❖ Elaborar uma carta com a localização dos poços outorgados no município e, analisar a sua concentração e seu impacto ambiental;
- ❖ Avaliar as áreas para proteção dos poços tubulares e as áreas de recarga do aquífero Serra Geral, assim como estabelecer regras para a construção de poços tubulares.

A legislação obtida através dos sítios eletrônicos do congresso, do órgão ambiental do estado do Paraná e do município. A pesquisa bibliográfica foi crítica (sempre observando o papel do município) visando o conhecimento atual dos papéis políticos de cada ente da federação.

Os dados de poços foram obtidos através de consulta, em sítios eletrônicos do governo federal (SIAGAS) (Peixinho; Castilho, 2019) e do governo estadual (IAT, [2021]), são dados secundários que serão organizados e tratados para a confecção de cartas demonstrativas das condições atuais dos recursos hídricos subterrâneos no município. Os passos estão mostrados na Figura 2.

**Figura 2** - Passos metodológicos para a realização do estudo



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Em resumo, a pesquisa foi realizada em três fases. A primeira, baseou-se no conhecimento da realidade do município e dos problemas levantados pela população e as discussões que vieram nos conselhos municipais sobre água subterrânea e território municipal. A segunda foi a participação nas discussões do PDM e o levantamento das informações pertinentes o tema deste trabalho levantadas nos procedimentos. E, a terceira a confecção das cartas e a elaboração dos escritos para a apresentação desta tese e as discussões sobre as políticas públicas.

## 2.1 PROCEDIMENTOS

As potencialidades e estimativas das reservas subterrâneas do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral) na região de estudo foi realizada a partir do método de curva de recessão ou separação do escoamento de base utilizando dados históricos de fluviometria em bacia hidrográfica com a utilização do filtro de Eckhardt (2005). Este filtro é representado por equação que separa o escoamento de base e possui o parâmetro  $BFI_{max}$  (índice máximo de escoamento de base), com valores predefinidos de acordo com as características geológicas e da drenagem da bacia hidrográfica. Nesse sentido, Collischonn e Fann (2012) elaboraram uma

correção baseada na relação entre as vazões  $Q_{90}/Q_{50}$ , com correção de valores, conforme indicado nas fórmulas de 1 a 9, abaixo.

A estação fluviométrica escolhida foi a Estação de Tratamento de Água da Sanepar (64541000), localizada na bacia do rio Pirapó que possui uma série de medições de vazão. Foi utilizado para os cálculos na bacia hidrográfica, dentro da bacia, para aplicação do filtro de separação do escoamento de base (Figura 3).

Foram necessários para os estudos as séries históricas de vazão, a delimitação da bacia e da área do município dentro da bacia, dados de precipitação média no município, informações da geologia, hidrogeologia e tipologia dos solos para a área do município e, para os cálculos foi usado o programa Microsoft Excel®.

### 2.1.1 Separação do Escoamento de Base

Utilizou-se um algoritmo para realizar a separação da vazão do rio em duas componentes (direto e indireto) pela equação 1.

$$Y_i = f(i) + b_i \quad (\text{eq. 1})$$

Em que  $y$  é a vazão do rio;  $f$  é o escoamento superficial;  $b$  é o escoamento de base e  $i$  é o intervalo de tempo. Eckhardt, (2005) colocou uma restrição, a vazão de base em qualquer tempo deve ser menor ou igual a vazão total do rio, no mesmo tempo, desta maneira,  $b_i \leq y_i$ :

$$b_i = A \times b_{(i-1)} + B \times y_i \quad (\text{eq. 2})$$

Em que  $b$  é o escoamento de base;  $y$  é a vazão do rio;  $A$  e  $B$  são os parâmetros de cálculo e  $i$  o intervalo de tempo.  $A$  e  $B$  são expressos em função da constante de recessão “ $a$ ” e do parâmetro  $BFI_{\max}$ . Relacionado com a descarga, dentro de um intervalo de tempo, definido como “período de recessão” (Domenico; Schwartz, 1990). Para este cálculo deve-se analisar o hidrograma do posto fluviométrico, o intervalo de tempo e os valores de vazão, para o cálculo da vazão constante “ $K$ ” (equação 3). Em seguida é calculado a constante “ $a$ ” (equação 4).

$$K = \frac{-\Delta t}{\frac{Q(Q_{t+\Delta t})}{Q(t)}} \quad (\text{eq. 3})$$

$$A = e^{-\frac{\Delta t}{k}} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que  $k$  é a constante do período característico;  $Q$  é a vazão e “ $a$ ”, a constante de recessão. O parâmetro  $BFI_{max}$  é a razão, a longo prazo, entre o fluxo de base e a vazão total (eq. 5); é um fator influenciado pela geologia local (Collischonn e Fann, 2012).

$$BFI = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (\text{eq. 5})$$

Em que,  $BFI$  é o índice de escoamento de base.  $B$  é o escoamento de base e  $y$ , a vazão do rio. Eckhardt (2005) determinou os valores de  $B$  e  $A$ .

$$B = \frac{(1-a) \times BFI_{max}}{1-a \times BFI_{max}} \quad (\text{eq. 6})$$

$$A = \left(1 - \frac{BFI_{max}}{1 - a \times BFI_{max}}\right) \quad (\text{eq. 7})$$

Assim, se  $b_i \leq y_i$

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max}) \times a \times b_{i-1} + (1-a) \times BFI_{max} \times y_i}{1 - a \times BFI_{max}} \quad (\text{eq. 8})$$

Eckhardt (2005) apresenta valores predefinidos para o  $BFI_{max}$  caracterizados pela natureza do curso d’água e do tipo da hidrogeologia do aquífero. através da relação  $Q_{90}/Q_{50}$ , calculou o  $BFI_{max}$  e obteve a equação 9, sujeito a  $BFI_{max} < 1$  (Collischonn; Fann, 2012).

$$BFI_{max} = 0.8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad (\text{eq. 9})$$

### 2.1.2 Dados Hidrológicos

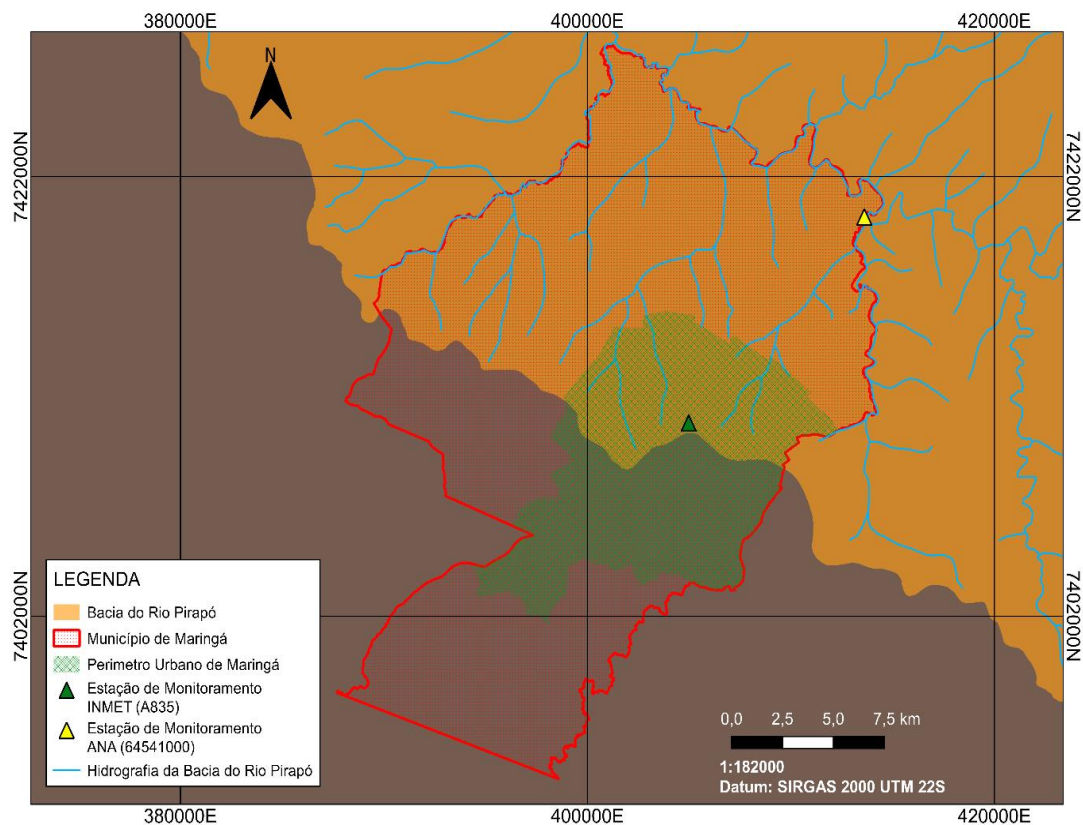
Foi realizada pesquisa pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) ([www.https://www.snirh.gov.br/](http://www.snirh.gov.br/)), na estação fluviométrica para o município, através do portal HIDROWEB ([www. https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas)), onde é

possível obter os dados em arquivos para cada estação. Os dados foram tratados pelo programa Microsoft Excel®.

Foram calculadas as vazões ( $Q_{90}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$  e  $Q_{med}$ ), selecionou-se o período de recessão do hidrograma, com o cálculo da constante de período “K” e a constante de recessão “a”. Tomou-se o valor  $BFI_{max}$ , a vazão de base pelo filtro de Eckhardt e os valores médios da vazão de base para cada estação fluviométrica que serão utilizados na taxa de recarga do aquífero.

O exutório da medição das áreas foi tomado como o limite do município, em relação a bacia e como Maringá está em duas bacias hidrográficas, o divisor de águas será o limite com a bacia do rio Pirapó (Figura 3). A bacia do rio Ivaí não apresenta dados de estações pluviométricas próximas que pudessem ser utilizadas nesse estudo.

**Figura 3** - Relação da bacia do rio Pirapó, com o município de Maringá e a sua área urbana, com o posto fluviométrico



**Fonte:** O Autor, 2021 através de dados do Portal Hidrioweb.

### 2.1.3 Taxa de Recarga para o Aquífero

Utilizou-se a média das vazões apresentadas pela estação fluviométrica. A área de drenagem escolhida, que é aquela que está sobre a bacia do rio Pirapó, uma vez que faltam dados pluviométricos próximos a bacia do rio Ivaí. Assumiu-se que os dados da bacia do rio Pirapó são os representativos para esta análise apresentados pela equação 10.

$$TR = \frac{b}{A} \times 1000 \times 31622400 \text{ (Mattiuzi et al., 2015a)} \quad (\text{eq. 10})$$

Onde:

TR = taxa de recarga aquífero (mm/ano);

B = média dos valores de vazão de base (m<sup>3</sup>/seg.);

A = área da bacia (m<sup>2</sup>);

1000 = fator de conversão de metro para milímetro;

31622400 = fator de conversão de segundos para anos.

### 2.1.4 Precipitação Média

Foi obtida pela análise da estação pluviométrica A850 (Maringá Nova) do INMET.

### 2.1.5 Informações sobre os Solos

O comportamento físico hídrico dos latossolos vermelhos e nitossolos vermelhos ocorrentes na bacia do rio Pirapó foram obtidos através de estudos desenvolvidos por Marcatto *et al.* (2015) e Marcatto e Silveira (2016), para infiltração no solo do Campus da UEM – Universidade Estadual de Maringá.

### 2.1.6 Coeficiente de Escoamento

Para haver uma comparação com a taxa de recarga do aquífero, obteve-se o coeficiente de escoamento, a seguir.

$$CE = \frac{Q_{med}}{P_{med}} \quad (\text{eq. 11})$$

Em que, CE é o coeficiente de escoamento.  $Q_{med}$  é a vazão média (mm/ano) e  $P_{med}$  precipitação média (mm/ano).

### 2.1.7 Evapotranspiração

Para este cálculo utilizou-se a equação que segue abaixo.

$$E_t = \frac{1-CE}{P_{med}} \quad (\text{eq. 12})$$

Onde:

$E_t$  = evapotranspiração;

CE = coeficiente de escoamento;

$P_{med}$  = precipitação média (mm/ano).

### 2.1.8 Para as análises dos dados de NE e ND

Os valores de nível estático (NE) e nível dinâmico (ND) e suas respectivas coordenadas foram obtidos através do sítio eletrônico do SIAGAS (Peixinho; Castilho, 2019) utilizados para geração de superfícies contínuas, bem como de isolinhas com equidistância de 10 m de profundidade. O método de interpolação utilizado foi o geoestatístico, em que a análise variográfica, o ajuste dos modelos espaciais de autocorrelação e a krigagem foram executados no *software* SAGA (Conrad, 2002), e o programa QGis

Para a coleta de dados foi também utilizado radar SRTM.

Para o NE o modelo ajustado está representado na Equação 31 e na Figura 4a e o modelo ajustado para o ND está representado na Equação 14 e na Figura 4b. O semivariograma ajustado para o NE indicou um modelo linear, com um patamar para um alcance de 5.000 m. Já semivariograma para o ND indicou um modelo exponencial, sem patamar.

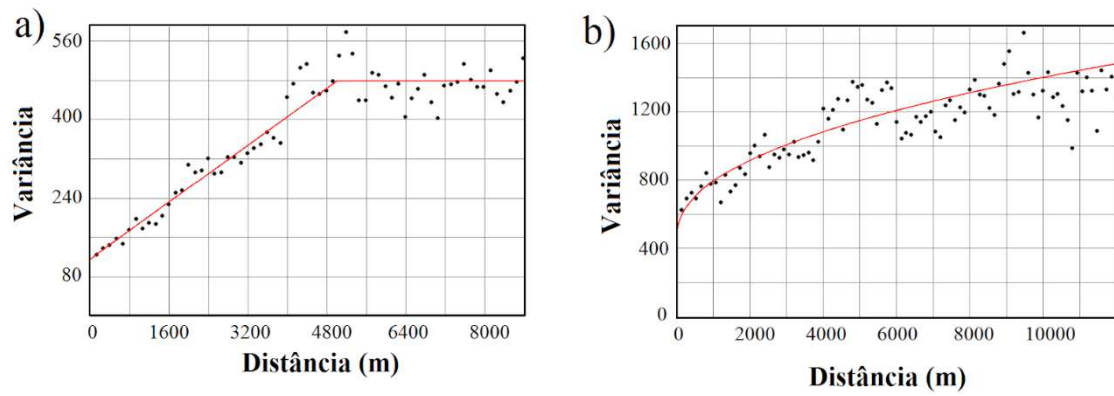
$$\gamma = \begin{cases} 479,905, & h > 5000 \\ 117,12 + 0,072557 \cdot h, & h \leq 5000 \end{cases} \quad (\text{eq. 13})$$

$$\gamma = 466,603 + 14,7 \cdot h^{0,4513} \quad (\text{eq. 14})$$

Em que:

$h$  = distância (m).

**Figura 4** - Variograma para a variável nível estático (a) e dinâmico (b)



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para a confecção dos mapas foram utilizados os dados amostrados através do SIAGAS, embora com as ressalvas de que o efeito pepita foi expressivo.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

A idéia principal do trabalho foi propor uma análise, baseada no PDM do município onde as informações sobre a hidrogeologia contribuíssem para as discussões do uso da terra e no desenvolvimento econômico do município, propondo políticas públicas para uma melhor gestão do recurso hídrico subterrâneo. A pesquisa analisou o papel do município na proteção das águas subterrâneas e a relação com o uso da terra e a área de recarga do aquífero, com base nas competências do município e verificou que ações esse ente pode adotar para proteger os recursos hídricos subterrâneos com base no direito e com o suporte da hidrogeologia, tendo como documento base o Plano Diretor para o seu Desenvolvimento.

O PDM é o principal documento de política pública que indica os caminhos para o desenvolvimento do município e a legislação (constitucional e infraconstitucional) que irá direcionar o desenvolvimento, em conjunto com o estado e com a federação. A idéia básica é chamar a atenção do poder público para um programa de orientação e monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos.

Assim, o estudo está direcionado para responder a pergunta:

Pode o município através do PDM legislar e criar um programa para o monitoramento, a manutenção e a recarga das águas subterrâneas no seu território?

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um banco de dados dos poços tubulares outorgados;
- Elaborar um mapa com os lineamentos observados;
- Elaborar um mapa com as concentrações de poços na área urbana do município de Maringá;
- Elaborar uma política de recarga para as águas municipais;
- Elaborar uma ideia para a política de recarga do aquífero;
- Propor uma legislação, de âmbito abrangente, para a inserção das águas subterrâneas na preocupação com o planejamento econômico do município.

#### 4 RECARGA DE AQUÍFEROS URBANOS

A rápida expansão das áreas urbanas provoca uma alteração significativa no sistema hidrogeológico local. A substituição de áreas permeáveis com as áreas construídas e asfaltos vão alterar o ciclo hidrológico (levando em consideração todos os reservatórios, os aquíferos, os rios e lagos e a atividade climática), afetam a recarga dos aquíferos, aumentando o escoamento superficial (aumentando o risco de inundações).

Com o uso intensivo e extensivo do solo urbano (edifícios, infraestrutura, tais como rede de distribuição de água tratada, de coleta de esgotos, de garagens, entre vários outros equipamentos urbanos) resultam em mudanças na qualidade das águas subterrâneas, pela introdução de substâncias estranhas pelas atividades humanas.

Os aquíferos urbanos desempenham um papel fundamental na segurança hídrica das cidades, pois se convertem em uma fonte essencial para o abastecimento público, para a irrigação entre vários outros usos. Desta maneira, a gestão sustentável requer uma compreensão maior dos processos hidrogeológicos relativos ao meio urbano, da mesma maneira, como os impactos das atividades humanas dentro destas dinâmicas. Portanto, é imperioso realizar estudos com mais detalhes que possam vir a interagir com o uso do solo, a recarga dos aquíferos e a qualidade/quantidade das águas subterrâneas nas áreas urbanas (Seraphim; Bezerra, 2019).

Na última década, diversas pesquisas tem explorado essas relações em diferentes contextos urbanos, proporcionando uma melhor compreensão dos processos hidrogeológicos nesses ambientes (Adams; Foster, 1992; Foster; Skinner, 1995). Abordam não somente os aspectos técnicos, mas apresentam estratégias de gestão que se tornam necessárias para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos (Foster, 2008, 2022; Foster; Hirata; Garduño, 2010; Foster *et al.*, 2009). Além disso, está bastante destacado a importância da integração dos dados hidrogeológicos e socioeconômicos, para uma melhor compreensão do processo de urbanização e o desenvolvimento econômico da região para uma gestão eficaz (Foster, 2009; Foster; Vairavamoorthy, 2013).

O avanço na compreensão dos desafios da gestão envolve uma abordagem interdisciplinar, entre hidrogeólogos, urbanistas, geógrafos, gestores ambientais e a comunidade local. A colaboração entre estas diferentes disciplinas e as partes interessadas se torna essencial para “pensar” e “desenvolver” soluções inovadoras e sustentáveis para problemas que tem relação com os ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) assim como:

- 6 - Água potável e saneamento;
- 11 - Cidades e comunidades sustentáveis;
- 13 - Ação contra a mudança global do clima;
- 14 - Vida na água;
- 15 - Vida terrestre, e;
- 16 - Paz, justiça e instituições eficazes.

Por outro lado, também se pode reconhecer que em uma boa gestão se levem em conta os requisitos básicos, que são (Calado *et al.*, 2020):

- quantidade - volume disponível;
- qualidade - potabilidade;
- continuidade - abastecimento frequente;
- cobertura - população atendida, e;
- custos - para os consumidores.

## 5 IMPACTOS DO USO DA TERRA NA HIDROGEOLOGIA URBANA – ATIVIDADES TECNOGENÉTICAS

Estudos da Organização das Nações Unidas – ONU, nos mostram que mais de 55% da população mundial vive em cidades e pode chegar a 85% até 2050. Na América Latina e Caribe já se sabe que 80% da população é urbana, sendo que para 2030, 85% de pessoas vão habitar cidades (ONU, 2012).

No Brasil, a função social da cidade, (Brasil, 1988) inclui os aspectos ambientais e de gestão participativa na elaboração de políticas públicas, como normas gerais a serem seguidas pelos municípios no ordenamento do seu território. A partir daí, o plano passa a ser um princípio da CF (Constituição Federal), que vai coordenar o jogo dialógico, na definição do uso e da ocupação do solo (Aquino; Cavalheiro; Pellenz, 2016; Silva; Farias, 2020).

Este aspecto remete a característica da matriz ambiental, como um dos componentes mais importantes nas discussões e nos princípios do direito à cidade, nas políticas públicas e na organização do território (Trentini; Buriti, 2021).

O planejamento municipal deve envolver o urbano, o ambiental, o orçamentário, o uso setorial da terra e o desenvolvimento econômico social (Peres; Silva, 2013; Pizella, 2015). Isso destaca a importância de analisar os processos decorrentes da ocupação urbana, além da necessidade crescente de articulação entre o urbanismo, a gestão ambiental e a gestão dos recursos hídricos (incluindo as águas subterrâneas), com maior integração das ações e normas, para a concretizar a sustentabilidade e o desenvolvimento do meio urbano (Kauffmann *et al.*, 2004).

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO DE USO DA TERRA NO MEIO URBANO

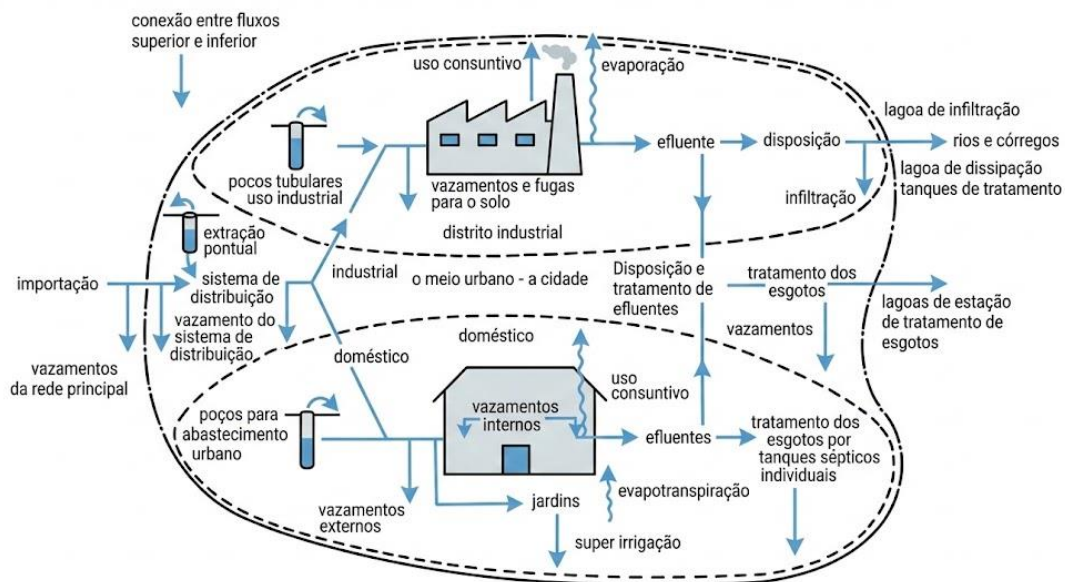
A regulação do uso da terra urbana formaliza as relações socioeconômicas que transitam na cidade. Existem, em relação aos condicionantes legais, ambientais e ao que está construído, produzindo impactos diretos no território (Farr, 2013). Uma das formas mais comuns dessa regulação é classificar a cidade em diferentes porções, chamadas de zonas. Cada “zona” possui diferentes usos e permissões, determinando quais atividades podem ser estabelecidas naquele local. Entre as regras mais frequentes estão a limitação de altura dos prédios e o coeficiente de aproveitamento (que define o que pode ser construído em um lote). Existe também a taxa de ocupação que é uma projeção da área de terreno a ser ocupada.

Com estas características distinguem-se duas classes principais: área urbana e área rural (Carbone *et al.*, 2020). Dentro da área urbana destacam-se os diversos matizes das áreas reservadas para o uso do comércio, às residências e às indústrias. Atualmente o zoneamento pode incluir, também, áreas de proteção ambiental e áreas de proteção especial (Souza, 2006a); (Souza, 2010).

As diversas atividades exercidas nas áreas urbanas, sociais e econômicas, necessitam de água como insumo básico, aumentando o consumo de água subterrânea, para prover o abastecimento ou como insumo produtivo ou para atividades de recreação e de lazer (Figura 5). Nesse contexto, ocorrem mudanças nas condições de evaporação e/ou infiltração devido a impermeabilização do solo, ao escoamento superficial das águas nas ruas, na irrigação dos jardins, lavagem de ruas e calçadas, entre outras ações.

Além disso, a indústria utiliza água subterrânea para produção, transporte e diluição dos seus efluentes, o que pode provocar alterações nos processos de evaporação/infiltração e comprometer a qualidade do recurso, caso os efluentes venham a ser infiltrados no solo ou lançados nos rios e córregos (Foster; Hirata; Howard, 2011).

**Figura 5** - Usos da água subterrânea na cidade



**Fonte:** Adaptado de Schirmer, Leschick e Musolff (2013).

O uso da terra, como conceito de organização urbana, representa a forma como a terra é utilizada pelo homem para a satisfação das suas necessidades (agricultura, habitação, indústria, mineração, entre outros). Esta idéia está intimamente ligada aos estudos regionais e a

gestão do território, buscando equilibrar as necessidades humanas com a preservação/conservação dos recursos da natureza (água, ar, solo, rocha e meio biológico) (Araújo *et al.*, 2018).

Suas categorias podem ser entendidas e divididas conforme (Barbosa; Costa, 2012, p. 478): - **Agrícola** – que é o uso mais antigo, abrangendo as atividades de plantação de vegetais, de pecuária (bovinos, caprinos, equinos, suínos, bubalinos, avicultura e aquicultura) e a silvicultura. A agricultura é considerada como uma das maiores responsáveis pelas alterações do solo, através do uso de fertilizantes e agrotóxicos e pela utilização dos equipamentos de trabalho, com alterações diretas no uso das águas subterrâneas. No que diz respeito a quantidade utilizada, a irrigação desponta como a principal utilização; e, na qualidade, o uso indiscriminado e fora das especificações técnicas dos agrotóxicos vai acarretar alterações na sua composição. Isso se verifica na figura 6.

**Figura 6** - Evolução do uso setorial da água no Brasil



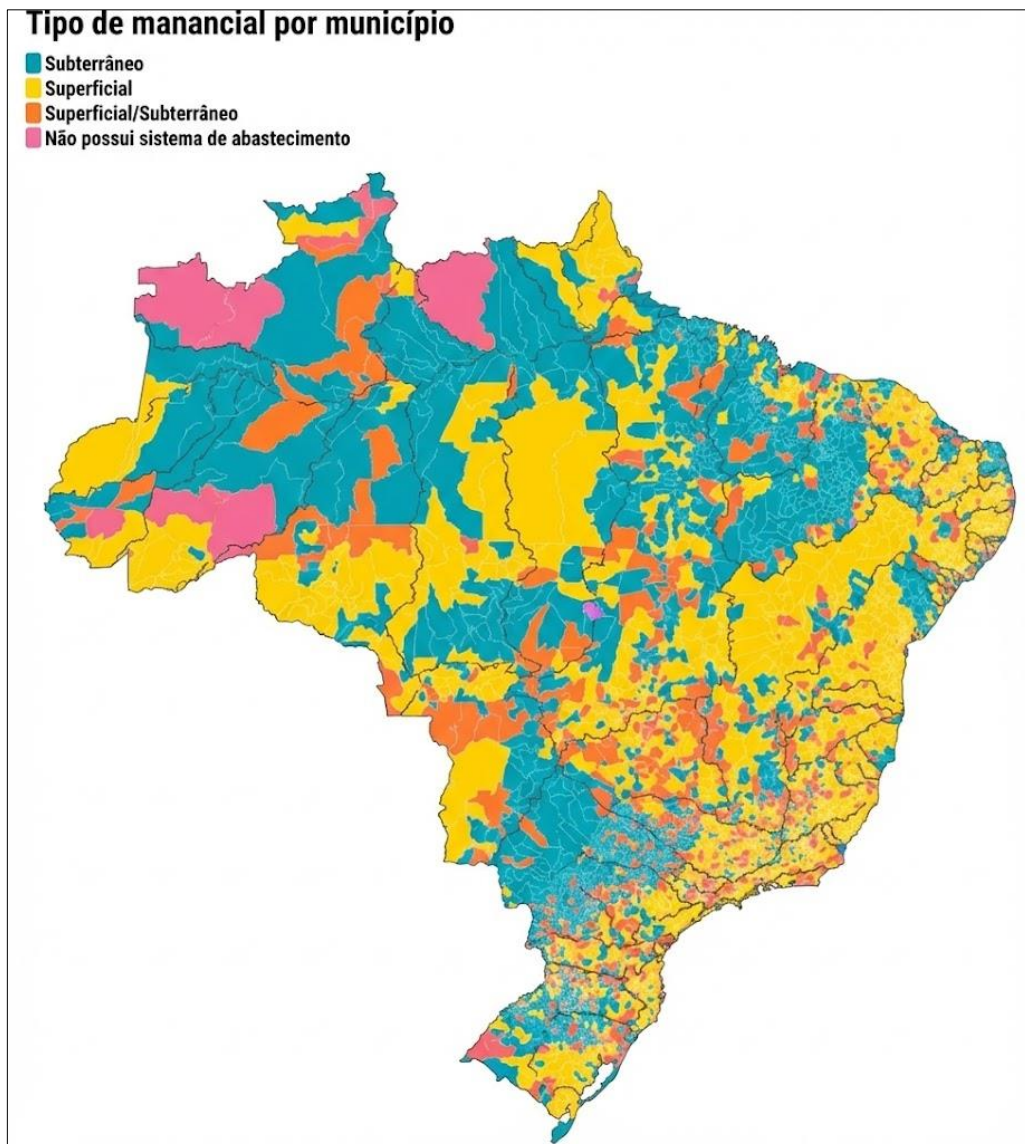
Fonte: ANA (2024, p. 44).

Nela se pode verificar a discrepância existente entre os diferentes usos da água, em detrimento do uso para a agricultura. Esse consumo pode sofrer mudanças devido a fatores econômicos, ambientais e climáticos. Além de apresentar diferentes necessidades para cada tipo de cultura. A figura nos mostra uma retirada de 1.052,0 m<sup>3</sup>/seg.), quantidade bastante diferente do uso para abastecimento urbano (491 m<sup>3</sup>/seg.), que representa um aumento de mais de 100%, na vazão utilizada.

- **Urbana** – é o uso que o ser humano faz ao produzir áreas urbanizadas, destinadas a construção de moradias, comércio, indústria e infraestrutura pública para abastecimento. Trata-se do segundo maior consumo no país, ocorrendo de maneira concentrada e exercendo forte pressão sobre os mananciais, resultando em maior complexidade e interdependência entre as fontes, devido ao crescimento das áreas urbanas. Aqui se observa o primeiro grande conflito entre os usos consuntivos (Laurentino *et al.*, 2020, p. 137; Mendes; Romero, 2024).

No Brasil, 43% dos municípios são abastecidos por mananciais superficiais e 40% por aquíferos. Dos municípios que se utilizam de abastecimento misto (superficial e subterrâneo), somam 14%. Destes 70% é majoritariamente superficial e os outros são abastecidos por poços (ANA, 2024). A figura 7 ilustra a importância do manancial subterrâneo.

**Figura 7** - Tipo de manancial usado para abastecimento urbano



Fonte: ANA (2024, p. 59).

Pode-se observar que os municípios que utilizam as águas subterrâneas para abastecimento estão espalhados por todo o país, abrangendo diferentes realidade hidrogeológicas.

Na Figura 8, se apresenta o abastecimento urbano por mananciais subterrâneos destacando-se a região Sudeste como a principal utilizadora e a região sul, onde Maringá está localizada, como usuária mediana desse recurso.

**Figura 8** - Abastecimento de sedes urbanas por manancial subterrâneo, em relação as regiões brasileiras e a vazão explorada



Fonte: ANA (2024, p. 59).

A Figura 8 mostra a grande utilização das águas subterrâneas pelos municípios da região Sudeste, seguidos de maneira distante pelos da região Sul.

O movimento de ampliação da área urbana leva ao aumento da absorção de áreas naturais e de agricultura, levando a um balanço desfavorável com perda de biodiversidade e de áreas de infiltração de águas de chuva, aumentando a poluição e o uso dos sistemas de recursos naturais.

**Conservação/Preservação** – refere-se ao uso da terra voltado a preservação/conservação de áreas naturais, florestas, reservas de interesse ecológico (Salemi *et al.*, 2012). Estas áreas são essenciais para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas e na proteção da biodiversidade. No contexto do ciclo hidrológico tem grande importância na regulação do clima, no armazenamento de carbono, entre outras (Graepin *et al.*, 2016, p. 29).

**Recreação** – envolve o uso da terra para a instalação de equipamentos e de atividades recreativas (áreas de lazer, campos esportivos, entre outros) que promovem o bem estar social.

Essa atividade desempenha um papel vital para a saúde física e mental da população, especialmente nos centros urbanos (Nichi; Gallardo, 2024).

Estes diferentes usos da terra são influenciados por fatores econômicas, sociais, físicos, biológicos e tecnológicos (inovações em equipamentos existentes ou em desenvolvimento). O aspecto econômico, por exemplo, está diretamente relacionado ao arranjo produtivo da região. Se há demanda por produtos e serviços, na agricultura (produção de alimentos), ou no crescimento urbano, surgem necessidades de infraestrutura e moradia, que promovem mudanças econômicas e impactam diretamente o uso da terra. Como consequência, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos pode aumentar, muitas vezes em detrimento da manutenção das áreas de recarga dos aquíferos (Conicelli; Hirata, 2011; Foster; Hirata; Howard, 2011, p. 27).

Com base nessas informações, as áreas urbanas podem ser reclassificar em quatro categorias principais: Residencial; Comercial; Uso misto (residências e comércio); Industrial.

A utilização das águas subterrâneas ao longo da evolução dos núcleos urbanos pode provocar alterações significativas nos aquíferos (Figura 9). No início da urbanização geralmente são perfurados poços rasos com águas de excelente qualidade para consumo. Entretanto, a medida com que o desenvolvimento econômico avança e a demanda por água aumenta, os poços tendem a ser perfurados em profundidades maiores e localizados mais distantes dos consumidores originais. Esse fenômeno leva intensificação da atividade de perfuração de poços, ou devido ao custo da água captada superficialmente, ou pelas condições de fornecimento dos serviços de saneamento, ou pela comodidade de contar com uma fonte exclusiva. Esse processo pode causar alterações no nível piezométrico e modificar as direções naturais dos fluxos das águas subterrâneas, aumentando os riscos de contaminação e impactando significativamente a disponibilidade hídrica (Custodio, 2004).

**Figura 9** - Alterações na profundidade e na distância dos poços tubulares durante o crescimento da cidade



Fonte: Adaptado de Custódio (2004).

A utilização racional das águas subterrâneas nos municípios requer a observação de parâmetros essenciais, como a recarga e a capacidade de armazenamento do aquífero. Sem esse cuidado pode ocorrer o rebaixamento do nível freático, o que pode resultar na compactação do reservatório, na perda de poços produtores e, em casos extremos, na subsidência do terreno (Cao; Han; Moser, 2013).

No processo de uso e ocupação da terra, é imprescindível mapear as principais fontes de contaminação existentes, bem como aquelas que possam representar riscos futuros, a fim de desenvolver mecanismos administrativos que garantam a proteção das áreas mais vulneráveis.

Nesse contexto, o ente municipal deve conduzir investigações sobre as condições hidrodinâmicas do aquífero, com o objetivo de assegurar seu manejo, preservação e, compreender as alterações potenciais que novas áreas urbanizadas possam causar (Llamas; Custódio, 2002). Essa atividade é indispensável para o exercício de política administrativa e para a gestão responsável do uso da terra (Souza, 2006).

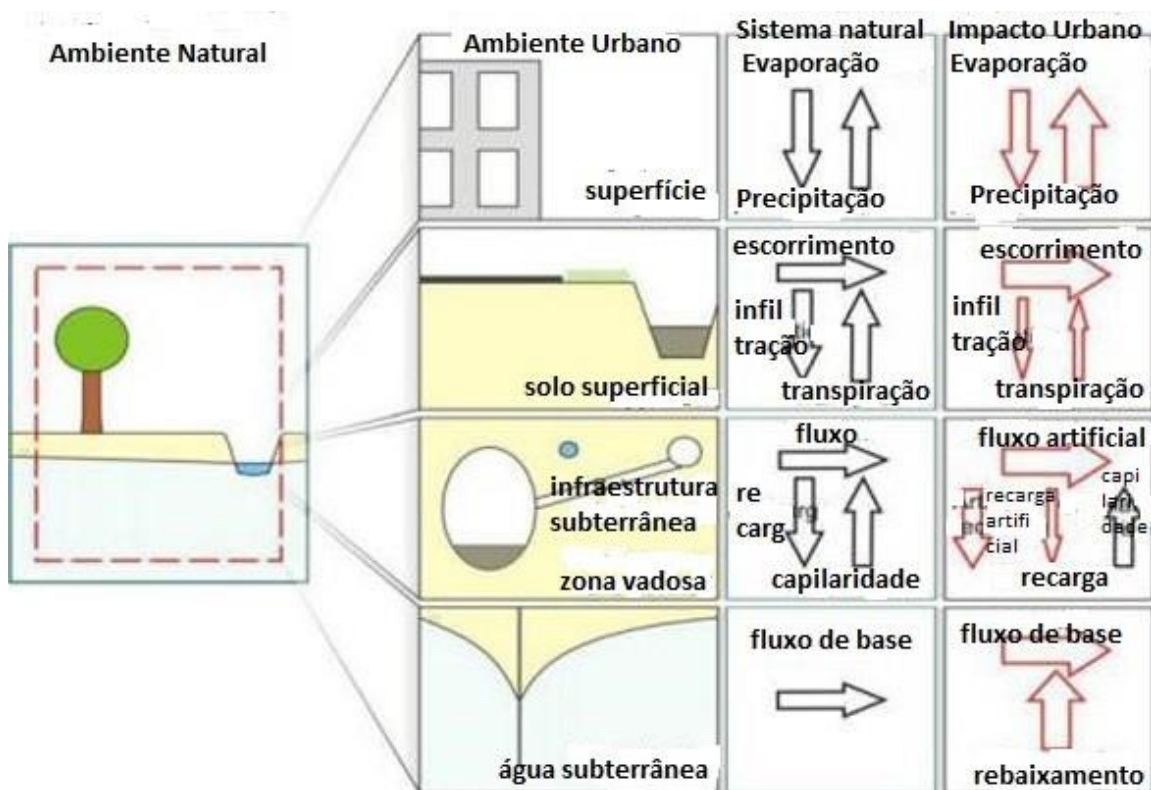
A diversidade de usos da terra do município tem a capacidade de promover alterações nos sistemas ambientais, trazendo o desafio de se manter a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas. Esse processo é especialmente intenso nas áreas urbanas, devido as modificações territoriais promovidas nesse espaço, tais como usos residenciais, industriais, comerciais e aqueles relacionados à construção de infraestrutura urbana e espaços públicos.

Nesse contexto, a hidrogeologia urbana busca analisar como os processos e atividades urbanas impactam os aquíferos, além de encontrar formas de mitigar e monitorar esses impactos. Essa análise pode contribuir para melhores práticas de gestão municipal e para um

uso mais eficiente dos instrumentos do direito urbanístico (Custodio, 2004; D’Avila; Gomez, 2011).

O uso intenso, a impermeabilização do solo e a contaminação dos aquíferos alteram as condições de fluxo da água no ciclo hidrológico, especialmente a hidráulica natural do aquífero. Os fluxos mais afetados pela urbanização incluem evaporação, fluxo superficial e, por consequência, o fluxo de base para as águas subterrâneas. Além disso, haverá modificações na recarga do aquífero e nas franjas (Schirmer; Leschik; Musolff, 2013). A figura 10 explora essas alterações introduzidas pelo meio urbano. É interessante observar as setas vermelhas que indicam as alterações mais relevantes, tanto na superfície (construções), como no solo superficial, na infraestrutura subterrânea, na zona vadosa e na água subterrânea.

**Figura 10** - Impacto urbano sobre o ciclo das águas. As flechas vermelhas indicam fluxos de água que foram modificados ou introduzidos pela urbanização



Fonte: Adaptado de Schirmer, Leschik e Musolff (2013).

A introdução da estrutura urbana, por meio do revestimento das superfícies e de equipamentos de infraestrutura, como por exemplo, as redes de distribuição de água e de coleta de esgotos podem provocar alterações no meio natural. Enquanto a superfície impermeabilizada aumenta naturalmente o escoamento superficial, reduzindo a infiltração para o solo, alterando o ciclo natural de evaporação e precipitação, estruturas subterrâneas podem gerar vazamentos

de efluentes, comprometendo a qualidade da água que infiltra no solo, aumentando o risco de sua contaminação.

Por outro lado, vazamentos de redes de água podem, de alguma forma, induzir a recarga dos aquíferos. Assim, a alteração do ciclo hidrológico em áreas urbanizadas pode interferir na recarga do aquífero, nos fluxos superficiais e no fluxo de base que alimenta os rios (Custodio, 2004).

## 5.2 ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DA TERRA URBANA NA DINÂMICA HIDROGEOLÓGICA

A dinâmica da cidade se relaciona a muitos problemas e podem ser identificados como (La Vigna, 2022):

- **Alterações no ciclo da água e rebaixamento do nível piezométrico.** As cidades reduzem a recarga dos aquíferos devido a impermeabilização das superfícies, o que resulta em aumento no escoamento superficial, principalmente das águas pluviais, e maior evapotranspiração, causada pela redução da cobertura vegetal. Assim, as perdas de água provenientes do sistema de distribuição de água tratada e de coleta de esgotos são as principais responsáveis pela recarga do aquífero superficial.

Com o aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade, altas taxas de poeira afetam a precipitação e as taxas de evapotranspiração, tornando mais críticos os caminhos de recarga, que são alterados pela interceptação de chuva devido à impermeabilização do meio e das superfícies como, telhados, estradas, ruas e outras infraestruturas selantes.

- **Aumento substancial na recarga:** Essa carga resulta de vazamentos na rede coletora de esgotos, estoques inadequados de produtos químicos por indústrias e comunidades, bem como da disposição inadequada de efluentes líquido e resíduos.

- **Grande carga de contaminantes subsuperficiais:** advindos pelo vazamento da rede coletora de esgotos e vazamentos gerais, estoque inadequado de produtos químicos pelas indústrias e pela comunidade, assim como a disposição dos efluentes líquidos e de resíduos sólidos

- **Aumento na descarga baseada no fluxo de coletores profundos e de infraestrutura de drenagens:** as modificações urbanas representam uma evolução contínua, dos regimes das águas subterrâneas, que podem reduzir gravemente a resiliência da infraestrutura urbana.

Com a evolução da demanda ao longo do tempo, a extração da água subterrânea pode causar um significativo rebaixamento nos níveis piezométricos ocasionando riscos para as estruturas urbanas, assim como (Pinhatti, 2023):

- Redução da capacidade de suporte para fundações rasas;
- Aumento da pressão da água sob as fundações;
- Expansão dos solos compactados abaixo do fundações e lajes de piso;
- Vazamento de águas subterrâneas (ou misturas) nas bases dos prédios e dutos de serviço;
- Aumento da carga sobre os sistemas de contenção e paredes de contenção dos prédios;
- Efeitos de corrosão;
- Elevação do solo por redução de pressão efetiva causada pelo aumento da poro pressão;
- Loteamentos em solos pouco compactados;
- Colapso para solos com alto potencial, com o rebaixamento do nível piezométrico;
- Aumento da necessidade e do potencial de instabilidade em escavações temporárias;
- Propagação da mobilidade de contaminantes contidos parcialmente na zona saturada;
- Efeitos adversos contidos no sistema radicular da vegetação urbana;
- Enchentes em infraestrutura subterrânea;
- Diminuição da eficiência dos sistemas de drenagem; efeitos nas canalizações de eletricidade.

A urbanização afeta a recarga devido às modificações do sistema de infiltração natural, além das alterações e introduções de água pela rede coletora de esgotos, que estão associadas a vazamentos em grande volume. A irrigação em parques, os vazamentos em redes de distribuição de águas e de esgotos, assim como fossas sépticas, representam riscos potenciais à saúde, comprometendo a potabilidade.

Avaliar a recarga em meio urbano é um desafio devido à complexidade do assentamento urbano, as diferentes idades dos componentes de rede de distribuição e às possibilidades de perdas. Por isso, não é viável utilizar um método único: é necessário interagir com orientações técnicas e informações interdisciplinares.

Além disso, as estruturas enterradas, impermeáveis, perturbam o fluxo e a qualidade das águas subterrâneas pela infiltração ou exfiltração através de fossas e redes de abastecimento. Isso gera um efeito cascata, modificando o fluxo subterrâneo, a quantidade e a qualidade dessas águas.

Esse cenário representa um dos principais problemas de sustentabilidade das áreas urbanas: a contaminação e a prevenção dos aquíferos freáticos. Ressalta-se ainda a produção e utilização de farmacêuticos (como medicamentos, produtos de beleza e higiene), que contam com estudos insuficientes dentro de um processo complexo de gerenciamento da qualidade. Somam-se a isso os poços tubulares frequentemente localizados de forma inadequada, construídos fora das normas, sem selo sanitário (Pinhatti, 2023).

Estas práticas promovem uma rápida migração de contaminantes para os aquíferos mais profundos e facilitam a contaminação cruzada. As consequências mais comuns incluem difusão de compostos de nitrogênio, redução da salinidade, elevada concentração de carbono orgânico, ocorrência de hidrocarbonetos e compostos clorados, além de vírus e bactérias (Alegre, 2017; Fout *et al.*, 2017; Peixoto *et al.*, 2020).

## 6 VULNERABILIDADE E GESTÃO DE AQUÍFEROS

Como foi observado, a rápida urbanização e a expansão das cidades provocam grandes transformações no sistema hidrogeológico local, podendo causar alterações regionais. A substituição de áreas permeáveis por áreas construídas, asfaltadas e infraestrutura subterrânea influencia negativamente o ciclo hidrológico em todos os seus reservatórios (Silva; Farias, 2020).

Essas mudanças afetam a recarga dos aquíferos e aumentam o escoamento superficial devido ao uso intensivo e extensivo do solo urbano. Isso resulta na introdução de substâncias estranhas nos sistemas que desempenham um papel fundamental na segurança hídrica das cidades tornando necessária uma maior compreensão para a gestão sustentável do processo hidrológico no meio urbano (Seraphim; Bezerra, 2019).

Além de abordar os aspectos técnicos, estas questões devem incluir estratégias de gestão para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. O avanço no entendimento da gestão requer uma abordagem interdisciplinar (Afonso *et al.*, 2022). Para compreender melhor estes aspectos, é essencial realizar uma avaliação da vulnerabilidade dos compartimentos do ambiente urbano, a fim de identificar áreas potencialmente poluíveis e estabelecer uma base que atenda as exigências legislativas na elaboração das leis e regulamentos, além de informar a população (Johnson; Ander, 2008).

A aplicação deste conceito produz subsídios para o ordenamento territorial, gerando informações paramétricas intrínsecas ao meio geológico, como transmissividade, capacidade de armazenamento e condutividade hidráulica, úteis para investigar determinadas atividades ou contaminantes potenciais específicos (Peixoto *et al.*, 2020). Vulnerabilidade, neste contexto, é definida como a sensibilidade de um aquífero a influências desfavoráveis (como a contaminação, por exemplo), determinando a capacidade de proteger o aquífero para melhorar o monitoramento das ações antrópicas (Foster; Garduño, 2002).

Essa abordagem parte da análise sistêmica, exibindo a interrelação entre os elementos. Ela avalia o equilíbrio dinâmico gerado por modificações, transferências de energia e matéria, além do nível de resposta a essas mudanças, indicando a “sensibilidade” e, por outro lado, a capacidade de reação as ações e a sua “susceptibilidade” (Christofolletti, 2002; Passos, 2021; Ross, 1990).

Esse conceito está relacionado a construção de um modelo que permite a análise de impactos (positivos ou negativos, sociais ou naturais), suas alterações e interrelações espaciais e temporais. Com relação a identificação podem ser (Melo; Gomes; Leal, 2022):

**Intrínseco ou natural** – refere-se à caracterização de seus condicionantes (geologia, hidrogeologia, condições climáticas, biológicas, entre outros) para determinar o grau de fragilidade natural a contaminação;

**Específica** – observa as alterações provocadas por um contaminante a partir de processos como absorção, adsorção, dissolução, precipitação e atenuação natural.

São metodologias que analisam a realidade por meio de ferramentas, como séries estatísticas, probabilidades e mapas, implicando na criação de um banco de dados. Além disso, atribuem-se valores às classes de vulnerabilidade (Foster, 1987).

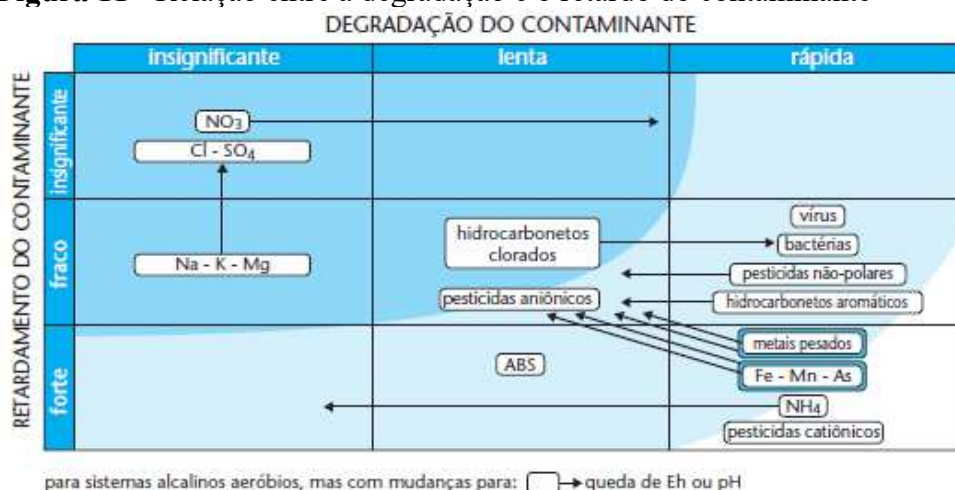
Por meio da representação cartográfica, é possível tomar decisões relacionadas à consistência e à natureza das variáveis, sua capacidade de recarga e a atenuação natural de contaminantes, que variam de acordo com a geologia e o uso da terra predominante (Foster; Garduño, 2002; Foster *et al.*, 2022).

Os SIG (sistemas de informação geográfica) revelam-se auxiliares extremamente valiosos, pois possibilitam o cruzamento de informações espaciais, favorecendo a compreensão da relação entre o uso da terra, vulnerabilidade e recarga (Foster; Morris; Lawrence, 1994).

Os primeiros estudos mostram a necessidade de um extenso cadastro da carga contaminante a que o solo e o subsolo estão submetidos. Para tanto é necessário o conhecimento das fontes dos potenciais de contaminação. São informações diretamente relacionadas ao uso da terra. Na organização deste cadastro é necessário caracterizar e identificar as fontes e sua evolução histórica. Inclui um protocolo de levantamento e análise dos dados obtidos. Através destes dados pode-se fundamentar a observação em quatro características básicas (Foster *et al.*, 2006, p. 58).

- a classe dos contaminantes

**Figura 11** - Relação entre a degradação e o retardo do contaminante



Fonte: Foster *et al.* (2006, p. 59).

A Figura 11 mostra sistemas em três classes de degradação relacionadas a três tipos de retardamento. Estabelecendo três zonas uma com degradação e retardo insignificantes a degradação lenta e retardo fraco. Uma segunda zona, que abarca quase todas as reações para degradação rápida a tempo de retardo fraco a forte e, por último, de retardo forte e degradação rápida. São reações comandadas pelo Eh (ou potencial redox, tendência em adquirir elétrons, também conhecido como potencial de oxidação) e/ou pelo pH (potencial hidrogeniônico que é determinado pela concentração de íons de hidrogênio –  $H^+$ , na solução, assim, quanto maior a concentração de  $H^+$  menor o pH de uma substância- maior acidez).

- a intensidade da contaminação

Também, a Figura 12 mostra uma relação em três zonas com a concentração relativa a porcentagem que está afetando a recarga.

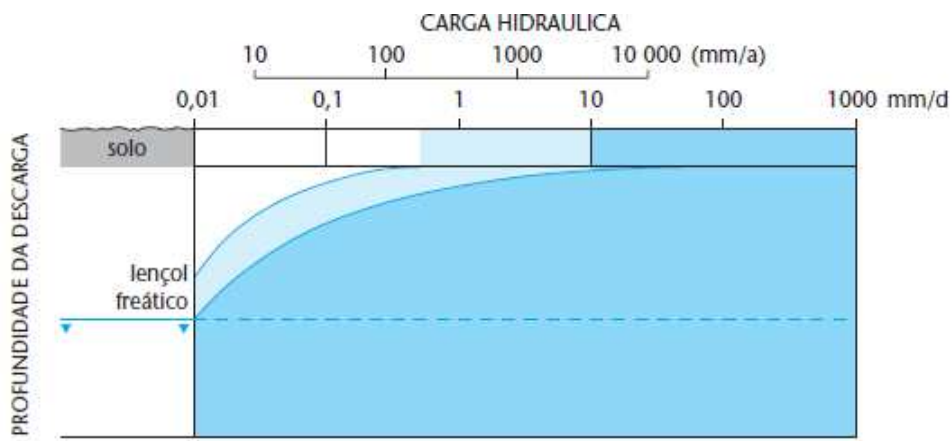
**Figura 12** - Relação entre concentração relativa da poluição e a proporção de recarga afetada



Fonte: Foster *et al.* (2006, p. 59).

- o modo de descarga do contaminante

**Figura 13** - Relação entre a carga hidráulica e a profundidade da descarga

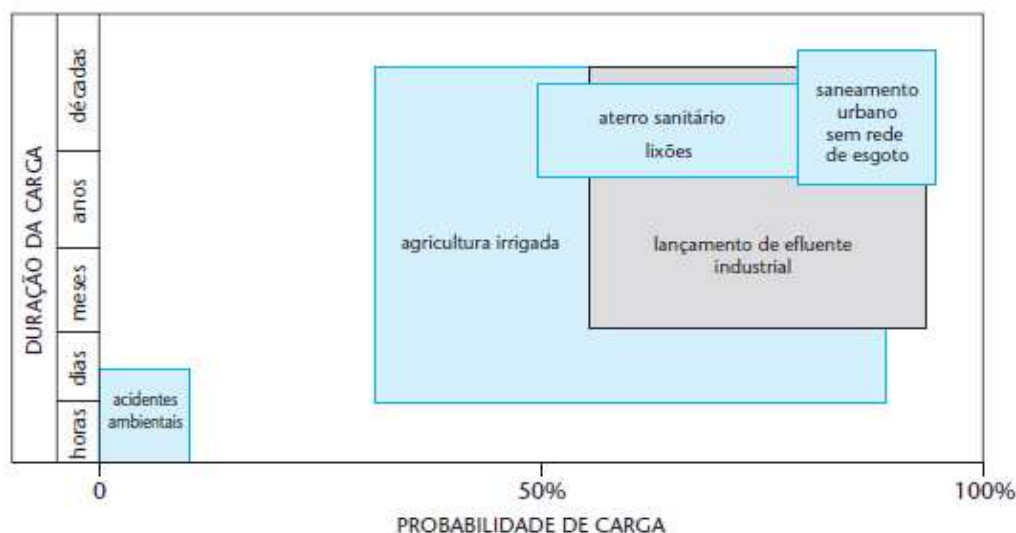


Fonte: Foster *et al.* (2006, p. 59).

Observa-se na Figura 13 que o lençol freático é o fator limite que separa a porção superior (de 10 mm/d) para a carga hidráulica do limite representado pelo nível piezométrico.

- a duração da aplicação da carga

**Figura 14** - Relação entre a duração (tempo) e a probabilidade de ação da carga contaminante



Fonte: Foster *et al.* (2006, p. 60).

Neste caso, o interessante é a observação dos tipos de acidente e de uso da terra. Aterros contaminam o solo de anos até décadas; o saneamento urbano, de anos a décadas os efluentes industriais de meses a décadas. E, o que mais assusta são os acidentes que são acontecimentos que contaminam o aquífero em horas (Figura 14).

Estas informações necessitam de uma simplificação através da associação da probabilidade da presença do poluente com o tipo de atividade humana e a estimativa da carga hidráulica baseada na atividade.

Se pode adiantar que as áreas urbanas sem rede de coleta de esgotos (com fossas sépticas, por exemplo) apresentam contaminantes de nitrogênio e organismo microbiológicos. E em alguns casos, produtos orgânicos sintéticos. Por outro lado, as fontes pontuais advindas das atividades industriais apresentam volumes concentração e variedades de tipos químicos. São uma consequência da emissão dos efluentes líquidos e da inadequação de disposição, de materiais inadequados e de acidentes com vazamentos (Foster; Hirata; Andreo, 2013).

No meio urbano além do distrito industrial, com a disposição dos efluentes em lagoas, áreas com postos retalhistas de combustível, cemitérios, e as atividades de mineração devem ocasionar infiltração no solo.

Os dados são apresentados em mapas em escala compatível com a qualidade das informações obtidas, com a proteção das fontes de abastecimento e da vulnerabilidade do aquífero. Esta carta deve ser a base para análises de localização e de fornecimento de orientações gerais ao usuário, ao planejador municipal e ao gestor estadual dos recursos hídricos. O conceito de vulnerabilidade de um aquífero é um método desenvolvido para representar a sensibilidade do aquífero, relacionado a acidentes que podem afetar alguma região através da carga poluidora partindo da superfície do solo (Aller *et al.*, 1987; Foster *et al.*, 2013, p. 1390; Foster; Hirata, 1988; Howard, 2023, p. 17).

O método proposto por (Foster; Hirata, 1988) é chamado de GOD e o proposto por (Margat, 1968) por conhecido por DRASTIC.

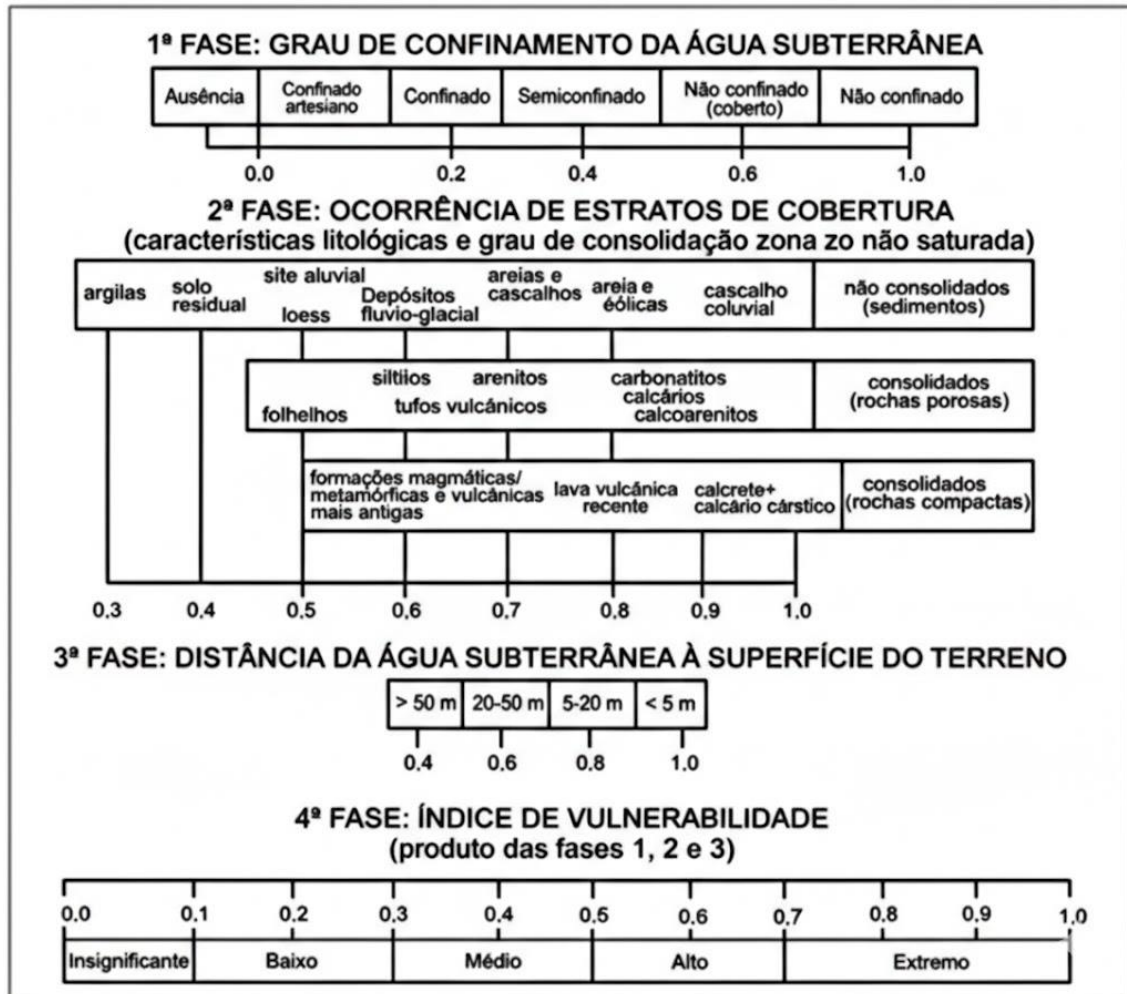
O termo analisa a representação do nível de variação da proteção natural auxiliado pela capacidade de atenuação da zona não saturada ou semiconfinada sobre o aquífero, sendo o resultado dos processos de filtração, biodegradação, adsorção, hidrólise, entre outros, que são características do solo e sua estrutura, presença de matéria orgânica, potencial redox e potencial hidrogeniônico, além do equilíbrio de carbonatos (Salas, Yepes, 2018, p. 546).

Na prática é um mapa em escala urbana que vai simplificar as condições hidrogeológicas existentes, que são, variações nas formações geológicas, variações nos perfis de alteração do solo, rios influentes, em algumas áreas e os efeitos antrópicos (Foster *et al.*, 2013, p. 1340). A vulnerabilidade de um aquífero será menor quanto mais lento for o acesso hidráulico a sua zona saturada, ou melhor, quanto tempo vai demorar para percolar até o aquífero (tempo de transito), desta maneira, onde a condutividade hidráulica for função da umidade, ou onde o aquífero apresentar multicamadas e com isso promove uma dificuldade maior para a infiltração e posterior percolação da água no aquífero; a vulnerabilidade será menor.

O método GOD é um dos mais simples para visualização, com informações disponíveis em estudos básicos que está apresentado na Figura 15, que são:

- ✓ G (Groundwater hydraulic confinement) – classificação em confinante não drenante, confinante drenante ou livre;
- ✓ O (Overlying strata) – composição da zona saturada e/ou “aquitard” e seu grau de fraturamento;
- ✓ D (Depht groundwater table) – profundidade da água ou da base da camada confinante do aquífero.
- ✓ Para cada fator existe uma gradação; de 0 ou 0,3 até a 10, que multiplicados entre si promovem o grau em que o aquífero está exposto, conforme figura abaixo.

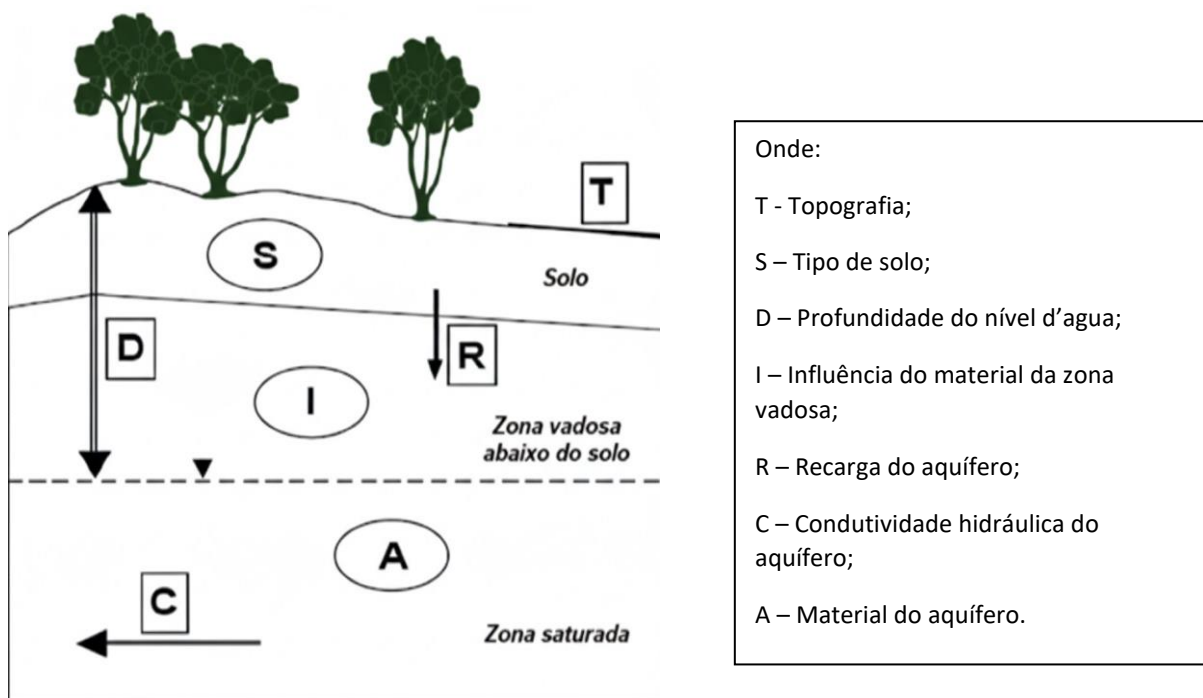
**Figura 15** - Método GOD esquematizado para aplicação em cartografia de vulnerabilidade



Fonte: Falheiros *et al.* (2019, p. 3).

O método DRASTIC estabelece uma relação através da soma ponderada de sete parâmetros (profundidade do nível da água, recarga natural, aquífero, solo, declividade, zona vadosa e condutividade hidráulica da zona saturada). A Figura 16, mostra um exemplo:

**Figura 16** - Representação gráfica dos parâmetros DRASTIC



Fonte: Tanajura (2018, p. 36).

Desta maneira cada parâmetro é descrito e é considerada a somatória dada pela fórmula:

$$\text{DRASTIC} = (D_p \times D_i) + (R_p \times R_i) + (A_p \times A_i) + (S_p \times S_i) + (T_p \times T_i) + (I_p \times I_i) + (C_p \times C_i) \quad (\text{eq. 15})$$

Para que: p = peso relativo do parâmetro;

I = índice de cada parâmetro.

Está claro que a melhor forma de ocupar o meio urbano é conhece-lo e o mapeamento da vulnerabilidade é uma ferramenta importante, pela indicação de características da movimentação da água na zona não saturada. Embora estes índices relativos mostrem-se insuficientes para sistemas cristalinos, vulcânicos, em multicamadas, cársticos e aquíferos com porosidade dupla, pois apresentam um comportamento mais heterogêneo está claro que é uma ferramenta que orienta o desenvolvimento e o crescimento do meio urbano, prevendo situações de escassez e/ou de uso indevido do recurso subterrâneo.

## 7 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO INTEGRADA PARA ÁREAS URBANAS

A natureza do solo e do subsolo das cidades é geralmente pouco conhecida, sendo possível observar uma rede de tuneis intrincados, fundações, estruturas metálicas, pavimentos, garagens, além de outras estruturas e materiais enterrados que alteram as propriedades originais do solo. Essas interferências modificam a porosidade, a permeabilidade, a condutividade hidráulica e a capacidade de armazenamento do subsolo (Alberte *et al.*, 2023).

A gestão dos recursos hídricos em ambientes urbanos não pode ser baseada no modelo clássico do ciclo da água, pois este é profundamente alterado pelos impactos da urbanização no ambiente e pela necessidade de expansão, que implica na criação de espaços para novas habitações, distribuição de água potável, drenagem pluvial e coleta de águas residuárias.

Estes processos devem ser planejados e organizados com equilíbrio, em harmonia com o meio natural e fundamentados em uma orientação técnico-científica interdisciplinar, que priorize a eco responsabilidade e a hidroética (Abrunhosa; Peppoloni; Chambel, 2018; Abrunhosa *et al.*, 2020).

Aos municípios, conforme o artigo 23, inciso VI e XI e parágrafo único da CF, cabe o exercício do poder de polícia para as águas (Figueiredo; Oliveira, 2021) sempre em consonância com a legislação infraconstitucional federal e estadual. Aqui também devem ser levadas em consideração as orientações políticas dos CBHs.

As águas subterrâneas são frequentemente percebidas como se seu reabastecimento fosse contínuo e perpétuo. Diferentemente de outros recursos naturais, há uma visão de que permanecem fisicamente utilizável na hidrosfera. No entanto, o aumento da demanda nestes últimos 50 anos tem provocado uma mudança significativa no uso desse recurso “não renovável”. Esse estoque de água subterrânea vem sendo explorado em grandes quantidades nos maiores aquíferos do mundo, com baixa probabilidade de reposição na escala do tempo humano.

Para compreender melhor esses modelos de uso futuro, é útil analisar o que foi feito no passado com outros recursos não renováveis. O conceito de “pico limite de uso” pode ser aplicado a esse recurso, quando a condição de extração excede a taxa de recarga. Isso significa que o pico de vazão bombeada causa um declínio no nível piezométrico regional.

Essa quantificação estabelece um modelo que contribui para entender o tempo necessário ao suprimento das demandas futuras e pode ser uma ferramenta útil na formulação de estratégias para gerenciar os custos e benefícios do uso regulamentado das águas subterrâneas (Niazi *et al.*, 2024).

O ambiente geológico e estrutural exerce uma influência significativa no potencial de infiltração e é essencial para compreender as características hidrodinâmicas, como os materiais porosos (aquíferos livres) ou fraturados (aquíferos confinados e semiconfinados) (Afonso *et al.*, 2022).

No Estado do Paraná, especialmente em sua porção norte, uma vasta área fraturada coexiste com um urbanismo pujante, relacionada ao sistema aquífero Serra Geral (SASG). Nessa região, observa-se uma grande área com capacidade de absorção de água, de moderada a baixa, embora associada a uma cobertura sedimentar, que mascara artificialmente as características sanitárias e hidráulicas.

Estes conceitos destacam a necessidade de políticas públicas voltadas para urbanistas e gestores municipais, que devem incluir, obrigatoriamente as águas subterrâneas na gestão do ciclo hidrológico e no desenvolvimento urbano. O PDM desempenha um papel fundamental nessa integração, promovendo o uso sustentável da água.

É crucial integrar, avaliar e planejar soluções que atendam a uma sociedade em transformação, em um ambiente e clima em constante mudança.

Assim, é dever do município estabelecer políticas de controle, mecanismos e ações práticas para o gerenciamento das águas subterrâneas, atuando em conformidade com a legislação federal (Política Federal de Recursos Hídricos, **lei 9.433, de 08/01/1997**), em convênio com o Estado (no Paraná, a **lei estadual 12.726, de 26/11/1999**) e sob a orientação do Comitê de Bacias Hidrográficas do rio Piraponema, a que está vinculada e ao Comitê Federal de Recursos Hídricos do Paranapanema.

A inclusão da preocupação com o gerenciamento das águas subterrâneas pode ser viabilizada por meio da lei de Uso e Ocupação do Solo (ou, Uso e Ocupação da Terra), que regula as dimensões e volumes das construções, promovendo a ordenação das funções sociais da propriedade. Nesse contexto a lei do Zoneamento atua como um instrumento para delimitar áreas urbanas com utilizações específicas e para desenvolver documentos técnicos.

Da mesma forma, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano e o Código de Obras apresentam uma série de orientações e normas técnicas destinadas a preservar as condições de higiene, saúde e de segurança para a população.

Sim, o município possui a obrigação jurídica de gerenciar as águas subterrâneas, considerando que elas garantem a fonte de abastecimento público (Villar, 2016). O zoneamento municipal permite delimitar geograficamente áreas territoriais para estabelecer “regimes especiais de uso, proteção e fruição da propriedade” conforme as condições hidrogeológicas (Brasil, [2025]).

O município deve realizar uma série de atividades que visem a proteção dos recursos hídricos subterrâneos. Dentre elas (Souza, 2006, 2010):

- Estabelecer restrições ao uso e ocupação do solo, especialmente em áreas de recarga;
  - Fiscalizar os critérios para perfuração de poços tubulares destinados ao abastecimento público;
  - Fiscalizar os critérios para os perímetros de proteção dos poços (usando a competência complementar à legislação estadual e federal);
  - Exigir que atendam as obrigações técnicas relacionadas as águas subterrâneas (monitoramento, outorga, em convênio com o estado, perímetro de proteção de poços, entre outros);
  - Exigir ações específicas nos contratos de prestações de serviços de saneamento;
  - Criação de unidades de conservação para a proteção das áreas de recarga dos aquíferos;
  - Propor adoção de técnicas compatíveis com as características hidrogeológicas locais e instrumentos que garantam a sua adoção (sistema de recarga artificial em parcelamento do solo, taxas de permeabilidade, entre outros);
  - Instituir cadastros municipais de poços e redes municipais de monitoramento;
  - Impor programas de monitoramento de todas estas situações;
- E com isso estabelecer (Foster *et al.*, 2009; Foster *et al.*, 2022; Kinzelbach *et al.*, 2003):
- Mapeamento de vazões retiradas e as variações dos níveis piezométricos e os riscos relacionados a vulnerabilidade natural do sistema;
  - Avaliação das prováveis vazões, níveis de sustentabilidade do recurso e, dos riscos associados as retiradas acima das possibilidades oferecidas pelo aquífero;
  - Controle do abandono de poços;
  - Controle sobre a infiltração de efluentes e águas servidas;
  - Controle da qualidade pelo uso de fertilizantes e pesticidas;
  - Procedimentos para recarga dos aquíferos no meio urbano.

Com estas informações se pode fundamentar instrumentos jurídicos de proteção que, analisados em conjunto com a utilização da terra urbana por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) promovem a compreensão dos conflitos e oferecem soluções para este diálogo complexo que é o ordenamento urbano. Essa abordagem contribui para o engajamento da sociedade e dos usuários das águas subterrâneas no processo de gestão (Silva *et al.*, 2023).

A compreensão das recargas constitui o elo entre os recursos superficiais e subterrâneos. Essa informação é essencial para estudos de disponibilidade, gestão e modelagem subterrânea, além de ser crucial na tomada de decisões, prevenindo a superexploração.

O ciclo hidrológico não opera de forma isolada, mas cada elemento interage com o outro e o uso e a contribuição superficial tem efeitos sobre os aquíferos, de modo que o volume retirado dos poços reduz também o volume dos corpos de água superficiais. Esse efeito é ampliado em áreas impermeabilizadas, onde não ocorre recarga suficiente para a garantia da manutenção das reservas exploráveis.

O aumento significativo do uso e exploração das águas subterrâneas pode ser explicado por diversos fatores, incluindo:

- **Econômicos:** o baixo custo da exploração;
- **Tecnológicos:** o avanço no conhecimento científico, controle e equipamentos disponíveis;
- **Segurança:** a necessidade de enfrentar a variabilidade da precipitação) e,
- **Institucional:** a facilidade de realização da exploração, que abastece diversos usuários, indústrias, e outros setores.

Seraphim e Bezerra, (2019) descrevem as principais alterações na terra urbana, tais como:

- **Compactação do solo:** interfere na taxa de absorção;
- **Remoção da camada arbórea nativa:** afeta negativamente as taxas de percolação e infiltração, e;
- **Surgimento de superfícies impermeáveis:** resultante da urbanização propriamente dita, que pode atingir índices de até 90% de impermeabilização (Garotti; Barbassa, 2010; Santos, 2017).

Além disso, a retirada da vegetação e sua substituição por gramíneas provoca uma redução de até 30 vezes na taxa de percolação (Oliveira *et al.*, 2019).

Cada uma dessas alterações pode ser considerada como um fator que modifica a percolação, a infiltração e a taxa de recarga no aquífero. Os principais desafios relacionados incluem (Seraphim; Bezerra, 2019):

- **Definição de áreas passíveis para a urbanização em bacias hidrográficas** e que leve em consideração a recarga do aquífero que está abaixo;

- **Revisão dos padrões de ocupação do solo** para reduzir a infiltração natural e potencializar a implantação de infraestrutura para reforçar o comportamento natural da água.

Com estas condições observadas define-se o conceito de urbanismo sensível à água, utilizando técnicas de leitura do espaço geográfico para avaliar a aptidão e analisar as vulnerabilidades decorrentes das alterações no ciclo hidrológico e seus efeitos nos serviços ecossistêmicos, bem como sua relação com o uso do solo urbano.

Nesse contexto, pode-se perceber que a forma urbana influencia o potencial de percolação, afetando a recarga para o aquífero. Por outro lado, em locais onde o padrão urbano não considerou as taxas de percolação, se torna necessária a instalação de dispositivos adequados. Esses equipamentos podem incluir poços de infiltração para as águas de chuva, jardins de chuva, infiltração através de áreas com grandes extensões, dispositivos de percolação em zonas centrais de canteiros e avenidas, proteção de áreas marginais aos córregos, entre outros.

O planejamento urbano considera que 90% da superfície é impermeabilizada, desta maneira, apenas 10% da área permite percolação. Dessa forma, somente uma pequena parcela da água infiltrada atinge o aquífero, devido as significativas diferenças de velocidade no processo (Garotti; Barbassa, 2010; Santos, 2017). Assim, o suporte de informações hidrogeológicas, o regime hidrológico e a ocupação da terra podem contribuir para a formulação de novas políticas para o desenvolvimento do uso da terra urbana.

As áreas de recarga dos aquíferos sugerem a aplicação de princípios baseados em infraestruturas multifuncionais, utilizando as técnicas de:

- **LID – Low Impact Development**, (Achieving Sustainable Site Design through Low Impact Development Practices);
- **WSD - Water Sustainable Urban Design** (Çoban; Cengiz; Demiroğlu, 2016);
- **WBDG - Whole Building Design Guide**;
- **SDS - Sustainable Drainage System Sponge Cities**, (“Creating sponge cities with nature-based solutions - GrowGreen”) (Domingos; Hige; Valentin, 2016).

Essa é a nova perspectiva proposta para o urbanista.

## **8 A INTERDEPENDÊNCIA ENTRE A POLÍTICA DE USO DA TERRA E A EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES.**

### 8.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável, associada à intensificação das atividades agrícolas e industriais, exerce uma pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos. Os poços tubulares, que são as principais fonte de abastecimento em muitos municípios e desempenham um papel crucial nesse cenário.

O uso da terra é um conceito de planejamento que se refere à forma como a terra é utilizada pelos habitantes locais. A idéia é explorar a terra para diversas finalidades, considerando sua alta relevância social, econômica e ecológica.

No entanto, práticas inadequadas podem surgir devido à falta da observância das características físicas do solo. O gerenciamento do uso da terra busca integrar o município e seu PDM, em uma estratégia voltada para a proteção e/ou restauração da riqueza ambiental local (não confundir com riqueza ecológica).

Trata-se de uma proposta concreta, com uma visão de desenvolvimento sustentável para o uso dos recursos disponíveis (bens naturais e bens de transformação pela ocupação), oferecendo alternativas para preservação, correção e mitigação das alterações indesejáveis que já ocorrem ou que podem vir a ocorrer (Santos; Santos; Santos, 2021, p. 4).

As transformações sociais e ecológicas causadas pela tecnologia e pela ciência, frequentemente resultam em ações de degradação e exploração inadequada do ambiente. Muitas vezes, esses impactos negativos são consequência da ação do próprio homem (Santos; Targa; Santos Junior, 2020, p. 69).

Atualmente, o mundo torna-se cada vez mais urbano, em um processo característico dos nossos tempos. Esse crescimento apresenta padrões de degradação dos recursos ambientais, incluindo aspectos sociais, políticos, econômicos e ecológicos.

Esse fenômeno leva a uma elevação dos custos de infraestrutura, que devem ser considerados no PDM, especialmente em uma sociedade complexa, espacialmente diversa e socialmente desigual. O processo de urbanização expandiu ocupações em áreas periféricas e adensou as regiões já ocupadas, levando ao uso não pensado dos recursos hídricos subterrâneos. Isso ocorre devido a ampliação da demanda e a incapacidade das concessionárias de acompanhar a velocidade desse crescimento, o que reflete em altos investimentos no meio urbano.

Nesse contexto, é indispensável considerar o saneamento nas cidades, que inevitavelmente envolve o uso de recursos hídricos subterrâneos, muitas vezes invisíveis para a engenharia sanitária (Verena, 2019, p. 29).

Essa é, no entanto, uma atividade inglória, pois as vazões outorgadas não correspondem às quantidades efetivamente retiradas devido à ausência de monitoramento da exploração. Atualmente, sabe-se que poços tubulares privados atendem uma boa parcela da população (Conicelli *et al.*, 2021).

Além disso, o sistema público de concessão dos municípios não possui capacidades para substituir essa produção privada, o que ajuda a mitigar os problemas relacionados a oferta hídrica. Nesse cenário, a atividade de exploração dos poços tubulares desempenham um papel essencial na prevenção de um colapso no abastecimento urbano (Hirata *et al.*, 2019, p. 22; Pinhatti, 2023, p. 38).

Esse tema precisa ser levantado na sociedade, pois evidência a importância de discutir e orientar uma política pública de uso do solo no Plano Diretor Municipal (PDM). Além disso, ele promove o engajamento da população e destaca a inadequação dos padrões de ocupação e das tecnologias aplicadas ao gerenciamento do ambiente urbano e a produção do espaço.

Essas práticas frequentemente ignoram os sistemas naturais (como a água superficial e as águas subterrâneas, principais questões abordadas neste trabalho), bem como os sistemas ecológicos. Essa negligência acarreta graves consequências, como degradação, contaminação e, em última instância, a extinção destes recursos. Trata-se de grandezas frequentemente desconsideradas (Barbosa; Costa, 2012).

Para enfrentar esses desafios, torna-se imprescindível implementar sistemas de controle e monitoramento que permitam identificar características e possíveis alterações. Além disso, esses sistemas fornecem dados fundamentais para avaliação e o suporte à gestão do espaço urbano (Parfitt; Mattos, 2021).

Estes indicadores destacam a necessidade de atenção ao uso e ocupação do meio urbano, bem como às alterações e consequências provocadas pelas ações antrópicas desordenadas. Quando a dinâmica do meio físico é negligenciada, surgem riscos, especialmente aos recursos hídricos subterrâneos, que são extensamente desconhecidos e intensamente utilizados.

Um outro olhar pode ser direcionado ao Plano de Drenagem Urbana que atualmente trata as informações de forma simplificada, limitando-se a abordar questões relacionadas a ocupação dos fundos de vale, das margens dos corpos d'água e a impermeabilização do solo. Esses aspectos são tratados como se fossem exclusivamente problemas da engenharia civil.

Esse enfoque ignora a contribuição essencial da engenharia hidrogeológica para a análise, deixando de considerar os processos naturais que poderiam ser aproveitados pelos técnicos municipais e pelos tomadores de decisão (Sotto; Philippi Junior, 2022).

Até mesmo técnicas de SbN (Soluções baseadas na Natureza) que envolvem ações de proteção, manejo sustentável e restauração de ecossistemas, propõem estruturas como parques lineares, jardins de chuva e telhados verdes como soluções para facilitar a drenagem e aumentar a permeabilidade do solo. No entanto, a hidrogeologia é frequentemente negligenciada, apesar de considerar velocidades de infiltração significativamente diferentes para cada tipo de solo, o que gera variadas condições de recarga nos aquíferos.

Por exemplo, a superfície apresenta velocidades de infiltração na ordem de centenas de metros por dia (como exemplo, um rio); o solo (onde é possível implementar um equipamento de infiltração eficaz) possui velocidades de infiltração, de metros a centímetros por dia; enquanto que o aquífero permite percolações em uma escala de centímetros a milímetros por dia (Manzione, 2015, p. 127).

## 8.2 O USO DA TERRA, SUAS CATEGORIAS, INFLUÊNCIAS E DESAFIOS PARA A HIDROGEOLOGIA URBANA

Com relação aos aspectos sociais, o crescimento populacional e as mudanças no padrão de vida resultam em uma demanda crescente por espaço urbano e uso da água, como consequência da conversão de áreas agrícolas e naturais em áreas urbanas.

Os critérios ecológicos evidenciam tanto impactos diretos quanto os indiretos sobre o meio natural. Por exemplo, a agricultura pode causar o esgotamento do solo, erosão, perdas de nutrientes e contaminação. Por outro lado, também desempenha um papel fundamental na preservação de áreas naturais e manutenção de ecossistemas e serviços ambientais, como o ciclo da água (Sampaio; Souza; Oliveira, 2023).

O desenvolvimento de novas tecnologias, tanto no aproveitamento do solo na agricultura, quanto para o planejamento urbano, e uso dos recursos da natureza, busca promover a integração e a sustentabilidade. Essas tecnologias promovem soluções ambientais e práticas mais adequadas para o uso da terra nas atividades humanas em harmonia com a natureza (Piroli, 2022, p. 87).

A instalação de poços tubulares profundos está intimamente ligada ao uso da terra, especialmente em seu entorno. Essa relação abrange diversos aspectos, incluindo a

disponibilidade de água para consumo, o risco de contaminação dos aquíferos, a preservação de áreas para a recarga e a proteção de habitats ecológicos.

Além disso, a instalação poços tubulares enfrenta desafios legais envolvendo questões relacionadas a gestão estadual, federal e municipal, bem como às características ambientais associadas ao seu uso pelo ser humano.

### 8.3 RELAÇÃO ENTRE USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA E AS ÁREAS DE RECARGA NO PLANO DIRETOR

As águas subterrâneas são de domínio estadual, cabendo aos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos subterrâneos a autorização para as perfurações dos poços tubulares e o uso do aquífero, por meio das outorgas. Nesse contexto legislativo, há espaço para a criação de regulamentos municipais que garantam a proteção dos recursos subterrâneos, principalmente no que diz respeito ao uso da terra sobre os aquíferos e suas áreas de recarga, com a participação dos municípios (Souza-Fernandes, 2021).

Esse é o paradigma atual, que amplia as concepções tradicionais da urbanização em três aspectos principais:

- o **conceitual**, que intensifica o enfoque na avaliação das relações entre as características do meio físico, a ecologia e o sociocultural, promovendo uma abordagem transdisciplinar;
- o **espacial**, que aprimora a qualidade da análise do urbano, destacando a conexão com as áreas da ecologia e território;
- e, finalmente, considera os **interesses das gerações futuras**, ampliando a análise, tanto espacial, quanto temporalmente.

O saneamento convencional, também conhecido como higienista, utiliza uma infraestrutura monofuncional e realiza a organização e a gestão da água urbana com uma lógica desconectada da base ecológica. Exemplos disso incluem a canalização de corpos d'água, ignorando o ciclo hidrológico completo, especialmente nas áreas de recarga dos aquíferos, em particular nas zonas urbanas (Seraphim, 2018, p. 7).

Para que venham a ser promovidos avanços nos PDMs, é indispensável adotar uma abordagem diferenciada no ordenamento territorial da cidade e uma nova perspectiva para a gestão dos recursos hídricos. Essas mudanças demandam estratégias que considerem aspectos ecológicos, sociais e econômicos, integrando a sustentabilidade no desenvolvimento urbano (Brito, Barraqué, 2008, p. 130; Nascimento; Heller, 2005, p. 40).

Esta questão torna-se especialmente relevante porque os PDMs geralmente consideram de forma insuficiente, as mudanças causadas pela escolha e pela forma de crescimento urbano, que podem impactar tanto a qualidade, quanto a quantidade de água subterrânea.

Nesse sentido, coloca-se em evidência que o uso e a ocupação da terra não devem levar em consideração apenas a demanda por água, mas também incluir soluções que contribuam para sua gestão eficaz. Há evidências de que essas tipologias de uso da terra alteram funções essenciais do ciclo hidrológico, como recarga dos aquíferos, a quantidade explorada e a qualidade da água.

Estas alterações resultam da superposição de áreas e do desconhecimento sobre a disponibilidade do recurso subterrâneo, suas características de reabastecimento e seu papel estratégico em cenários de escassez hídrica, agravados pela atual crise climática.

Isso se faz particularmente relevante porque os PDMs consideram pouco as mudanças causadas pela forma e pela escolha dos locais de crescimento urbano, que podem impactar tanto a qualidade, quanto a quantidade da água subterrânea. Assim, coloca-se em questão que o uso e a ocupação da terra não devem apenas demandar água, mas também incluir soluções que contribuam para sua gestão. Existem evidências de que essas tipologias de uso da terra alteram as funções do ciclo hidrológico.

Esse cenário apresenta desafios para a ocupação dessas áreas e demanda uma revisão dos padrões de ocupação, considerando a necessidade de manutenção da infiltração natural. Ele também revela um potencial para a implementação de equipamentos multifuncionais, capazes de otimizar o comportamento natural da água (Seraphim; Bezerra, 2019, p. 9).

Como mencionado no capítulo anterior, essa dinâmica de desenvolvimento urbano está desequilibrada, afetando a recarga natural dos aquíferos devido à urbanização. Essa influência é resultado de características como: - Topografia; - Declividade; - Permeabilidade; - Clima; - Profundidade do solo;

Esses fatores indicam a necessidade de uma organização cuidadosa para garantir a preservação dos processos naturais que sustentam a recarga dos aquíferos em regiões urbanizadas, conforme descrito no Quadro 1.

**Quadro 1** - Relação entre fatores da recarga e características para a urbanização

<b>Caracterização</b>	<b>Fatores relacionados à recarga</b>	<b>Fatores relacionados à urbanização</b>	<b>Relação</b>
Geomorfologia	Regiões topográficas de maior altitude e menos declividade (< 20%)	Regiões topográficas de maior altitude e menos declividade (< 30%)	Muito alta
Solos	Solos permeáveis e espessos, com umidade antecedente a chuva próxima a capacidade de campo	Solos mais compactos e espessos, que possuem ao mesmo tempo resistência a cargas e capacidade de absorção	Alta
Clima	Grande quantidade de chuvas, pouco intensas de curta duração	Temperaturas e umidades amenas, disponibilidade hídrica	Alta

Fonte: Seraphim e Bezerra (2019, p. 15).

O quadro 1 destaca a relação significativa entre as formas de ocupação e a morfologia do local, levando em consideração o clima e as características geotécnicas e hidrogeológicas do solo. Regiões com menos declividade (entre 20 a 30%), e solos com alta permeabilidade e espessura relativa que apresentam uma excelente relação de infiltração. Essas áreas demonstram capacidade de retenção de umidade e resistência a cargas, e quando combinadas com um clima que apresenta uma boa pluviosidade e temperaturas amenas, oferecem uma oportunidade ideal para a expansão urbana, quanto para a recarga de aquíferos.

Entretanto, é fundamental compreender que as taxas de infiltração sofrem uma redução drástica devido a fatores como o aumento de superfícies impermeáveis, a compactação do solo e a diminuição da cobertura arbórea. Conforme o apresentado, uma superfície impermeável, por si só, não resolve o problema das diferenças nas velocidades de infiltração entre solo e aquífero.

Dessa forma, é necessário adotar soluções adicionais para promover uma infiltração mais eficiente e controlada até o aquífero. Como exemplos se pode citar a implementação de jardins de chuva, canalização e distribuição em áreas verdes, além do uso de tanques pulmão para armazenar águas pluviais, entre outras medidas (Hamidi; Ramavanda; Sorial, 2021; Shang, *et al.*, 2023).

Outra propriedade que merece atenção é a compactação do solo, que reduz de forma significativa sua porosidade e, conseqüentemente, sua permeabilidade. Esse efeito é ainda mais acentuado pela substituição da vegetação nativa, já que a remoção de árvores de grande porte e sua substituição por gramíneas ou solo exposto podem diminuir a taxa de infiltração em até 30 vezes.

Além disso, é possível observar que áreas cobertas com gramíneas apresentam taxas de infiltração significativamente menores em comparação às áreas com extrato arbóreo. No contexto urbano, essas áreas geralmente correspondem a porções que foram perturbadas e/ou compactadas, o que dificulta de forma acentuada a recuperação da sua permeabilidade.

Com base no que foi mencionado, as seguintes ações podem ser propostas:

- **Revegetação e restauração do solo:** implementar projetos de plantio de espécies nativas de grande porte em áreas urbanas, buscando a recuperação da permeabilidade e a promoção de taxas mais elevadas de infiltração;
- **Criação de zonas de amortecimento:** delimitar espaços específicos para recarga dos aquíferos, com restrição à compactação do solo e manutenção da cobertura arbórea;
- **Implementação de Soluções baseadas na Natureza:** adotar equipamentos como jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis para otimizar a infiltração da água em áreas urbanizadas;
- **Monitoramento constante:** estabelecer sistemas de acompanhamento das taxas de infiltração em diferentes tipos de solo urbano, auxiliando no ordenamento e gestão das áreas;
- **Educação Ambiental:** promover campanhas de conscientização sobre o impacto da urbanização na dinâmica hídrica e a importância de práticas sustentáveis no uso da terra.

O traçado viário surge como um grande aliado nessa operação, podendo ser desenvolvido em formato como grelha ou curvilíneo. Esses traçados podem favorecer tanto a concentração de águas pluviais quanto a acumulação dessas águas, proporcionando melhores condições para infiltração e percolação até o aquífero (Andrade, 2014, p. 6; Hinman, 2012, p. 62).

Por outro lado, a mitigação de áreas compactadas pode ser promovida por meio de técnicas de mínima perturbação na escala de lotes, como a introdução de indivíduos arbóreos nativos do local (Andjelkovic, 2001, p. 6).

Aumento de parques urbanos é uma outra estratégia muito utilizada (Hinman, 2012, p. 74) devido ao seu potencial para manter áreas vegetadas que integram o sistema de gestão da água. Esses espaços livres multifuncionais desempenham funções ecossistêmicas essenciais, contribuindo para a preservação das áreas mais sensíveis (Seraphim *et al.*, 2019, p. 25).

Diante desse cenário, é essencial adotar uma mudança de perspectiva, abandonando o enfoque puramente funcionalista, promovendo um ordenamento urbano baseado nas reservas

estratégicas, como as águas subterrâneas. Diversas legislações, como o Estatuto da Cidade (**Lei 10.2257/2001**) e os artigos 182 e 183 da CF, oferecem respaldo para proteger as áreas de recarga ou descarga dos aquíferos.

O parágrafo primeiro do artigo segundo, assim como os artigos 40º, 41º e 42º, viabilizam a proposição de que o PDM pode estabelecer um zoneamento ambiental especial. Esse zoneamento é respaldado pela **lei 9.433/97**, que destaca a articulação entre os recursos hídricos e o uso da terra, permitindo que o município implemente restrições ao uso em áreas estratégicas dentro do espaço urbano (Souza, 2006).

Além disso, podem ser desenvolvidas normas técnicas específicas para regulamentar a perfuração dos poços e definir perímetros de proteção, garantindo uma gestão mais eficiente desses recursos hídricos (Souza, 2006, p. 14-15).

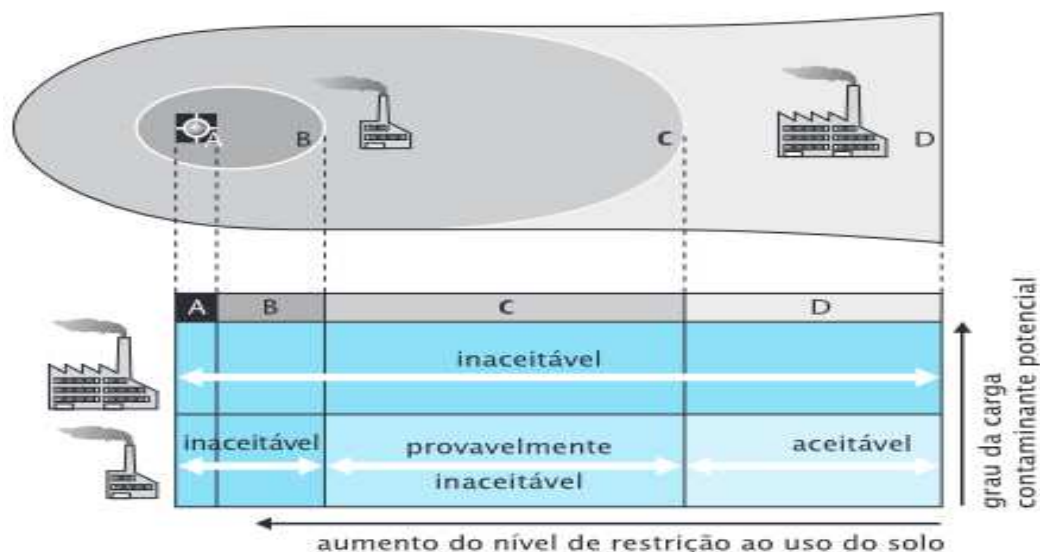
#### 8.4 O PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DOS POÇOS TUBULARES

É fundamental estabelecer um equilíbrio entre a proteção do aquífero, e a proteção das captações, como poços e nascentes, levando em consideração a situação do recurso e as condições hidrogeológicas específicas do local.

A primeira ação deve começar com a delimitação da zona de captura das águas subterrâneas pelo poço tubular, seguida pela avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Conforme ilustrado na Figura 17, que apresenta o conceito de captura da pluma de contaminação, é possível categorizar as áreas com diferentes níveis de cuidados necessários para o monitoramento, podendo até mesmo resultar na não aceitação do uso do recurso em determinados casos.

**Figura 17** - Conceito de área de proteção para poços tubulares e as prováveis restrições de uso



Fonte: Foster *et al.* (2007, p. 9).

A partir da observação da Figura 17, é possível estabelecer uma relação entre o uso da terra e as restrições necessárias para prevenir a contaminação dos recursos subterrâneos, além de avaliar o grau de carga contaminante. O desenho apresenta prédios de dois tamanhos diferentes, permitindo a comparação entre o zoneamento e a distância da intervenção, considerando o grau da carga potencial de contaminação e a necessidade de restrição.

Esta análise revela-se espacialmente relevante ao comparar diferentes tipos de ocupação, como uma residência e um prédio com 40 apartamentos, ou ainda uma fábrica com 50 funcionários em contraste com outra com 100 colaboradores. Essas diferenças destacam o impacto variado das intervenções na terra, bem como a importância do planejamento adequado para garantir a preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Embora a figura 17 está voltada para aquíferos homogêneos e não fraturados, ela fornece quatro zonas distintas, definidas por critérios específicos relacionados à dinâmica da água subterrânea. Essas zonas incluem:

**Zona A** – refere-se à área do próprio poço tubular, incluindo sua área de manutenção e a separação de outras estruturas. Essa zona pressupõe a aplicação de revestimentos, pisos adequados e é o local por onde a bomba submersa é instalada.

**Zona B** – área de proteção biológica é uma zona ao entorno do poço que é projetada para proteção da captação subterrânea de ações antrópicas, que são fontes potenciais de poluição por bactérias e patógenos, assim como das águas residuais e o esgoto que vaza. É projetada em função do tempo de trânsito horizontal médio que transita na zona saturada. Este

tempo varia enormemente de um local para outro e depende do tipo de solo. É o perímetro mais importante, para a saúde pública.

**Zona C** – é o perímetro de proteção que compreende uma pequena área ao redor da captação e as atividades relacionadas que se admitem são aquelas próprias para a manutenção (com proibição de acesso de animais) sendo comum a colocação de cercas ao seu redor. Tem um tamanho relativo a um raio de 20 metros e a sua proteção sanitária se dará em torno dos 200 metros, ao redor do poço. A porção próxima poderá ser coberta com um telhado, para que se evite o contato com produtos químicos, que são usados na manutenção da bomba submersa e do poço tubular.

**Zona D** – é a área externa total de captura do poço tubular que compreende a área de contribuição necessária para haver o equilíbrio entre a exploração e a capacidade do aquífero de fornecer água. É conhecida pela geometria da trajetória do fluxo e é a zona que permite a proteção da quantidade explorada ao longo do tempo.

A delimitação para a proteção de um poço tubular deve levar em consideração um perímetro imediato de proteção sanitária, definido por um raio de 10 metros a partir do centro do poço. Este perímetro deve ser cercado e protegido para resguardar o seu interior, garantindo também as condições de acesso para caminhões ou caminhonetes que realizem as operações de manutenção.

Além disso, o local deve conter uma laje de proteção sanitária, confeccionada em concreto armado e fundida no próprio local. Essa laje deve envolver o tubo de revestimento, possuir uma declividade que direcione para o centro até as bordas, ter espessura mínima de 10 centímetros e ocupar uma área maior que 3 metros quadrados.

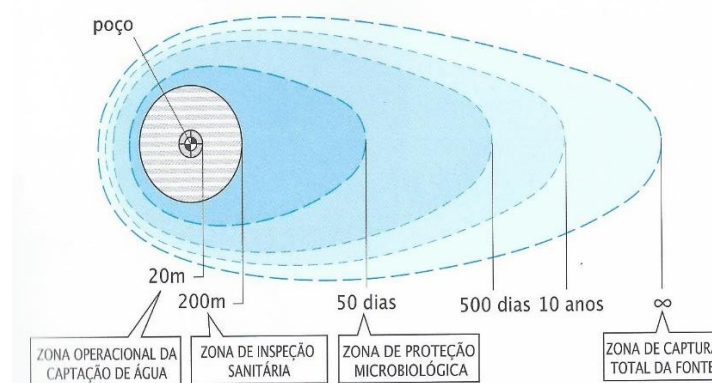
Outro cuidado essencial é o estabelecimento de um perímetro de alerta, voltado para a prevenção de contaminação microbiológica. Esse perímetro deve ser delimitado com base no sentido do fluxo do aquífero e no tempo de trânsito de 50 dias para poluentes não conservativos.

Nessa área, é indispensável a aplicação de regras para a exploração do recurso, bem como o controle rigoroso das fontes poluidoras já existentes. Além disso, deve-se restringir a introdução de novas fontes de contaminação, garantindo assim uma proteção eficaz do aquífero.

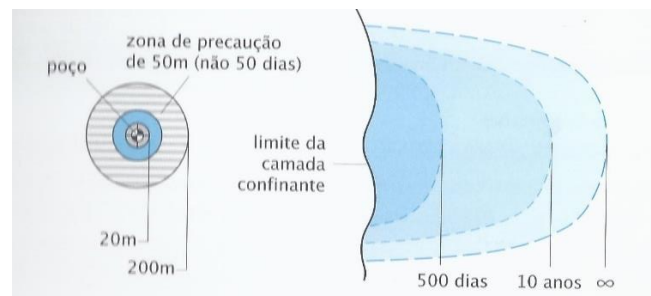
A Figura 18 demonstra que essa preocupação está intimamente ligada ao uso da terra.

**Figura 18** - Zonas de captura e os perímetros para o tempo de trânsito ao redor de um poço.

a) Aquífero não confinado



b) Aquífero localmente confinado



**Fonte:** Foster *et al* (2007, p. 35).

A Figura 18 ilustra que há aquíferos com comportamento mais homogêneos e não confinados, permitindo a definição de diferentes distâncias para as zonas de proteção (Figura 18 a). por outro lado, para aquíferos localmente confinados, há uma atenção especial voltada à camada confinante (Figura 18 b). Nesses casos, orienta-se para a criação de uma zona de precaução com um raio de 50 metros e realiza-se o cálculo do limite da camada confinante.

Além disso, são consideradas linhas de influência para períodos de 500 dias, 10 anos e outras possíveis ocorrências típicas do meio urbano. Essas áreas de proteção são delimitadas com base nas propriedades locais de rochas e solos, constituindo o alicerce para uma política eficaz de proteção do aquífero.

A definição dos limites externos, considerando tempos de fluxo de 300 dias, 600 dias, e entre 5 e 6 anos, será acompanhada pela aplicação de controles tanto em residências, quanto em indústrias, conforme detalhado no Quadro 2.

**Quadro 2** - Principais características das zonas de controle.

Zona	Delimitação do limite externo (tempo)	Controles domésticos	Controles Industriais
1	Percurso de 300 dias	Sem novas residências Sem mudança no despejo de águas residuárias	Nenhuma indústria nova
2	Percurso de 600 dias	Sem tanque sépticos Sem sistema de escoamento das águas pluviais para a rede de esgoto ou galeria pluvial Sem tanques de combustível	Resíduos industriais líquidos serão despejados em sistemas de tratamento com especificação aprovado no licenciamento ambiental
3	Percurso de 5 a 6 anos	idem	idem
4	Outras área sem tempo limite	idem	idem

Fonte: Adaptado de Foster *et al.* (2007, p. 38).

Além dessas orientações, a localização e o formato dos poços devem respeitar os limites da área de recarga, as áreas naturais de descarga, as condições de confinamento e os gradientes hidráulicos do aquífero. É imprescindível considerar a existência de outros poços em bombeamento, que podem causar alterações temporárias nos tempos de trânsito e na configuração das zonas de captura.

Para a visualização da Zona Interna, baseada nos tempos de trânsito (isócronas de 50 e 500 dias), são avaliados fatores como a transmissividade do aquífero, a espessura do fluxo dinâmico e a porosidade efetiva. Contudo, em meios fraturados e heterogêneos, somente uma parte da porosidade ou da espessura pode ser considerada no regime de fluxo do poço tubular.

Por outro lado, a zona de proteção microbiológica pode ser representada como um elipsoide ou até mesmo um círculo, que reflete o cone de depressão. Nos aquíferos fissurados, torna-se essencial analisar fatores como a espessura, a porosidade efetiva e a condutividade hidráulica do aquífero (Wahnfried; Hirata, 2005, p. 4).

As limitações mais significativas ocorrem em aquíferos submetidos a bombeamento intenso, onde a alta variação no nível dinâmico pode causar interferências entre os níveis dos poços, resultando em áreas de proteção extremamente complexas de calcular.

Por outro lado, em aquíferos explotados por longos períodos, a taxa de recarga reduzida ao longo do tempo pode levar a um declínio acentuado do nível dinâmico, ocasionando até mesmo instabilidades geotécnicas em pequenas porções (Iritani, Ezaki, 2012, p. 15).

Além disso, a presença de efluentes captados irregularmente pelo aquífero, e de recursos superficiais influentes na Zona de Captura, pode comprometer a qualidade da água.

Uma consideração final importante diz respeito a situações em que o divisor de água subterrânea está distante e/ou o gradiente hidráulico é muito baixo, dificultando a definição da zona de recarga. Em casos como esses, torna-se essencial recorrer ao uso de isócronas para períodos de 10 anos, a fim de obter uma estimativa mais precisa.

A presença de aquíferos com múltiplas camadas e gradiente hidráulico vertical drenante entre as unidades do aquífero deve ser analisada caso a caso, o que exige hipóteses mais simplificadas sobre o comportamento hidráulico. Também existem aquíferos com baixo armazenamento, nos quais deve-se definir uma área máxima de proteção (Foster *et al.*, 2006, p. 41-42).

## 9 UMA ANÁLISE ESPACIAL PARA O MUNICÍPIO DE MARINGÁ

### 9.1 INTRODUÇÃO

Maringá é um município *sui generis*, pois possui um plano estratégico para o seu desenvolvimento até o ano 2030 (Kitazawa; Borges; Gonçalves, 2016). A produção do espaço urbano é resultado da ação dos agentes sociais e dos seus interesses, suas estratégias e práticas espaciais, irão mostrar as suas contradições e conflitos. Desta maneira, além de conhecer quem são os agentes da produção do espaço urbano, é fundamental conhecer o meio físico sobre o qual estas movimentações ocorrem (Maricato, 2013).

Deixando claro que, produzir espaço urbano vai beneficiar o setor produtivo privado, o capital imobiliário, o setor industrial e o de prestação de serviços pelo fomento da infraestrutura e da mão de obra especializada (CODEM, 2015). Mas tratam o meio físico de maneira superficial e sem prever as situações e os conflitos futuros.

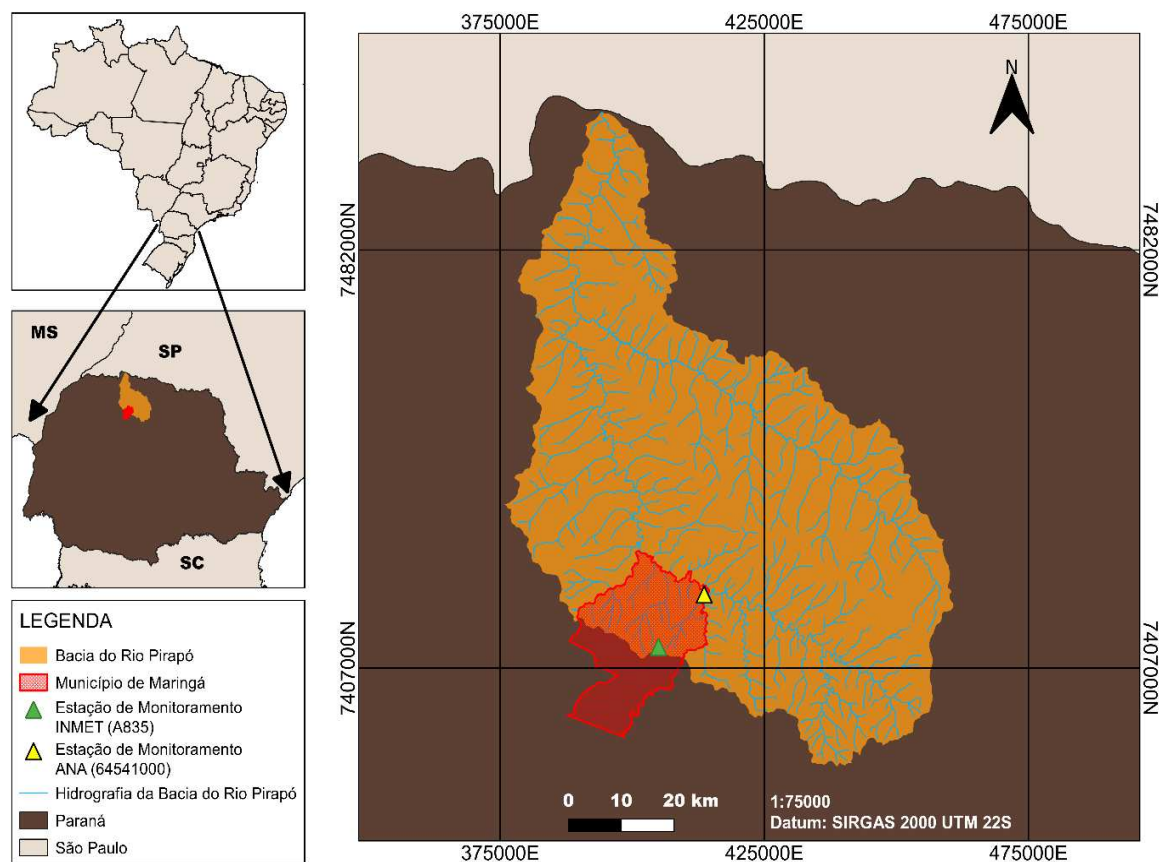
Neste capítulo a análise vai se concentrar nas águas que estão subterrâneas e nas discussões durante a atualização do PDM.

### 9.2 O MUNICÍPIO DE MARINGÁ- PR

O município situa-se no noroeste do Paraná, no terceiro planalto, nas coordenadas 23° 15' 14'' e 23° 33' 40'' sul, e longitude e 51° 50' 1'' e 52° 05' 40'' oeste, é cortado pelo trópico de Capricórnio possuindo uma vegetação natural relacionada as condições climáticas e ao seu relevo (Figura 19).

Atualmente resume-se em matas secundárias, capoeiras e plantas rasteiras. A política ambiental do município preserva e protege os vales dos rios e suas áreas de proteção permanente – APP. A área urbana, desta maneira, apresenta uma estatística de 4 habitantes para cada árvore (aproximadamente 25 m<sup>2</sup> por habitante) e três bosques principais (Parque do Ingá, Bosque 2 e Horto Florestal) com mata nativa preservada (CODEM, 2015).

**Figura 19 -** Mapa de localização da área de estudo



**Fonte:** O Autor.

Tem uma área territorial de 487.026,0 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 425.983 habitantes. Sua população tem escolarização básica (de 6 a 14 anos) para 98,4 % (censo 2010), com IDH (índice de desenvolvimento humano) de 0,808, e um PIB (produto interno bruto) de R\$ 51.908,79 (IBGE, 2021)

Desde 1942, com a sua criação pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, estimulou a vinda de migrantes para a ocupação da porção norte do Paraná. O município nasceu em 10 de maio de 1947, inicialmente distrito de Mandaguaçu, sendo emancipado em 1951 (Machado; Mendes, 2003), no mesmo período em que estavam sendo elaborados os planos, pela equipe de Barry Parker, os bairros paulistanos, Jardim América, Alto da Lapa e Pacaembu (Rego, 2001).

No início do seu desenvolvimento o café foi o principal indutor do crescimento da região, entre as décadas de 1950 a 1970. Com as mudanças havidas pelo processo de modernização e substituição das culturas, desencadeou-se um intenso processo de organização do espaço rural, que reflete no meio urbano. O plano inicial para o município baseou-se no conceito de “cidades jardim e na carta de Atenas”, pelo arquiteto urbanista Jorge Macedo de

Vieira, em 1947 (Rego, 2001). Levando em consideração as características topográficas para o traçado das vias de transporte. Outra grande preocupação foi a manutenção da vegetação nativa.

A estratégia urbanística era a de alcançar 200 mil habitantes em 50 anos.

O crescimento da região superou os índices imaginados e atualmente Maringá apresenta um imenso potencial para a produção industrial e prestação de serviços. A legislação urbanística apresentou dois momentos; o primeiro mostrou uma concepção tecnocrática que orientou o crescimento da cidade (embora não mencionasse a proteção das águas subterrâneas), defendendo principalmente os interesses do mercado imobiliário (da década de 50 até os anos 80) (CODEM, 2015; Machado; Mendes, 2003).

O segundo momento ocorreu após a constituição de 1988, com a introdução do conceito de função social e gestão democrática, embora mostrou muita dificuldade em romper com a influência tecnocrática de gestão urbana (Vilela, 2021).

Atualmente, o traçado viário urbano não segue mais estas orientações originais projetando uma imagem urbana no ambiente construído que manipula os padrões de comportamento do público que compra, nascendo dessa interpretação sintética e hegemônica o cognome de cidade verde ou cidade ecológica (Bovo; Amorin, 2012).

As ações de urbanismo foram se voltando para orientações onde estão a confirmadas as imagens de cidade ecológica, como estratégia política e de mercado (Vilela, 2021).

Estas instituições mostram conceitos fechados, monossêmicos, direcionados para o discurso simples e para o convencimento, sem margem de aprofundamento nos seus significados, tanto sociais como físicos (Marangoni, 2021).

Desta maneira ao se referir a política ambiental expressa nas linhas do atual PDM, se pode perceber que a preservação, manutenção e recuperação dos recursos naturais no município, nem sempre é levada a sério pela prática do poder público. É o mote deste trabalho, que pretende mostrar a negligência com os recursos das águas subterrâneas, como uma crítica as metodologias do urbanismo moderno que não prioriza o conhecimento da escala da natureza nas discussões de qualidade de vida, nas soluções de mobilidade urbana e nas dinâmicas que favorecem a sustentabilidade (Sampaio; Souza; Oliveira, 2023).

### 9.3 O MEIO FÍSICO

Diferentemente da maioria dos municípios brasileiros, Maringá possui urbanização pensada antecipadamente, com as primeiras edificações erguidas no início da década de 1940. Localizada no noroeste do estado do Paraná, entre as bacias hidrográficas dos rios Pirapó e Ivaí,

apresenta influência regional metropolitana, com população estimada, em 2021, de 436.472 habitantes, classificada como a terceira maior cidade do estado e a sétima da região sul do Brasil (IBGE, 2021).

A região de estudo, apresenta uma altitude média de 540 m.a.n.m, numa região de transição (Minaki; Montanher, 2020). Está inserida geologicamente nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, entidade geológica com preenchimento sedimentar-magmático, situada no centro-leste da América do Sul, segundo vários autores, abrangendo uma área de cerca de 1.600.000 Km<sup>2</sup>. Deste total, cerca de 1.000.000 km<sup>2</sup> está localizado em território brasileiro, distribuídos pelos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

### 9.3.1 Clima

O município está localizado, numa região de transição climática e possui características de clima tropical e subtropical. Não existe uma diferença expressiva na precipitação do verão e primavera que mostra o dobro da pluviosidade média do outono-inverno, existe uma alta variação interanual, guardando relação com anos de chuvas extremas, acima ou abaixo da média (Minaki; Montanher, 2020).

### 9.3.2 Geomorfologia

O município de Maringá pertence a Unidade Morfológica estrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, na Unidade Morfoestrutural do Terceiro Planalto Paranaense que se subdivide em 18 subunidades morfoestruturais. Maringá se localiza na subunidade morfoestrutural do Planalto de Maringá. Apresentando dissecação baixa, com topos alongados e aplainados, vertentes convexas, vales em “V”. Altitudes, mínima de 260 m.a.n.m. e máxima de 800 m.a.n.m., exibindo um gradiente de 540 metros, com classes de declividade predominantes de 6 a 12% e menores que 6% (Atlas [...], 2006).

### 9.3.3 Geologia e Hidrogeologia

A Bacia Sedimentar do Paraná sofreu um intenso vulcanismo fissural, constituindo ampla província magmática, definindo no Fanerozoico, como sendo a maior manifestação ígnea não-oceânica. Esse evento compreende espessa cobertura de magmas, uma intrincada rede de

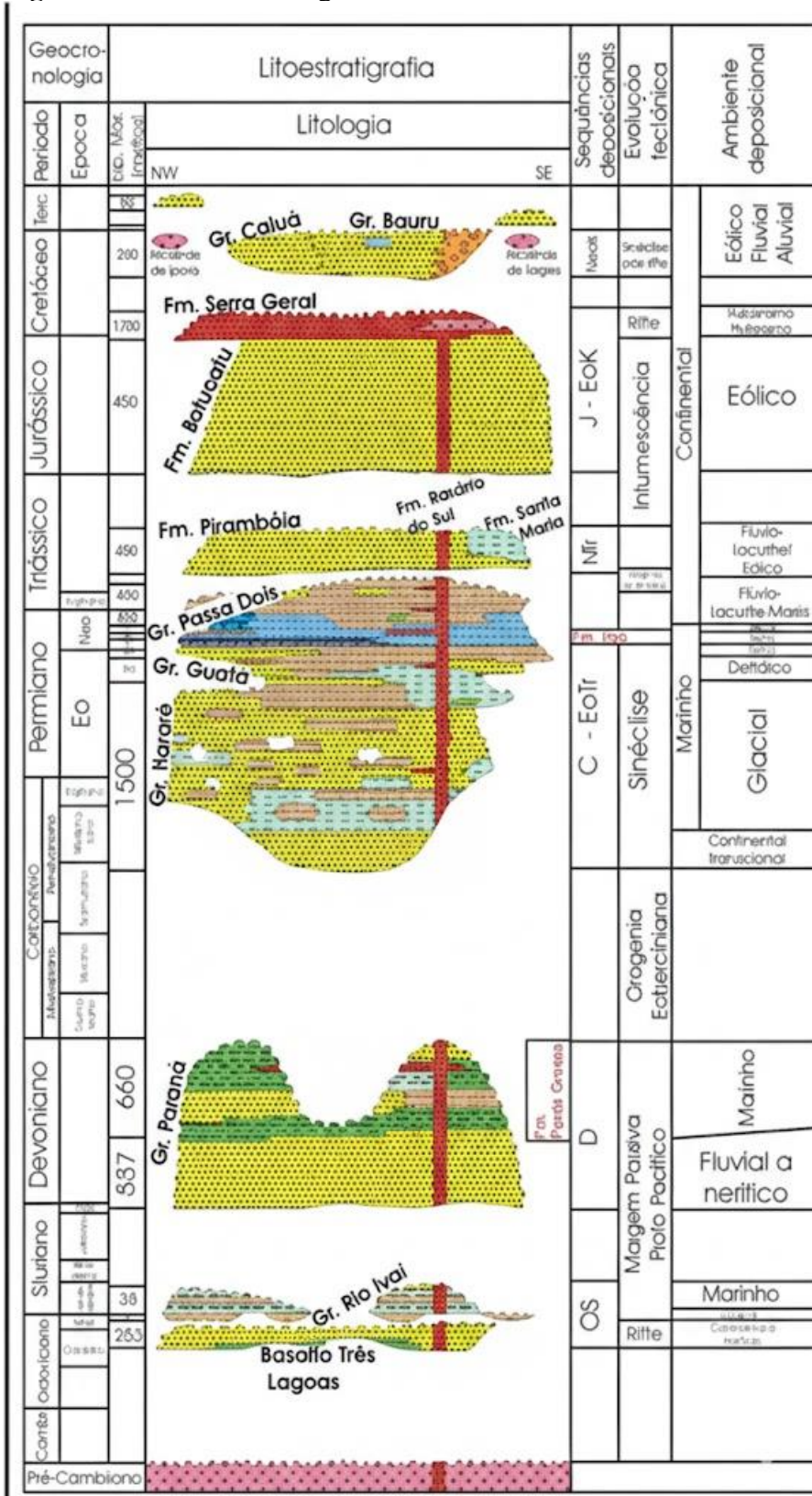
diques que seccionam duas complexas, extensas e importantes sequências de rochas sedimentares. A primeira formada durante o Paleozoico e a segunda depositada durante o Mesozoico (Hartmann, 2014; Milani; Ramos, 1998).

O SASG faz parte da província hidrogeológica do Paraná e se destaca pela importância do número de poços que exploram quantidades significativas para o abastecimento humano. Sua anisotropia estrutural reflete o seu ambiente vulcânico deposicional e suas estruturas tectônicas, que estão relacionadas aos eventos de deformação ocorridos ao longo da história tectônica da Bacia Sedimentar do Paraná

A Bacia do Paraná é uma vasta bacia sedimentar intracratônica localizada na porção centro-leste da América do Sul, abrangendo partes do Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. Sua coluna estratigráfica registra uma longa e complexa história geológica, desde o Ordoviciano Superior até o Cretáceo Inferior, caracterizada por ciclos de subsidência e soerguimento que resultaram na deposição de uma diversidade de rochas sedimentares e vulcânicas.

A sequência estratigráfica da Bacia do Paraná é classicamente dividida em seis supersequências deposicionais, separadas por grandes discordâncias, que refletem importantes eventos tectônicos e climáticos. Cada supersequência representa um megaciclo de preenchimento da bacia, começando com a transgressão marinha e terminando com a regressão ou erosão, como na coluna estratigráfica da figura 20.

**Figura 20 - Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná**



Fonte: Milani, Langer e Madeiros (2015).

### Supersequências Depositionais:

1. Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano Superior – Siluriano Inferior): Representa o início da sedimentação na bacia, com depósitos de folhelhos e arenitos predominantemente marinhos, como a Formação Furnas e a Formação Ponta Grossa. Esses depósitos indicam um ambiente marinho raso a profundo, com influências glaciais no Siluriano (Assine; Net; Milani, 2014).
2. Supersequência Paraná (Devoniano): Caracterizada por depósitos marinhos rasos a profundos, representados pelas formações Cabo Frio e Serra Grande (no extremo sul) e Rio do Sul (no centro-norte). Os arenitos da formação Botucatu e os folhelhos da formação Irati são exemplos clássicos dessa supersequência (Milani; Ramos, 1998). Esta supersequência é conhecida pela presença de folhelhos ricos em matéria orgânica, importantes na prospecção de hidrocarbonetos.
3. Supersequência Gondwana I (Carbonífero – Permiano Inferior): Marca a deposição em um ambiente de transição marinho-glacial a terrestre. A formação Itararé, composta por diamictitos, arenitos e folhelhos, registra extensas glaciações do Paleozoico Superior. As unidades subsequentes, como a formação Rio Bonito (com suas importantes camadas de carvão mineral) e a formação Palermo, indicam a transição para ambientes fluviais e deltáicos (Eyles; Eyles; Miall, 1993).
4. Supersequência Gondwana II (Permiano Superior): Predominantemente composta por depósitos siliciclásticos de ambiente fluvial e lacustre, como a formação Irati (com folhelhos pirobotuminosos ricos em querogênio) e a formação Serra Alta. A formação Irati é particularmente significativa por seus depósitos de folhelho preto e concreções de sílex (Silva; Rostirola, 2019).
5. Supersequência Gondwana III (Triássico): Representada principalmente pelos arenitos eólicos da formação Pirambóia e os arenitos fluviais da formação Santa Maria, esta supersequência é conhecida por seus importantes registros fossilíferos de vertebrados do Triássico (Schultz; Langer; Ferigolo, 2015). A formação Botucatu, em parte, também pertence a essa supersequência, refletindo a deposição em vastos desertos eólicos.
6. Supersequência Gondwana IV (Jurássico Superior – Cretáceo Inferior): Caracterizada pelo vulcanismo basáltico de grande escala da formação Serra Geral (derrames de lavas basálticas e riolíticas associadas ao evento de separação da Gondwana) e pelos arenitos eólicos da formação Botucatu (na sua porção superior). A formação Serra Geral é a unidade mais volumosa da bacia, cobrindo uma vasta

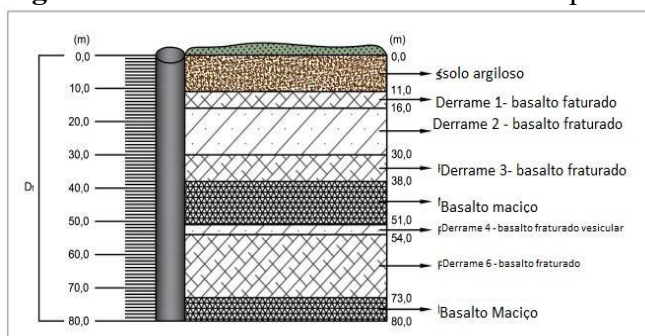
área e representando um dos maiores eventos vulcânicos da história da Terra (Ernesto *et al.*, 2002).

Este evento vulcânico apresenta derrames com estruturas maciças, micro cristalinas, vesiculares e/ou amigdaloidais, com um intenso fraturamento, são essencialmente subhorizontais (Melfi; Piccirilo; Nardy, 1988). Por outro lado, estas rochas apresentam diferenciações, coexistindo basaltos, alcalinos, toleíticos, andesíticos até riolitos. com isto posto a seu modelo eruptivo é baseado em magma basáltico e basalto-andesíticos, que alcançaram a superfície por falhas e fraturas no sentido NW-SE (que são grandes direções de fraqueza) como erupções lineares ou como centro eruptivo alinhado no sentido NW-SE (Licht, 2012).

O município de Maringá, geologicamente, encontra-se assentada sobre o agora chamado de Grupo Serra Geral (Besser; Brumatte; Spisila, 2021), constituído, predominantemente, por formações geológicas vulcânicas de rochas básicas, toleíticas e andesitos basálticos, ocorrendo subordinadas a quantidades de riolitos e riolitos, de textura afanítica, coloração cinza e negra. Os topos dos derrames são geralmente amigdaloidais, apresentando grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas e de pequenas lentes de arenito. Não se observou em trabalhos de campo nenhuma feição do Grupo Caiuá.

A figura 21 mostra esquematicamente um campo de derrames do tipo “pahoehoe”, com estrutura amigdaloidal e núcleo maciço. Onde é possível ainda observar, em profundidade, a variação das estruturas.

**Figura 21** - Subdivisão das camadas da Grupo Serra Geral



Fonte: Peterlini, Pinese e Celligoi (2021).

A Figura 21 mostra uma visão bidimensional dos derrames e do fluxo. Do ponto de vista hidrogeológico, o conjunto das formações do Grupo Serra Geral, devido as características litológicas ígneas, são um meio aquífero heterogêneo e anisotrópico em que o armazenamento

e a circulação da água ocorrem segundo as discontinuidades físicas da rocha (juntas, falhas geológicas e superfícies interderrames) (Rosa Filho *et al.*, 2006).

No entanto, de acordo com (Celligoi; Brito, 1999; Peterlini; Pinese; Celligoi, 2020, 2021). As suítes vulcânicas possuem características litológicas que as diferem hidrogeologicamente dos demais meios fraturados, tanto daqueles com rochas ígneas plutônicas, quanto das metamórficas. Os autores explicam que nos topos de derrames onde se encontram estruturas vesiculares e amigdaloidais, a permeabilidade depende da disposição espacial dos vacúolos, apresentando melhores resultados quando há interconexão de fraturamentos ou falhamentos (estruturas tectônicas rúpteis regionais), que possibilitam a percolação de água até as diáclases na porção inferior do derrame, que não possuem circulação de água muito efetiva. O elevado potencial do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral), está condicionado a fraturas de dois tipos: aquelas relacionadas ao resfriamento nas fases finais de cristalização dos derrames toleíticos e aquelas devido ao fraturamento tectônico/neotectônico. O SASG tem características próprias hidrodinâmicas e hidroquímicas, no Estado do Paraná através da sua compartimentação hidroestrutural (Athayde; Muller, 2015; Viero *et al.*, 2021).

Estas características são consequência da interação água-rocha; apresentando também interações com efluentes antrópicos. Mostram um modelo eruptivo fissural e central combinados (Licht, 2012).

O fluxo subterrâneo possui movimentação regional de leste a oeste, em direção as áreas de descarga no oeste e norte-noroeste, junto aos rios Paraná e Paranapanema. Estas drenagens são as principais áreas de descarga e apresentam duas grandezas para o controle dos fluxos de água subterrânea. Uma de característica regional controlada pelo gradiente da bacia e a outra de ação mais centralizada que condiciona as principais drenagens (Borges *et al.*, 2017).

São assinalados confinamentos em “intertrapp” de arenitos ou brechas vulcânicas interiores aos derrames, em fraturas paralelas ao sentido do fluxo, ou nas disjunções colunares e na presença de vesículas, tubos de lava, fraturas e falhas. O principal fluxo se dá no sentido horizontal e secundariamente pelas estruturas verticais, que inclusive possibilitam a recarga e a mistura de águas dos derrames diferentes, através das relações potenciométricas (Athayde, 2013; Athayde; Muller, 2015).

#### 9.3.4 Pedologia

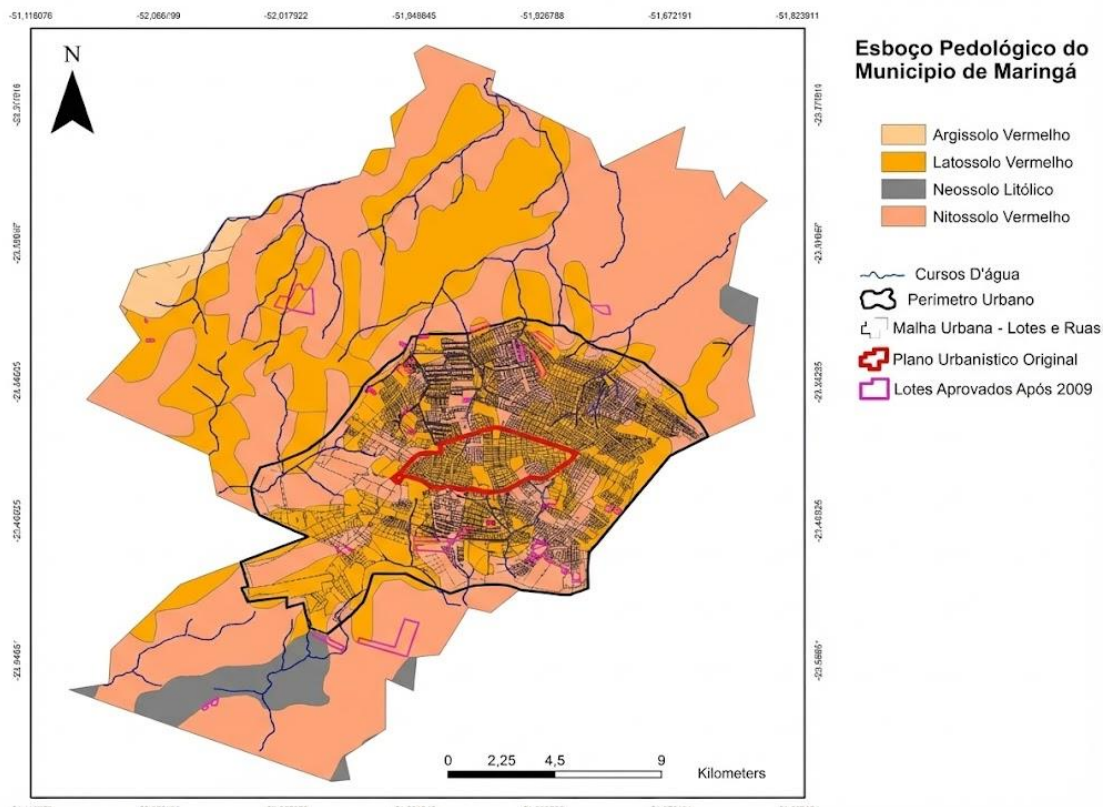
Com relação aos aspectos pedológicos mostram-se com textura muito argilosa, coloração vermelha e frequente transição plano-difusa entre os horizontes. Apresenta uma

porosidade elevada (mais que 66%) que se torna um fator de facilidade para a infiltração e percolação da água no seu interior. São solos moderadamente ácidos e sem caráter aniônico, com elevada concentração de Fe, Mg, Cu. (Freire *et al.*, 2011).

A figura 22 apresenta 4 (quatro) classes de solo (Manoel; Nunes, 2019):

- O Latossolo Vermelho que é originado como resultado de um avançado estágio de intemperização, são profundos e evoluídos;
- Argissolos Vermelhos derivados da decomposição e do intemperismo provocado pelos arenitos do Grupo Caiuá;
- Nitossolos Vermelhos, originados a partir das rochas basálticas da formação Serra Geral, sendo a classe que prepondera no município (cerca de 90% da área);
- Neossolos Litólicos em pequena área a leste e sul do município. Não ultrapassam a 50 cm de espessura, estando associados a relevos mais declivosos.

**Figura 22 - Distribuição dos tipos de solo pra ao município de Maringá-PR**



**Fonte:** Manoel e Nunes (2019).

## 10 OBSERVAÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE MARINGÁ

### 10.1 INTRODUÇÃO AS ANÁLISES PARA O MUNICÍPIO

No município se apresentam 1398 poços tubulares (segundo dados coletados em 2021, pelo SIAGAS) para o uso da população que se dividem conforme a tabela 1.

**Tabela 1** - Características de uso para os poços tubulares no município de Maringá- PR

USOS - TIPOS	Número total de poços cadastrados - 1398		
irrigação	30	6,0 %	
Abastecimento Industrial	73	14,7 %	
Abastecimento Urbano	159	32,0 %	
Abastecimento Múltiplo	111	22,3 %	
Outros Usos - lazer	124	24,9 %	Total – 99,9 %

**Fonte:** Organizado pelo autor.

Neste banco de dados, extensamente utilizado para consultas, as principais características hidráulicas a serem anotadas para um bom estudo de uso das águas subterrâneas são:

- as vazões dos poços e
- as vazões específicas (que mostram uma relação entre profundidade e a capacidade de extração da água subterrânea (Benetello; Ezaki, 2021, p. 10; Foster *et al.*, 2011; Howard, 2023, p. 216- 272).

Como auxílio no entendimento do uso da água subterrânea solicitou-se dados dos poços utilizados através de ofício a concessionária – SANEPAR, mostrados na tabela 2.

Pela observação dos dados se retiram informações de 30 poços perfurados, sendo que 12 deles estão operantes (em azul), 04 selados (em laranja), 06 não operantes (em verde) e 08 desativados (em vermelho).

**Tabela 2 – Poços Utilizados**

	X	Y	cota	ND	NE	Vazão	Prof.	EA	
1	406639.5	7411038	506.04	70.50	16.00	29.00	150.00		desativado
2	410225.8	7410168	526.43	50.00	18.00	25.40	150.00		desativado
3	404070.9	7406672	473.87	34.00	14.46	185.00	150.00	35-48 e 70-78	operante
4	401618.6	7410496	493.82	35.00	12.16	27.86	150.00		desativado
5	404771.8	7405608	450.71	18.00	14.00	130.00	108.00	15-30 e 36-42 e 48-58	operante
6	404759.1	7405350	449.1	22.00	16.00	175.00	120.00	18-30 e 45-48 e 51-66 e 84-120	operante
7	409489.9	7412243	516.64	30.00	1.40	50.00	130.00		desativado
8	408552.3	7406326	497.58	55.00	1.20	36.00	84.00		desativado
9	401470.7	7412587	446.42	38.00	1.95	30.00	150.00		desativado
10	407495.6	7411913	476.23	33.00	8.06	80.00	100.00		Não operante
11	409491.5	7412244	521.04	44.00	23.65	50.00	127.00		desativado
12	402939.9	7402055	396.95	23.00	7.39	73.00	39.00	15-45	operante
13	401165.3	7411820	455.03	49.00	4.68	55.00	150.00	Sem dados	operante
14	401392.8	7412309	450.94	86.00	1.50	10.00	150.00		desativado
15	400341.8	7406167	527.81	55.40	38.00				selado
16	399961.9	7406331	546.36	91.00	17.10				selado
17	408488.3	7407486	547.55	60.00	24.00	40.00	150.00	Sem dados	operante
18	405575.7	7410825	557.13	45.50	29.86	40.00		Sem dados	operante
19	408050.7	7411551	483.21	30.00	4.32	52.80	110.00	18-27 e 30-33	Não operante

Continua...

									Conclusão
30	402060.9	7416737	417.64	33.40	16.92	10.00	76.00	16-64	operante
21	413568.6	7420083	385.27	15.00	6.90	12.00	29.00	27-29	operante
22	413510.6	7420068	398.87	15.00	13.00		44.50	27-44	operante
23	400921.9	7406200	498	196.00	44.14	56.00	222.00	Sem dados	Não operante
24	406372.9	7405115	540	377.00	198,80	200.00	1417.00	Sem dados	Não operante
25	406891.9	7403309	401	36,0	0	230,0	112,0	24-25 e 38-44 e 85-112	operante
26	402791.9	7402180	406	60.00	0.00	220.00	114.00	15-33 e 60-64 e 81-114	Não operante
27	412303	7410483	492	70.00	2.44	75.00	150.00	15-32 e 45-48 e 75-81	operante
28	402529	7411406	525	90.00	66.77	70.00	300.00	70-81 e 126-138 e 150-214 e 222-226	operante
29	406383.9	7405126	540	00	0	0	200,0		selado
30	406388.9	7405104	540		0	0	150,0		selado

**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de dados retirados da SANEPAR.

OBS. As células em vermelho indicam que o poço está desativado. As células em azul indicam que o poço está operante. As células em marrom claro indicam que o poço está selado; e; as células em verde claro que o poço está não operante. As células em amarelo representam uma inferência feita através da análise do perfil litológico.

Os poços descritos como desativados estavam em operação e foram desativados por diversos motivos (substituído por um poço de maior capacidade, desativado temporariamente, apresentou problemas construtivos, parâmetros físico químicos que tornaram inviável a operação, entre outros). Dentre estes, apresentam-se os de Qualidade Imprópria, que são poços que possuem parâmetros anômalos que limitam sua operação ou demandam tratamento específico, como nitrato, flúor, selênio. Esses poços não são selados pois podem servir para o abastecimento da população em ocasião de uma emergência. A exemplo da alteração da portaria do MS que aumentou os limites de Selênio e permitiu que entrassem em operação alguns desses poços, ou ainda, poços em que foram instalados filtros para atender a esses limites.

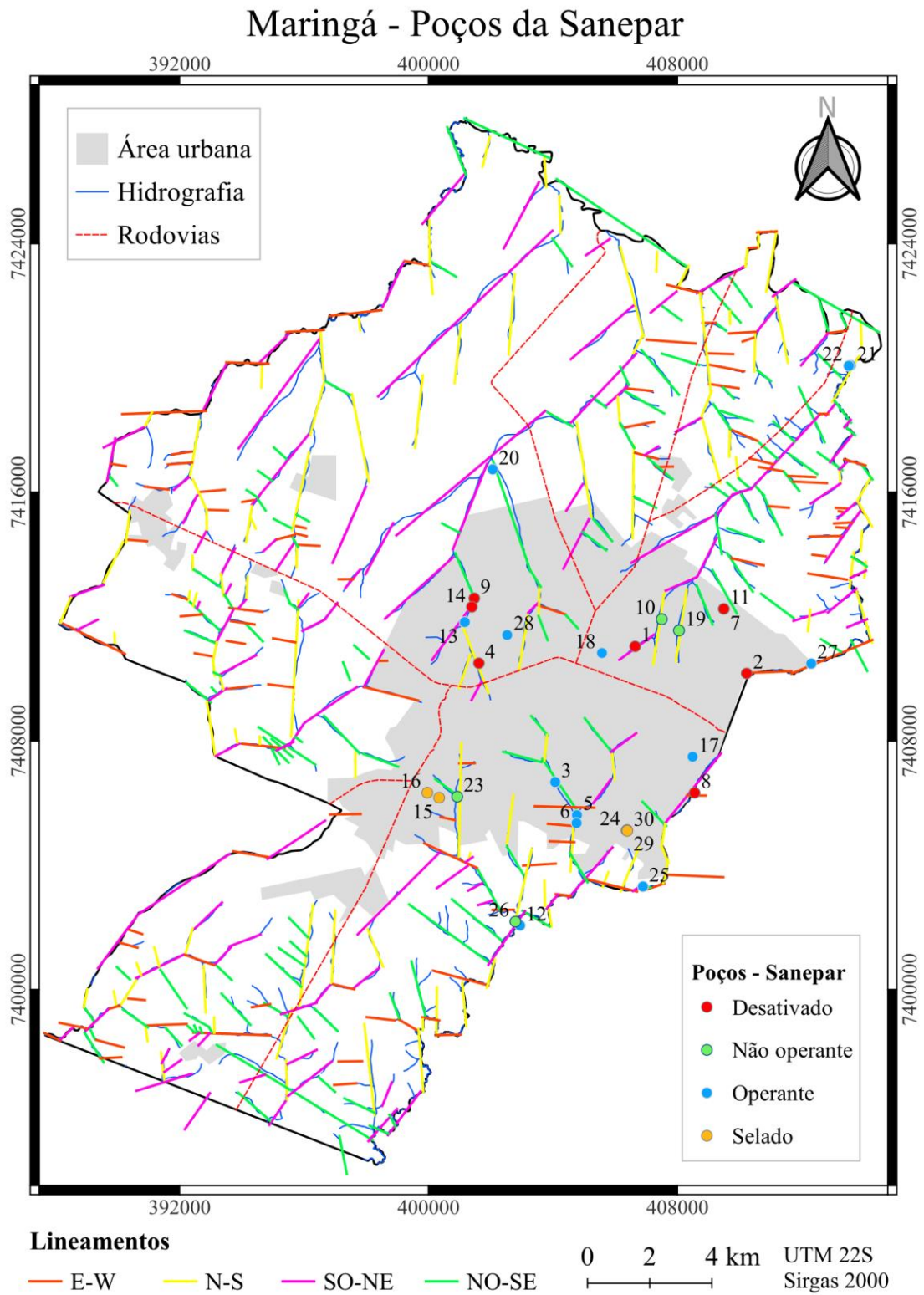
Selados são poços que tiveram alguns problemas construtivos que foram tamponados com concreto conforme as normas do IAT e os Não Operantes são poços que estão, neste momento, interligados ou não e que poderão estar interligados e utilizados individualmente em um tempo futuro.

Nesta tabela 2 nota-se que o uso está consoante ao conceito de reserva hídrica para os poços caracterizados como Não Operantes. estes poços apresentam capacidade de suprir demandas de abastecimento em situação de emergência (períodos de estiagem onde podem abastecer caminhões pipa, por exemplo).

A Figura 23 mostra a localização dos poços tubulares.

É de se notar que os poços que estão em atividade (em azul) podem não corresponder a regiões de encontro dos lineamentos e nem são característicos de direções de lineamentos e ainda mais, existem poços fora destas direções preferenciais. Isso aumenta a responsabilidade do município, pois somente este ente federativo tem possibilidades de interferência no uso do solo e pode agir na fiscalização da qualidade destas águas.

Figura 23 - Localização dos poços da SANEPAR



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados retirados da SANEPAR.

## 10.2 SOBRE OS DADOS APRESENTADOS PARA VAZÃO ESTABILIZADA E VAZÃO ESPECÍFICA

A vazão estabilizada corresponde a vazão obtida ao final do teste e é aquela que deverá ser requisita para a outorga. A partir dos dados no SIAGAS tem-se que de 1398 poços, somente 882 (63,07 %) possuem os dados para as vazões estabilizadas e de 342 (24,46%) para as vazões específicas para serem registrados, com as seguintes características nas Quadro 3 e 4:

### Quadro 3 - Características dos dados de vazão estabilizada

Vazão mínima: 1,0 m <sup>3</sup> /hora
vazão máxima: 185,0 m <sup>3</sup> /hora
Primeiro quartil (25%): 5,0 m <sup>3</sup> /hora
Terceiro quartil (75%): 11,0 m <sup>3</sup> /hora
Média aritmética das vazões: 11,63 m <sup>3</sup> /hora
Desvio padrão: 18,16

Fonte: Organizado pelo autor.

### Quadro 4 - Característica dos dados de vazão específica

Vazão específica mínima: 0,017 m <sup>3</sup> /hora/m
Vazão específica máxima: 426,0 m <sup>3</sup> /hora/m
Primeiro quartil: 0,233 m <sup>3</sup> /hora/m
Terceiro quartil: 1,587 m <sup>3</sup> /hora/m
Média aritmética: 4,47 m <sup>3</sup> /hora/m
Desvio padrão: 24,8 m <sup>3</sup> /hora/m

Fonte: Organizado pelo autor.

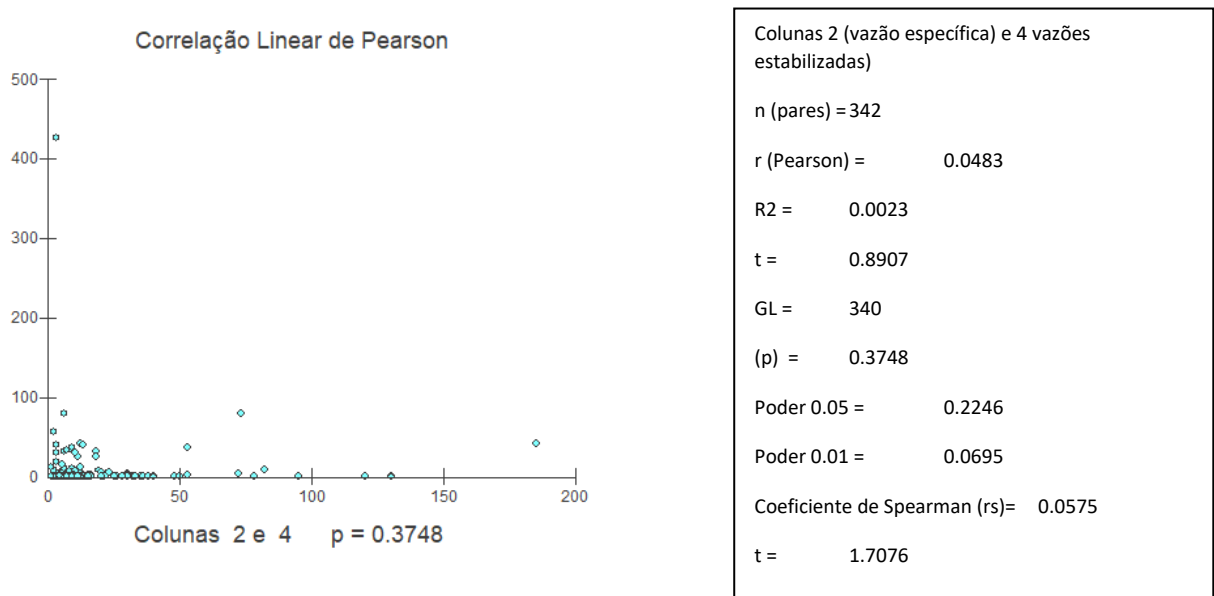
Deste resumo das vazões estabilizadas se pode inferir a grande variação de vazões que o SASG promove (conforme a vazões máxima e mínima mostram). Essa é uma característica do aquífero fraturado, melhor colocando, a localização dos poços vai influir bastante no desenvolvimento de boas vazões e de bons projetos para a perfuração; isso deve ser resultado de um bom banco de dados técnicos sobre o aquífero (geologia e estruturas presentes), devendo apresentar teste de produção e de aquífero mais críveis e de metodologia comprovada.

Por outro lado, um dado muito importante para a gestão municipal do aquífero é a vazão específica. É a demonstração de quanto de espera obter em vazão, por metro perfurado. É um dado que mostra a fragilidade dos testes produzidos durante estes anos, apresentados no

SIAGAS. É notável a grande variação entre mínimas e máximas e o grande desvio padrão. Este fato se dá devido ao conjunto de dados não poder representar o conjunto todo e mostrar números bastante díspares, tais como desvio padrão de 24,8 e um terceiro quartil de 1,587 m<sup>3</sup>/hora/m (mostra uma grande variação na relação entre profundidade e vazão estabilizada).

Por outro lado, pergunta-se se existe relação entre os dois conjuntos de dados. O gráfico abaixo foi desenhado para esta análise. Utilizando a técnica de correlação de Spearman (avaliação da intensidade da relação entre as variáveis) e de Pearson (avaliação linear da relação entre os dois conjuntos de variáveis) na Figura 24:

**Figura 24** - Análise de correlação dos dados obtidos no sítio eletrônico SIAGAS



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A partir do gráfico pode-se inferir que os dados tem uma correlação muito fraca a desprezível ( $p = 0,3748$ ). Aqui se espera uma relação linear positiva, onde a vazão aumenta enquanto a relação entre vazão e profundidade do poço aumenta. Observou-se o banco de dados valores extremos que podem alterar este índice. O R2 vai denotar que os dados apresentados não conseguem explicar a variação ( $R2 = 0,0023$ ).

Por outro lado, utilizou-se o Coeficiente de Spearman para presumir que existe uma relação entre variáveis que venha a ser não linear. E se obteve, também, um índice de relação muito fraca ou inexistente (0,0575) (Artioli, 2024). Antes, na metodologia para análise, o Variograma também apresentou discrepâncias.

Estas análises nos levam a acreditar que os dados (que deveriam se relacionar linearmente e positivamente) não foram coletados dentro da técnica prevista e com equipamentos adequados. São dados antigos em que não se pode confiar. A isso se soma a falta de dados para a análise pois de 1398 poços somente 63 % apresentarem números de vazão estabilizada e, 24,4% de vazão específica, isso nos deixa sem possibilidades de um planejamento municipal adequado em relação a importância que a água subterrânea tem para o município.

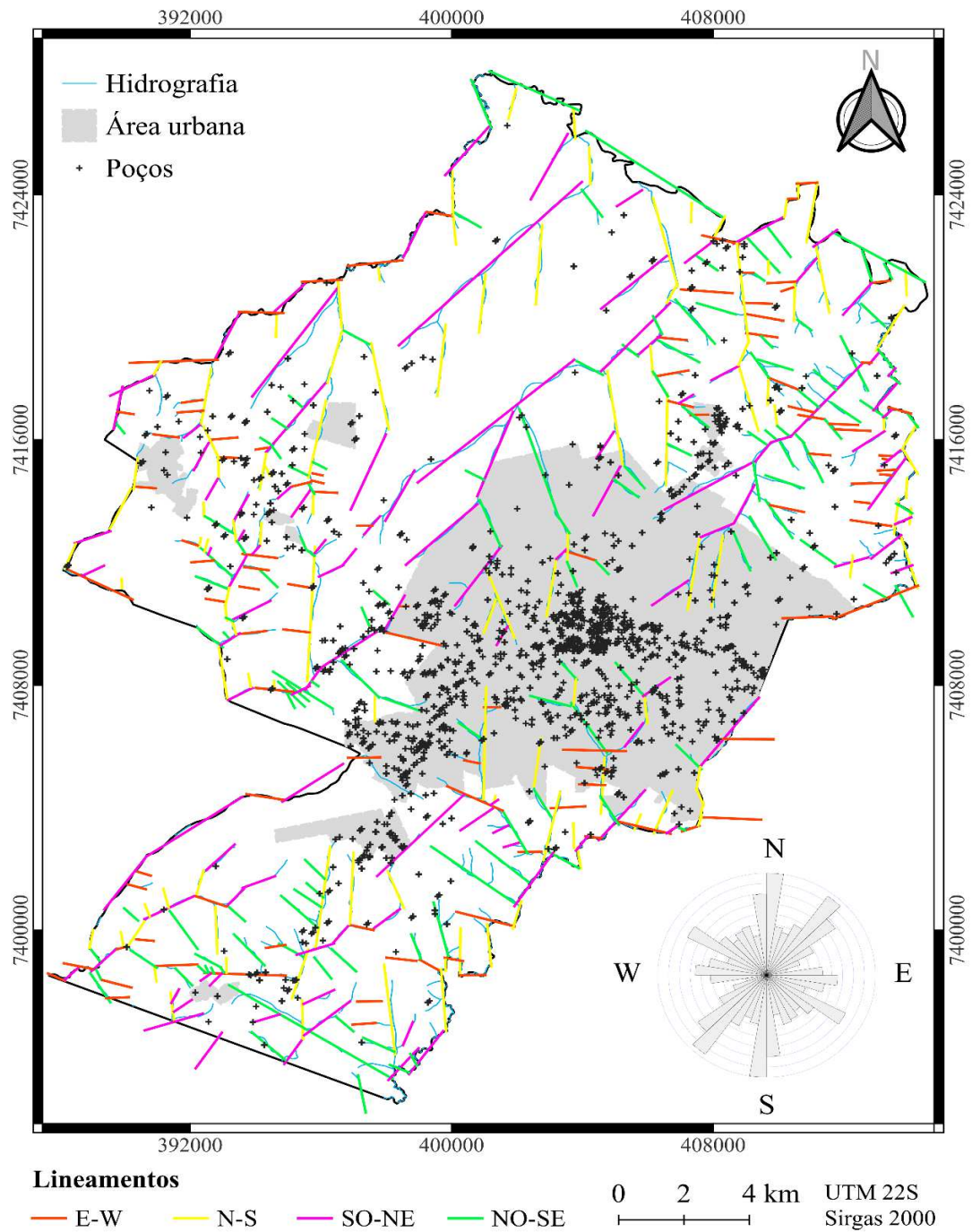
Por outro lado, as estruturas presentes na área do município, como resultado do levantamento do Arco de Ponta Grossa (Athayde, 2013; Athayde; Muller, 2015) apresentam-se como a ação de estruturas com direção SO-NE bastante extensas. No meio urbano, além destas, as de direção NO - SE mostram-se em menor importância, além daquelas com direção N-S. (importante frisar que a grande maioria condiciona a drenagem), como bem se observam as relações dos depósitos tectogênicos criados na interação do uso do solo urbano com as estruturas (lineamentos e/ou falhamentos) (Baggio, 2013). Relacionados a estas estruturas, na prática, se sabe que as áreas melhores para perfuração em terrenos fraturados são as junções de um ou mais lineamentos e/ou fraturas. Isso se pode observar na Figura 25.

Através da observação da Figura 25 e 26, as áreas de maior probabilidade de poços com vazão razoável, na área urbana, são aqueles das direções NO -SE e aquelas que apresentam o cruzamento de duas ou mais linhas de fraturas (Figuras 25 e 26), consolidando uma direção de drenagem que deve ser levada em consideração pela importância na preservação de matas ciliares e de implantação dos parques lineares. É uma área propícia para conservação de vegetação e que pode ser usada para a implantação de lagoas (estruturas para recarga). Se deve cuidar para que indústrias que contenham lagoas de tratamento de efluentes venham a ser colocadas longe destes locais.

As áreas que contém duas, três ou quatro lineamentos devem estar protegidas, principalmente aqueles que mostram quatro estruturas próximas. Esse requisito é bem tratado pela lei municipal que prevê recuperação e manutenção de matas ciliares através da proteção, cercamento e criação de uma via paisagística, como o apresentado na lei complementar 1424, de 16 de janeiro de 2024 (dispõem sobre o parcelamento do solo).

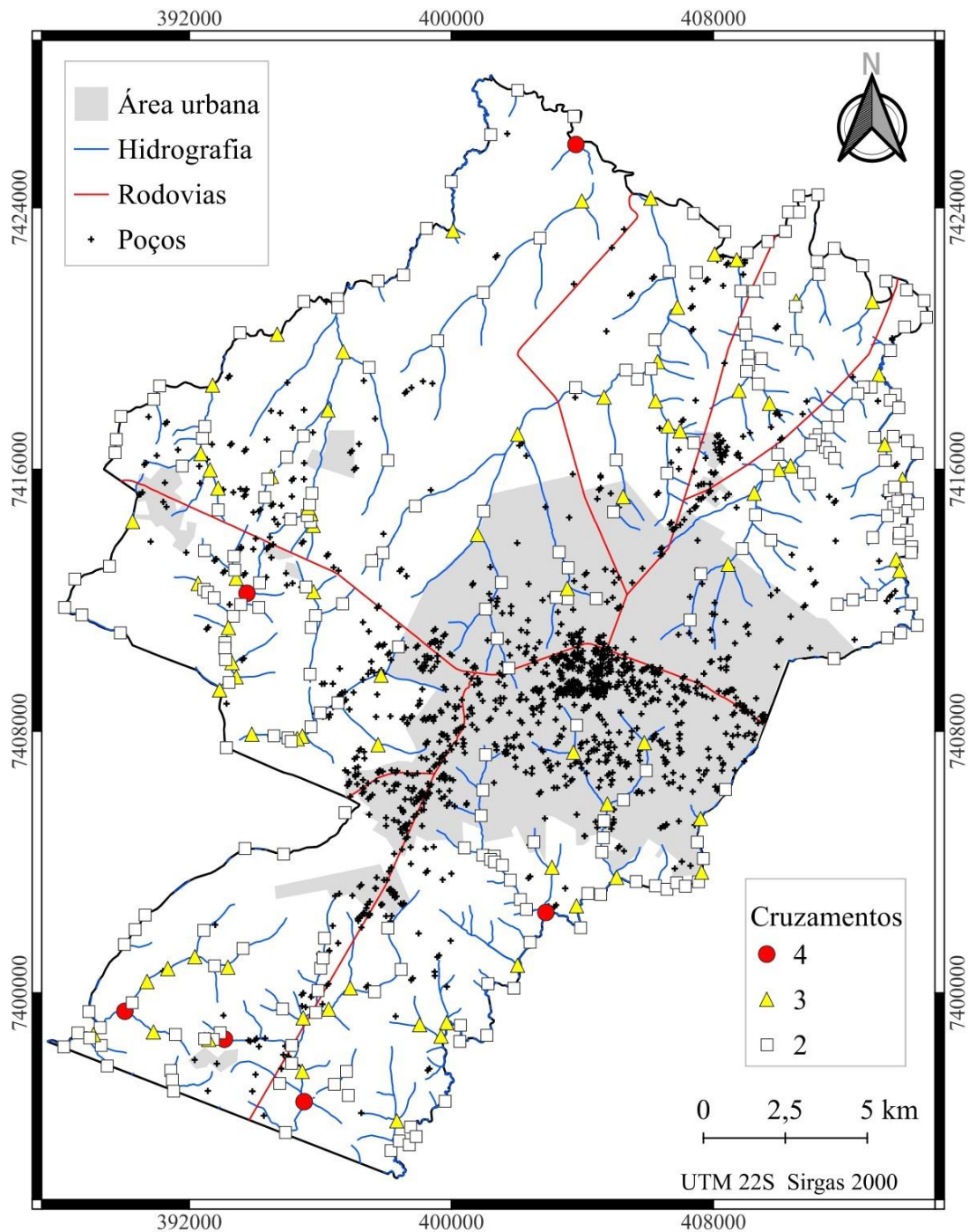
Figura 25 - Lineamentos para o município

## Maringá - Lineamentos



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos através SRTM

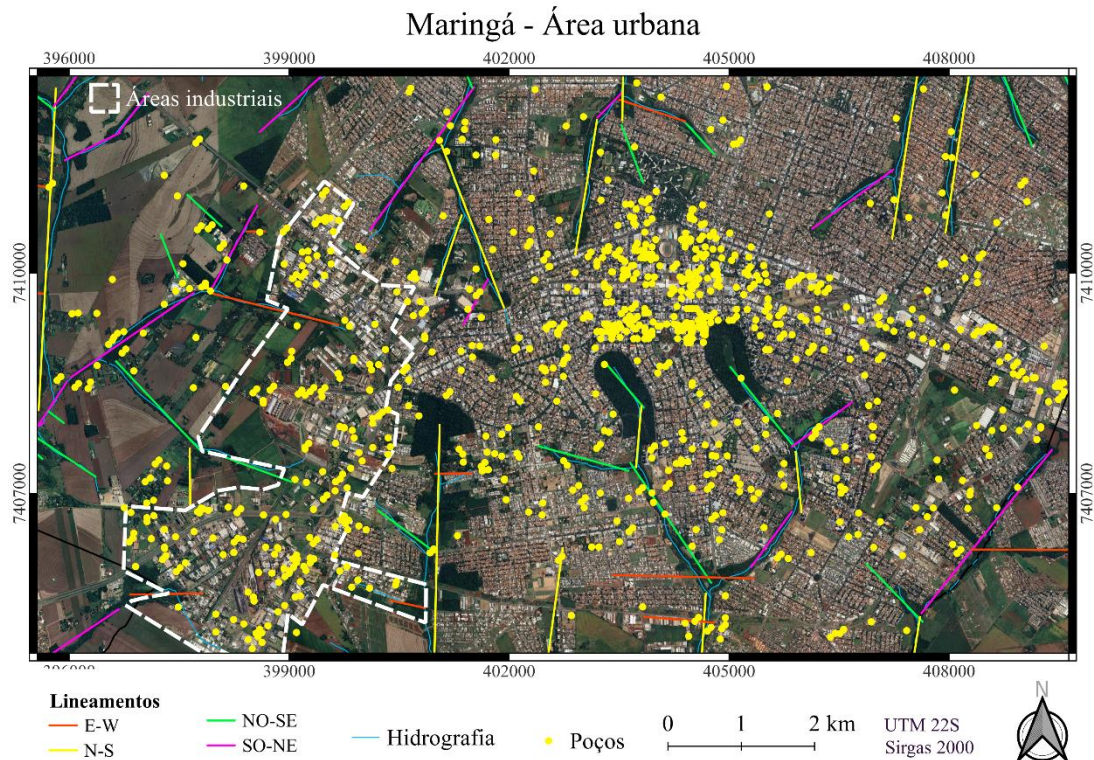
**Figura 26 - Densidade de Lineamentos**



**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de dados obtidos no SIAGAS.

Na área urbana não se apresentam porções com problemas pois são indicadas como de comunicação entre o aquífero e o recurso superficial e se apresentam localizados fora das áreas lindeiras aos lineamentos. O que se observa é uma concentração dos poços no espigão, chamado Avenida Colombo (Figura 27).

**Figura 27** - Ao centro uma concentração de poços na área central e a esquerda, concentração de poços na área industrial

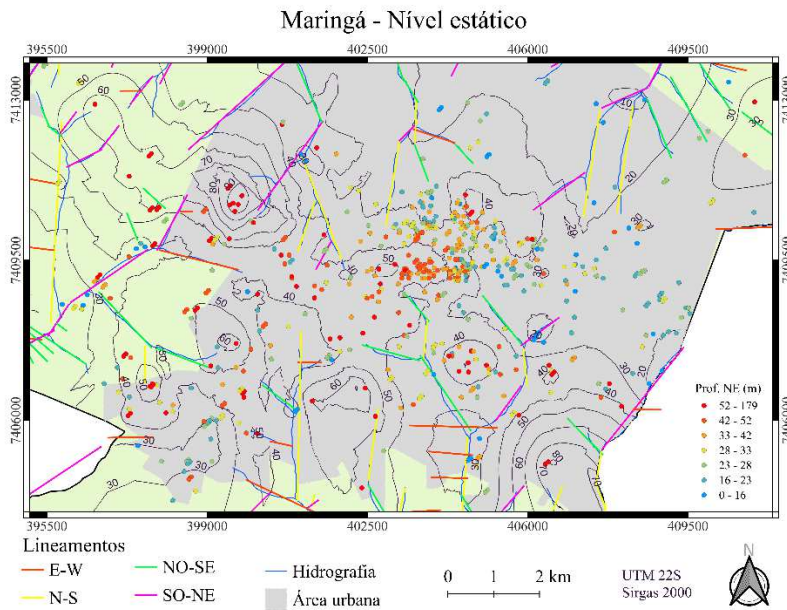


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A Figura 27 traz uma vista da área industrial (linhas em branco) para uma análise das localizações das indústrias onde é fundamental a observação da geomorfologia e da profundidade dos solos para projetos de localização de poços e de proteção das áreas de recarga e de obtenção de boas vazões para o uso no processo industrial. A área está localizada em um alto estrutural com poucas estruturas no entorno, apresentando de 1 a 2 lineamentos, embora em alta concentração de poços.

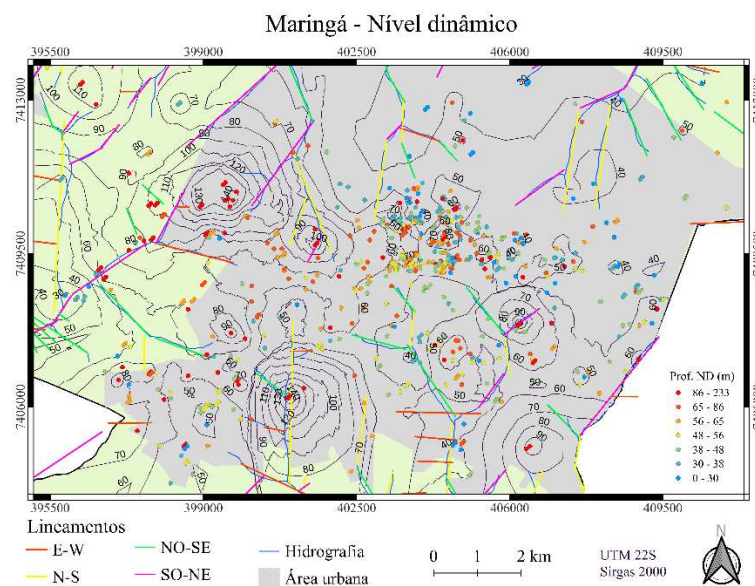
Por outro lado, a Figura 28 traz isolinhas de mesma profundidade de nível estático, embora obtidas em vários anos diferentes, pode representar uma situação original do nível de pressão a que o SASG estava submetido.

**Figura 28** - As isolinhas de profundidade baseados no NE para o município



Fonte: Dados obtidos a partir do SIAGAS.

**Figura 29** - As isolinhas de profundidade baseados em ND para o município



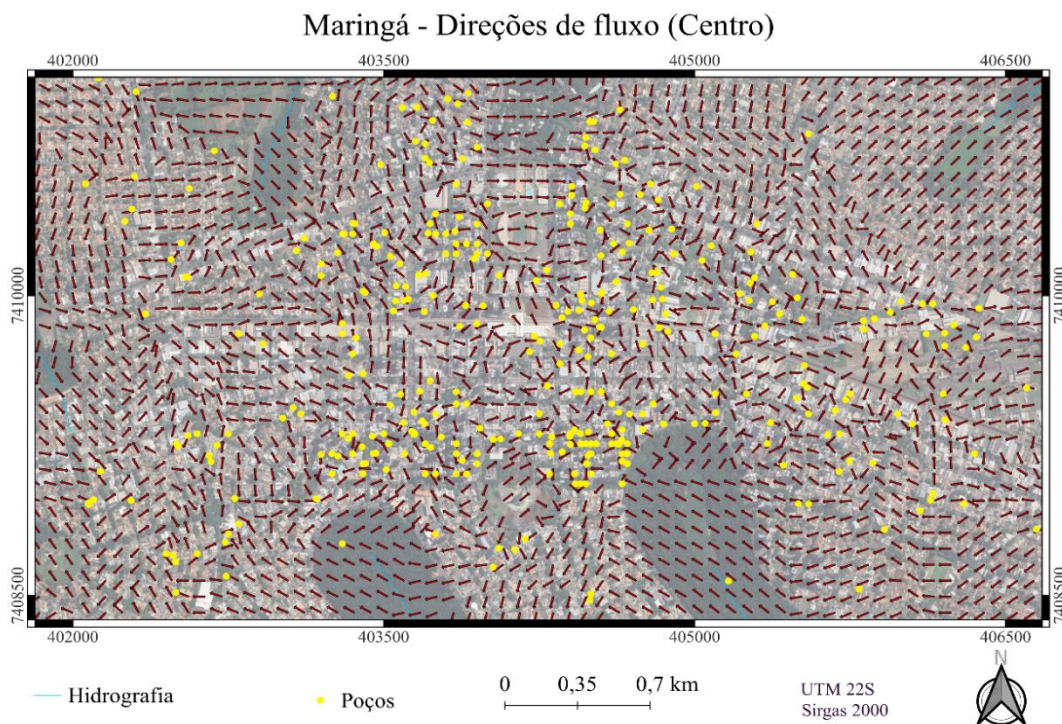
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela análise das Figuras 28 e 29 se pode comparar as duas situações e entender a alteração causada pela exploração dos poços. Existem depressões significativas na região central e ao sul do município. Isso denota rebaixamento do nível dinâmico dos poços prenunciando futura diminuição das vazões de captação. Nas Figuras 29 e 30 (para uma melhor visão do centro do município). O tamanho das setas indicando as direções de fluxo podem

expressar os fluxos que são drenados para o enxame de poços no meio urbano. Por outro lado, estes poços outorgados não exploram toda a água que tem a autorização. Uma mania muito difundida é a de fazer constar na outorga a vazão máxima produzida, pela bomba submersa ou pelo aquífero, na realização do teste e não aquela vazão que é retirada na realidade, através do tempo.

A outorga pede um relatório anual que nunca é entregue e deveria ser a base de extenso estudo das quantidades exploradas para a gestão do aquífero, na área urbana.

**Figura 30** - Direções de fluxo baseados no NE para área urbana



**Fonte:** Dados coletados a partir do SIAGAS.

Um outro dado importante é a investigação a respeito da manutenção dos níveis potenciométricos da região. No longo prazo, este rebaixamento pode acarretar o desaparecimento das águas subterrâneas e/ou a possibilidade de introdução de elementos estranhos dentro dos poços. O mesmo raciocínio pode ser realizado para o centro urbano. A diferença aqui está na quantidade de poços perfurados por metro quadrado. Como verificado na Figura 38, num quarteirão existem muitos poços tubulares outorgados servindo residências, na zona central da cidade. Existe a necessidade de monitoramento da qualidade desta água captada pela vigilância sanitária.

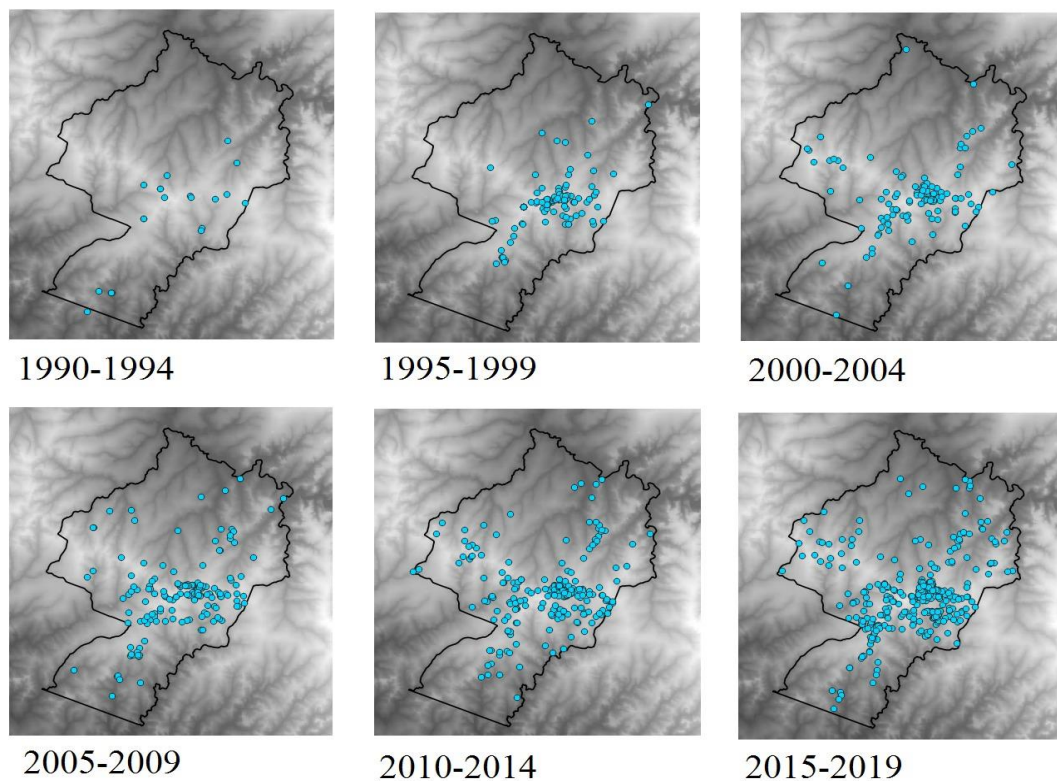
Para averiguar esta característica produziram mapas com os rebaixamentos dos níveis estáticos de poços perfurados em determinados anos que estão mostrados na tabela 3.

**Tabela 3** - Análises dos níveis estáticos separados por períodos

		Numero de poços analisados	mediana	Primeiro quartil (25%)	Terceiro quartil (75%)	Média aritmética	Desvio padrão
2019	até	354	35,00	24,00	45,75	37,97	21,83
2015							
2014	até	227	30,29	22,59	46,39	37,04	21,47
2010							
2009	até	160	33,87	24,00	45,00	37,25	18,93
2005							
2004	até	118	31,00	22,00	42,26	35,37	20,35
2000							
1999	até	112	32,25	22,73	45,00	38,05	41,70
1995							
1994	até	21	25,00	14,00	42,00	28,62	24,55
1990							

**Fonte:** Organizado pelo autor – Dados obtidos a partir do SIAGAS.

Claramente se pode observar que a média obtida nos períodos está rebaixando o nível estático dos poços tubulares. Essa característica também se conserva com os dados da estatística do terceiro quartil (onde estão 75% dos dados) que mostra um abaixamento de, no mínimo, 3 metros (tabela 5).

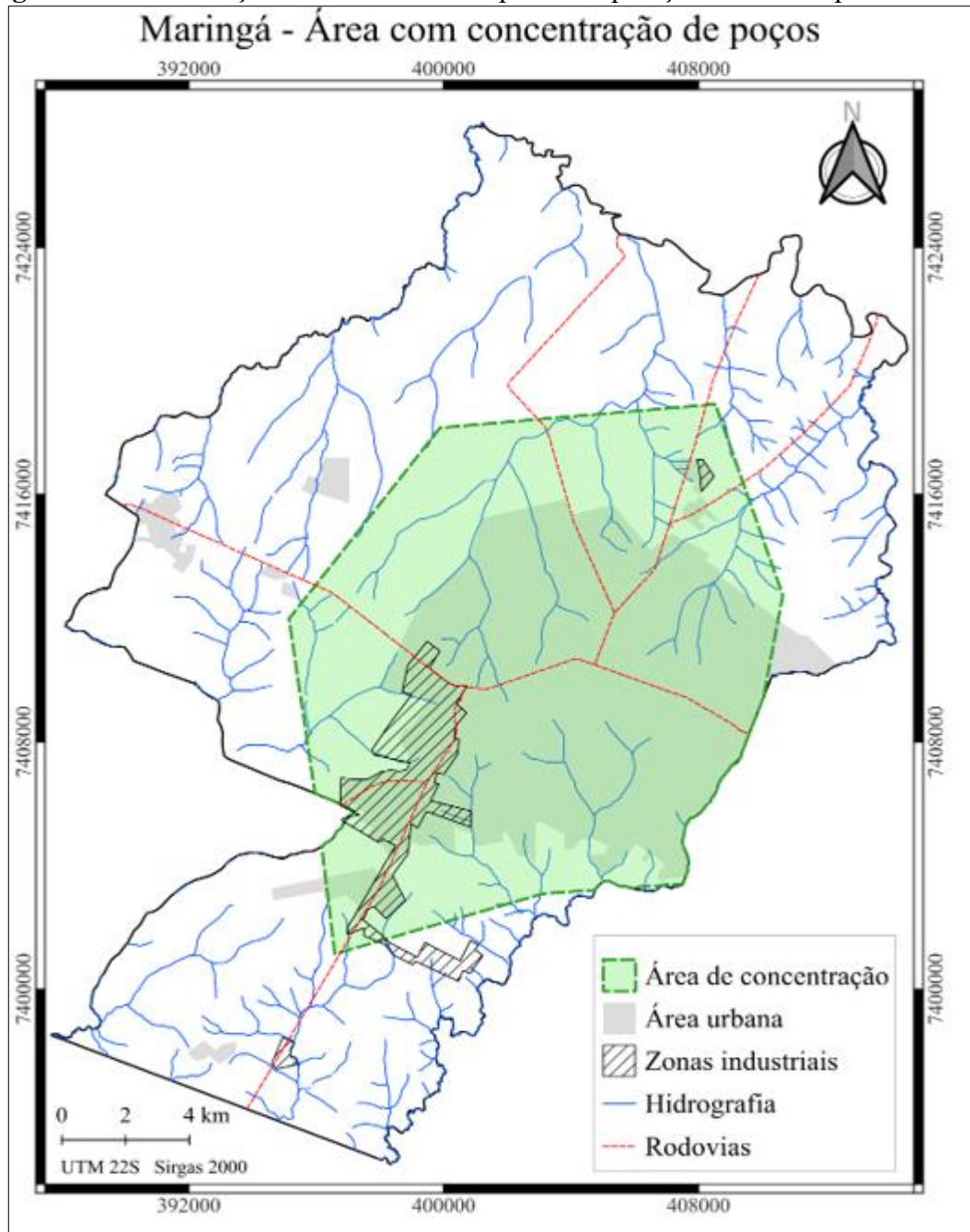
**Figura 31** - Distribuição dos poços pelos períodos escolhidos para análise da direção de fluxo e do comportamento dos níveis estáticos

**Fonte:** Dados obtidos a partir do SIAGAS.

Na Figura 31 se verifica a distribuição irregular, nos anos iniciais (1990 a 1994) e sua concentração no meio urbano e arredores.

A partir dessa constatação resolveu-se delimitar uma área próxima ao núcleo urbano para a realização da *Krigagem* como mostra a figura 32. Pela observação da figura 31 se pode notar que no período de 1990-1994 existem poucos poços (21) para a realização da análise, desta maneira, nem o programa respondeu a altura, sendo então abandonado o mapeamento para este período.

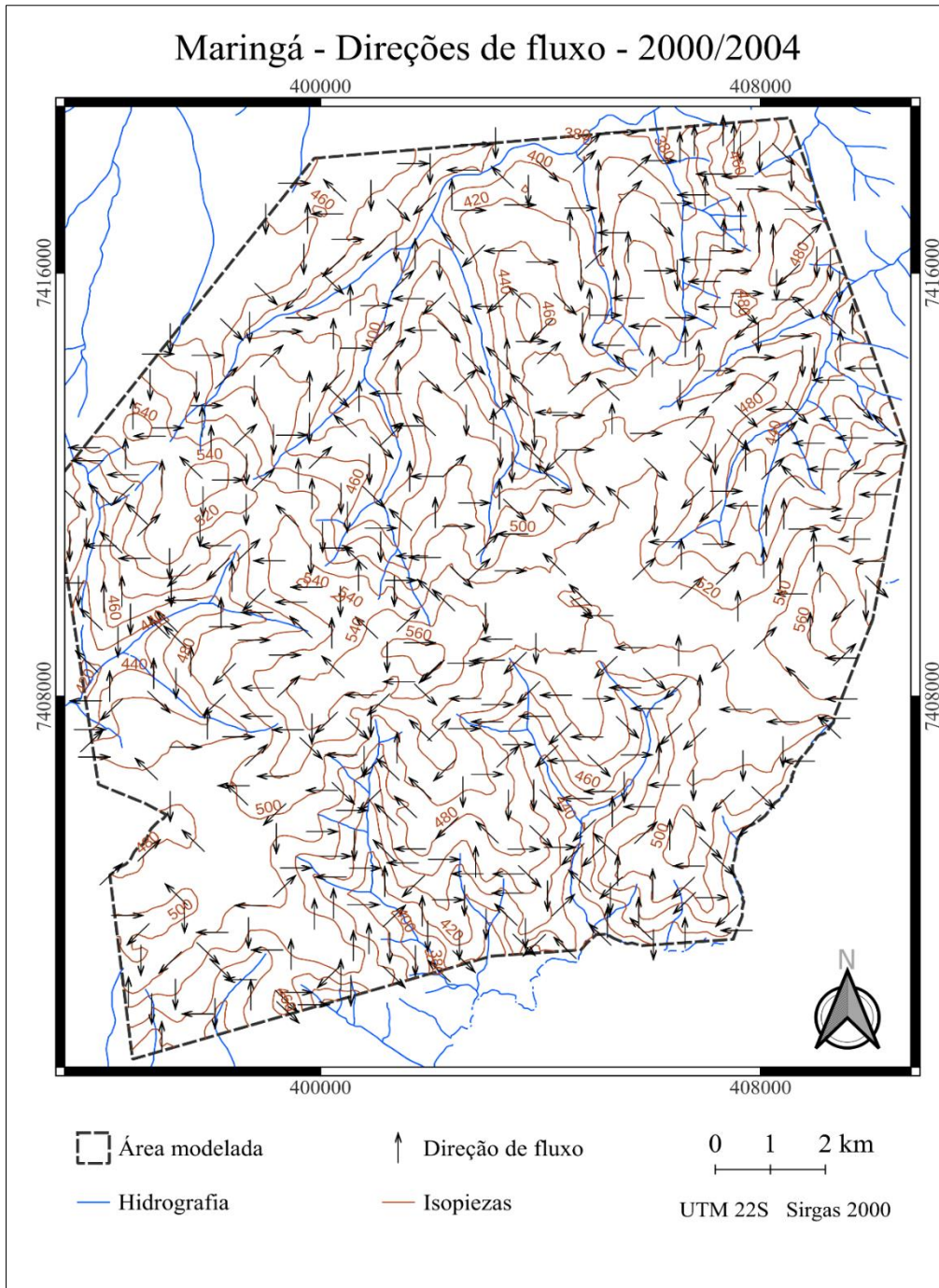
**Figura 32** - Delimitação da área de análise para interpolação dos dados piezométricos



Fonte: Dados coletados a partir do SIAGAS.



**Figura 34 - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2000 até 2004**

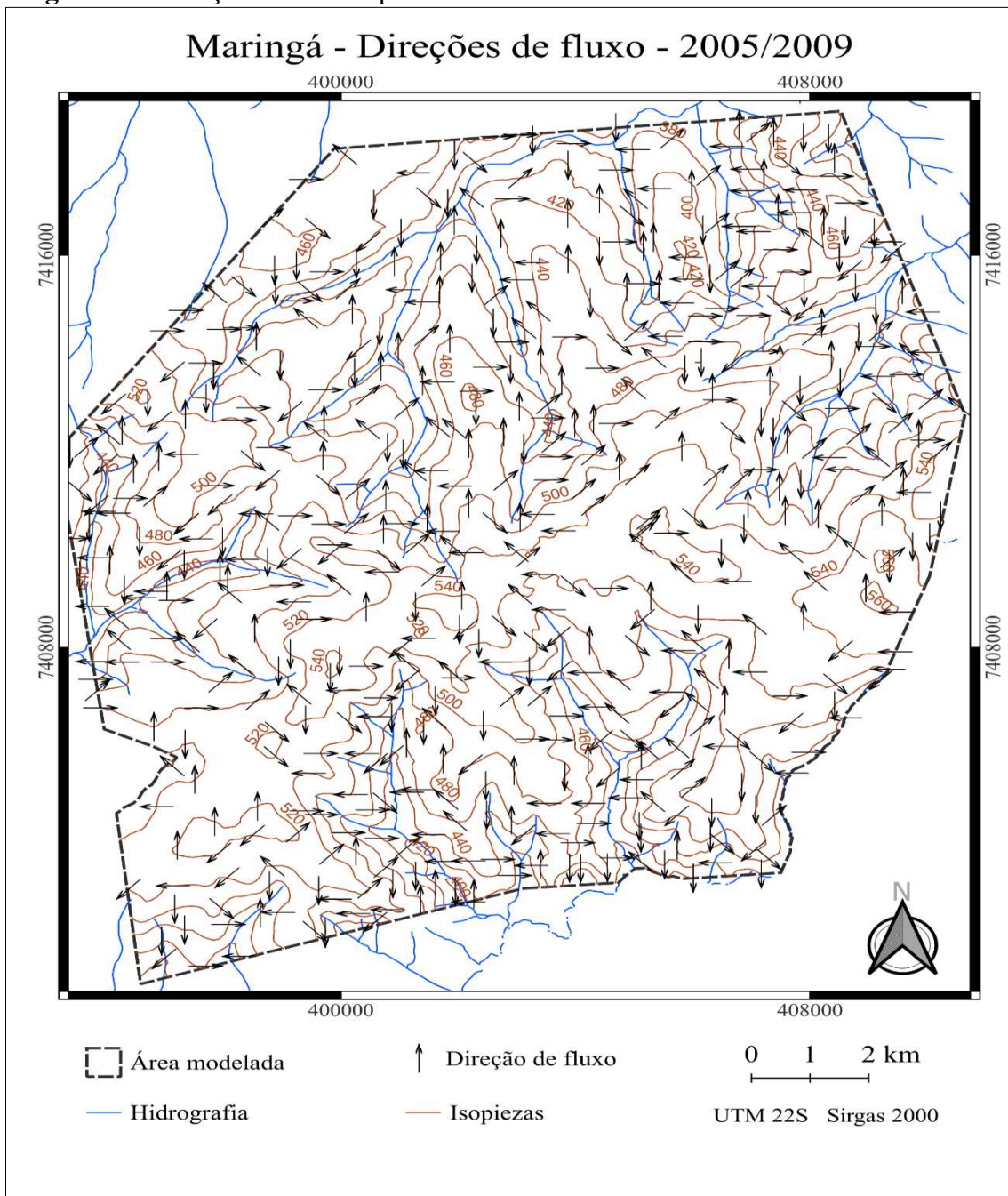


**Fonte:** Dados obtidos a partir do SIAGAS.

Na figura 34, se delineiam áreas de rebaixamento ao centro, a direita e a esquerda.

Na figura 35 as áreas de rebaixamento se mantêm, havendo um leve aumento da profundidade.

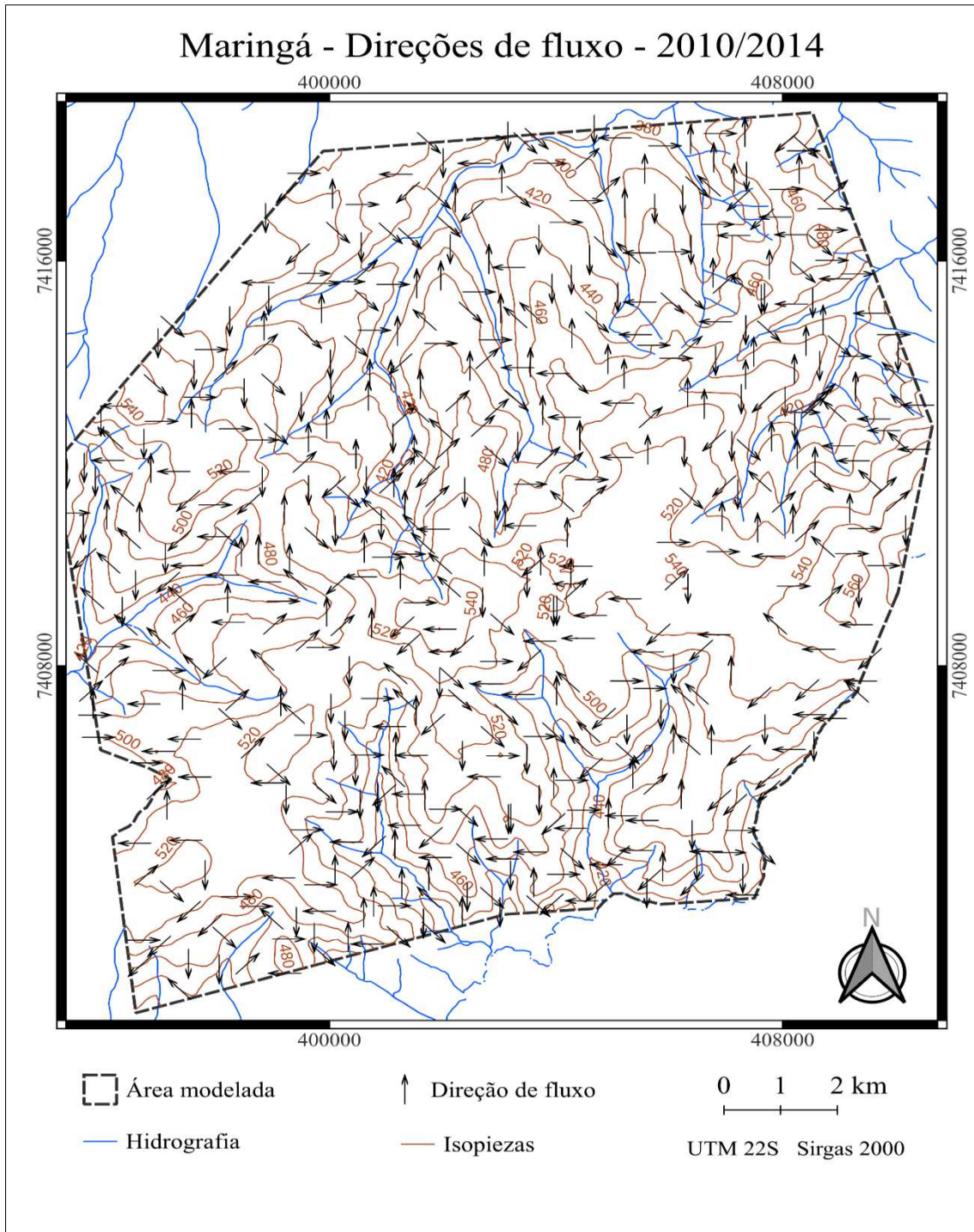
Figura 35 - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2005 até 2009



Fonte: Dados obtidos a partir do SIAGAS.

Nas figuras 36 e 37 as áreas de rebaixamento se mantêm, colaborando com os dados mostrados na tabela 5, evidenciando um decréscimo da superfície piezométrica. Se pode notar um aumento da área pela observação da isolinha dos 520 metros.

**Figura 36 - Direção de fluxo a partir de dados dos anos 2010 até 2014**



**Fonte:** Dados apresentados pelo SIAGAS.



É interessante ressaltar que a vigilância sanitária não dispõe de técnicos especializados em hidrogeologia para interpretar e analisar as origens das contaminações por orgânicos e as orientações técnicas para a prevenção destas ocorrências.

A figura 38 mostra uma situação crítica. Nestes quarteirões estão de 4 poços (abaixo e a esquerda) até 9 poços acima e a esquerda, num mesmo quarteirão. Através de visita e perguntas ao síndico informou a inexistência de manutenção. Provavelmente a qualidade da água está comprometida com nitratos. “Ele usa filtros de resinas a algum tempo” – informação dada pelo Sr. Mario, síndico do Edifício Itapiúna, Avenida Tiradentes, 202, zona 1.

É necessário lembrar que é uma obra antiga (mais de 20 anos), com vazão outorgada acima da quantidade utilizada diariamente. Pela legislação atual, como um condomínio, pode requerer a utilização do recurso subterrâneo, embora na sua quadra existem 4 poços. estes poços poderiam ser substituídos por somente uma obra que poderia muito bem servir a todos.

Para melhor entendimento da Figura 30, apresenta-se nas Figuras 33 e 37 algumas direções de fluxo baseadas na amostragem da superfície piezométrica (cota da boca do poço tubular menos o nível estático). Estes dados vão denotar uma intensa captação na área central e na área industrial uma imagem mais homogênea, mostrando um uso mais distribuído.

**Figura 38** - Localização de concentração de poços tubulares na região residencial central do município (zona 1)



**Fonte:** Elaborado pelo autor

Para que se pudesse ter uma melhor visualização do problema de gestão a ser entendido elaborou-se as Figuras 39, 40, 41 e 42. Embora possa parecer repetição, elas fornecem um melhor entendimento do que foi descrito anteriormente. Na área urbana, a concentração de poços sem monitoramento e sem manutenção mostra fluxo em várias direções, inclusive demonstrando que o parque não é afetado pela retirada de água dos poços no seu entorno. A área industrial (Figura 40) mostra uma regularidade maior dos fluxos porque apresenta uma maior regularidade das vazões. A mesma crítica é feita aqui ao PDM que nunca indicou a prioridade para a manutenção, nem o relatório anual que é exigido para a outorga é enviado ao órgão ambiental estatal. Interessante a comparação entre as figuras mostradas pois foram feitas análises com os dados de NE e de ND, embora estes números foram tomados em anos diversos e, como vimos lá atrás, são dados temerosos pois foram obtidos em épocas onde os instrumentos não eram os melhores e não havia fiscalização dos órgãos estaduais e nem do CREA.

Na Figura 38 se pode divisar uns 10 a 11 prédios (no quadrante abaixo e da esquerda). Se na média, um edifício desse comporta 12 andares e, em cada andar existem, também, na média, 4 apartamentos, com 3 pessoas. Temos um total de 144 pessoas em cada prédio. Neste quadrante vê-se 3 a 4 poços explotando uma vazão outorgada de 10 m<sup>3</sup>/hora, com 10 horas de funcionamento (as outras 14 horas servem para recuperação do nível piezométrico e para os trabalhos de manutenção do poço tubular) produzem 100.000,00 litros/dia.

Se cada pessoa consome 148,2 lit./dia (ITB, 2025) consulta em 10/02/2025), um prédio consome 21.340,8 litros/dia, ou colocando melhor, um poço, com uma vazão razoável para o SASG pode alimentar de 7 a 10 prédios diariamente, dentro das orientações no Novo Marco do Saneamento. Além destes dados de preservação de quantidade, será muito mais fácil a operação de manutenção e o cálculo para as áreas de proteção e delimitação das zonas de captura e análise do tempo de trânsito fundamentais para a preservação da quantidade e da qualidade do recurso.

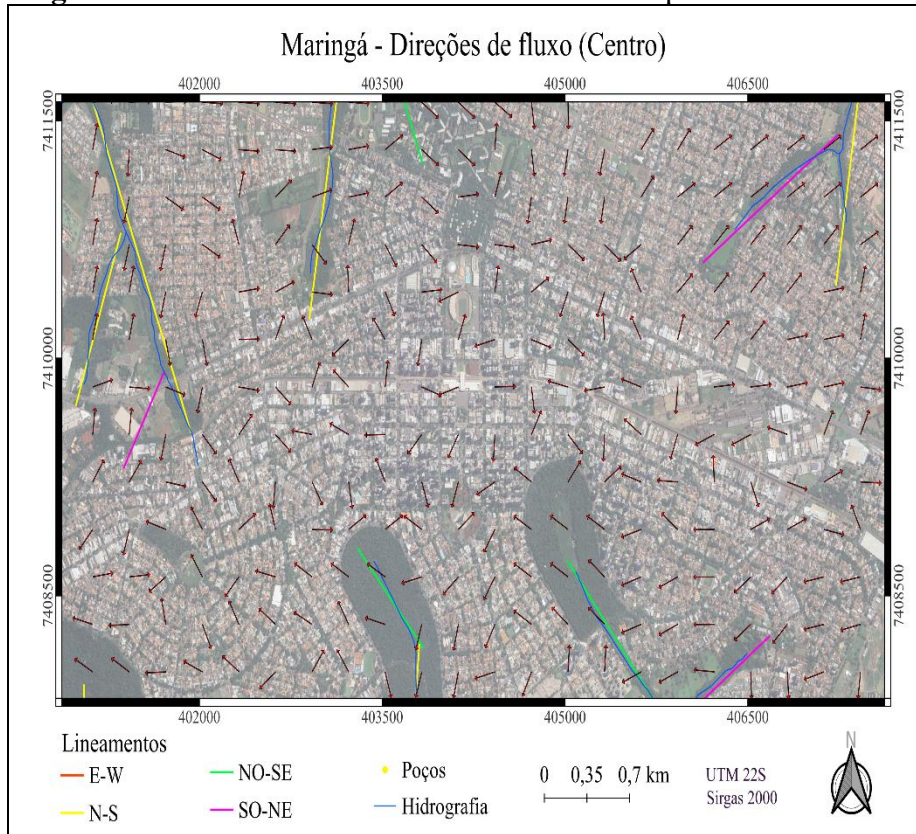
Este capítulo pode encerrar as grandes dúvidas que atualmente se tem para a gestão, mesmo que compartilhada, do recurso hídrico subterrâneo. Não temos fontes com dados confiáveis para uma análise aprofundada e uma base para políticas públicas.

O uso intensivo do recurso faz desse estudo um documento importante para que se discuta mais e melhor sobre o uso do recurso hídrico subterrâneo como uma fonte necessária ao abastecimento urbano, tanto em qualidade, como em quantidade e, que tem uma importância estratégica no abastecimento das residências, impacto na saúde pública, vai orientar as propostas de uso do solo e vai interferir concorrentemente na aplicação das normas ambientais.

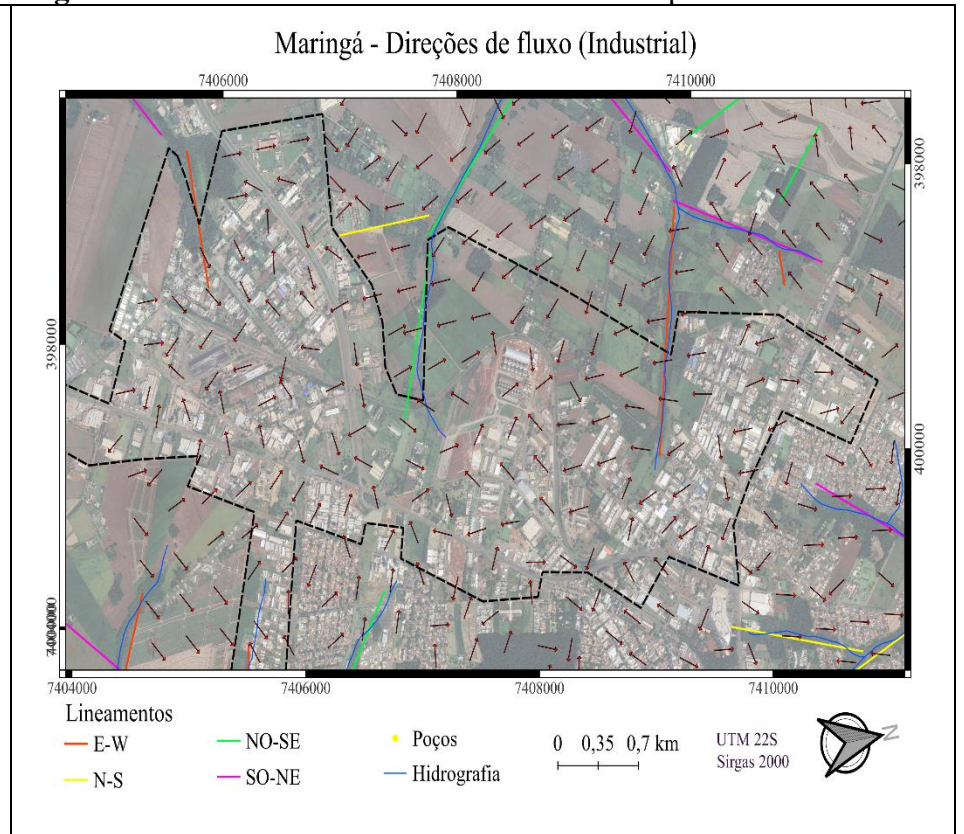
E o PDM não toca no assunto, não tece considerações a respeito da sua importância estratégica para a população e para o desenvolvimento do município.

Temos um plano funcional voltado aos problemas de construção, de pavimentação e não de desenvolvimento integral da cidade.

**Figura 39 - Tendências do fluxo baseado nos NE para a área central**

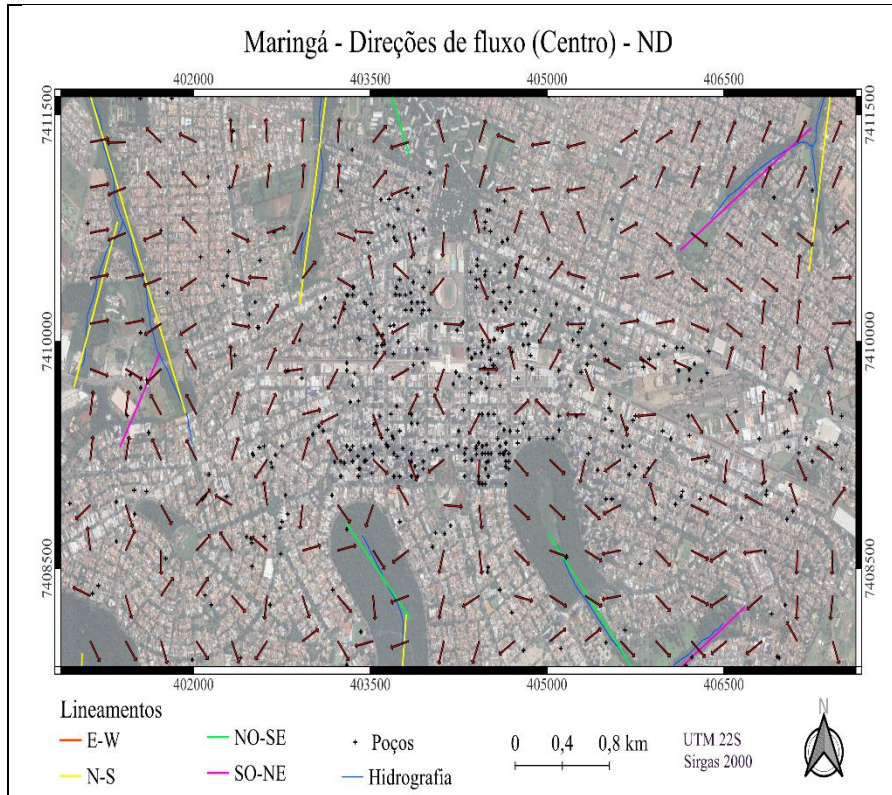


**Figura 40 - Tendências do fluxo baseado nos NE para a área industrial**

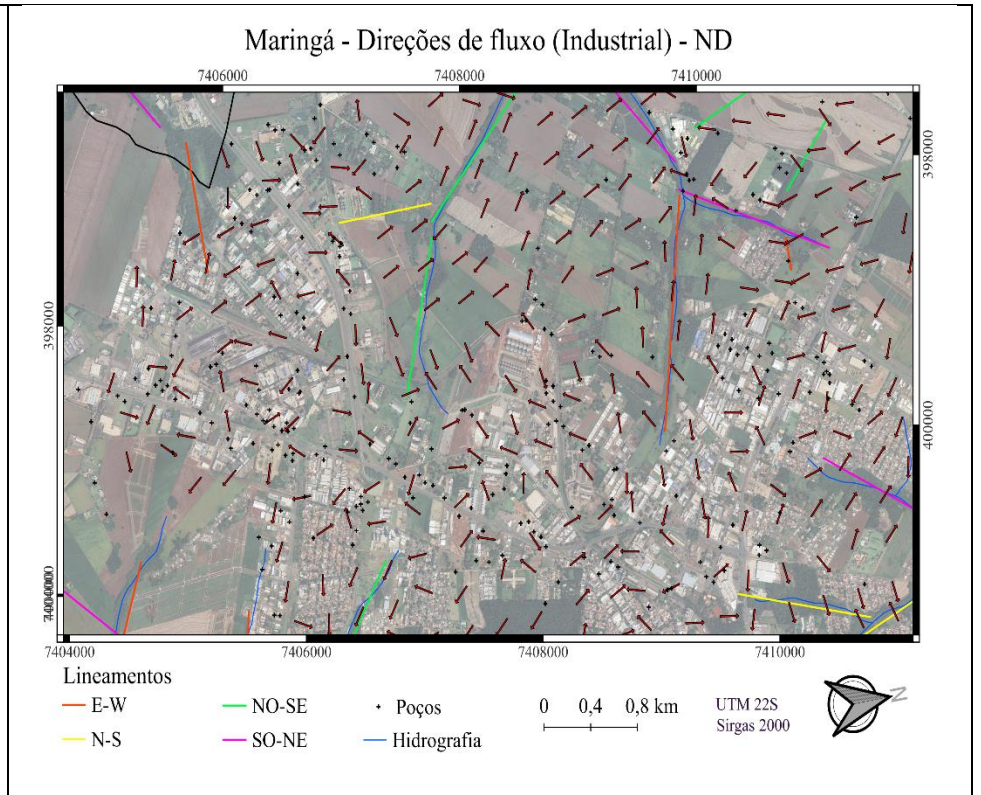


Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 41 - Tendências do fluxo baseado nos ND para a área industrial**



**Figura 42 - Tendências do fluxo baseado nos ND para a área central**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 10.3 SOBRE A ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO

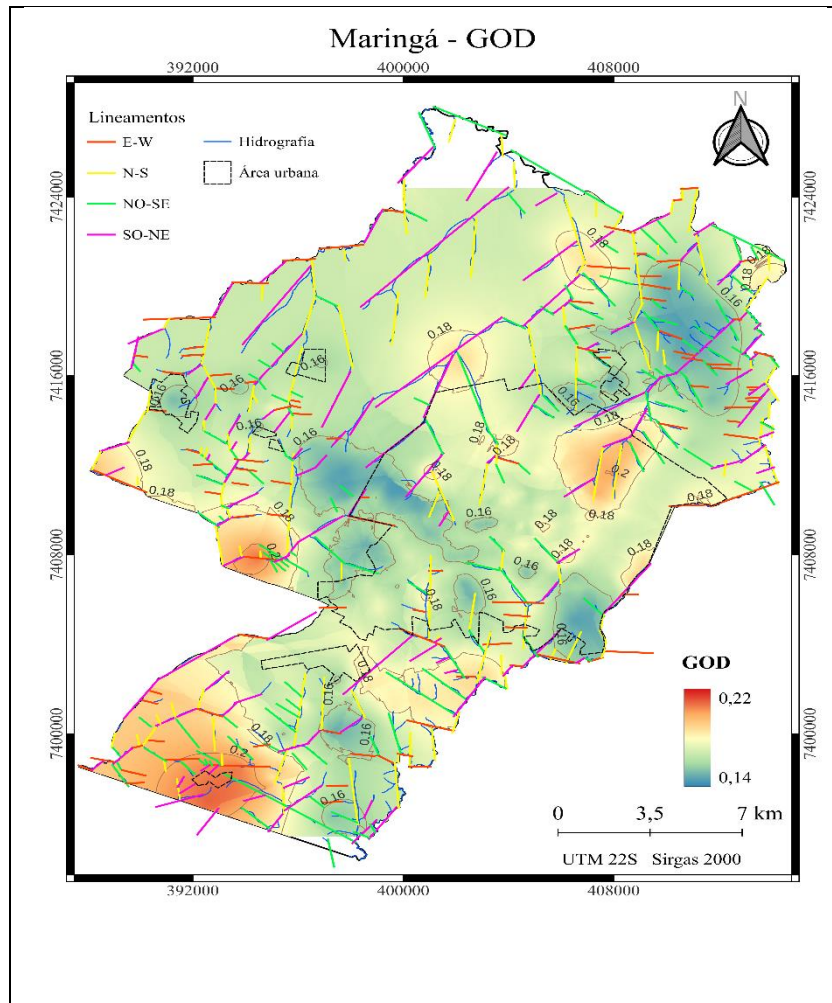
Foi realizada a avaliação da vulnerabilidade do município por intermédio do método GOD, proposto por Foster e Hirata (1988), que, pela simplicidade de aplicação e praticidade nas análises dos resultados, tem sido amplamente utilizado na avaliação de aquíferos e como auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e na criação de políticas públicas. O que se apresentou foram áreas homogêneas de vulnerabilidade baixa. A variação ficou por conta da espessura do solo encontrada nos dados de perfuração obtidos através do SIAGAS (Peixinho; Castilho, 2019). São apresentadas variações de 0,14 até 0,22 obtidas pelo algoritmo apresentado na Figura 17.

É sem dúvida, muito bom, que este critério venha a se encontrar assim, pois dá melhores condições do desenvolvimento de uma política pública para proteção das águas subterrâneas urbanas.

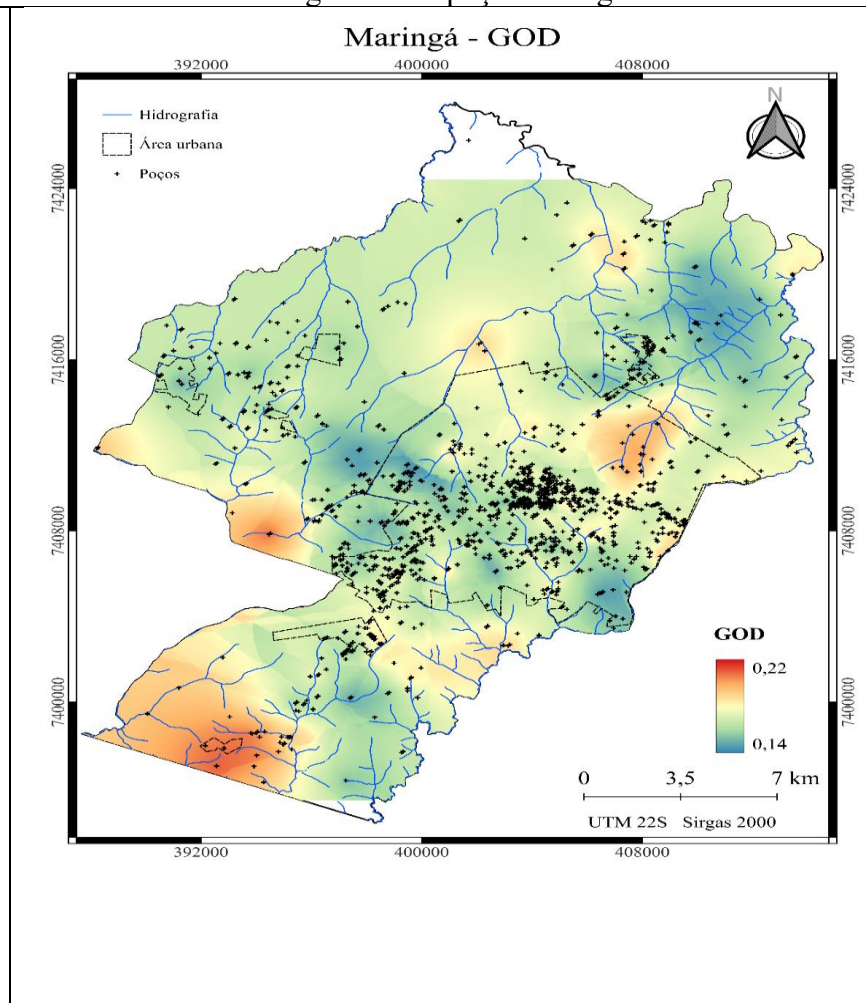
A área urbana e a área industrial estão em zonas homogêneas de baixa probabilidade de contaminação do aquífero SASG (Scheibe; Hirata, 2008). Os pontos em vermelho, por apresentarem menores espessura de solo mostram uma característica mais sensível.

Desta maneira as restrições de ocupação estão delineadas pelas áreas de cruzamento de lineamentos (fraturas e falhamentos) e áreas de proteção às recargas do aquífero SASG.

**Figura 43** - Zoneamento de vulnerabilidade mostrando as áreas de lineamentos



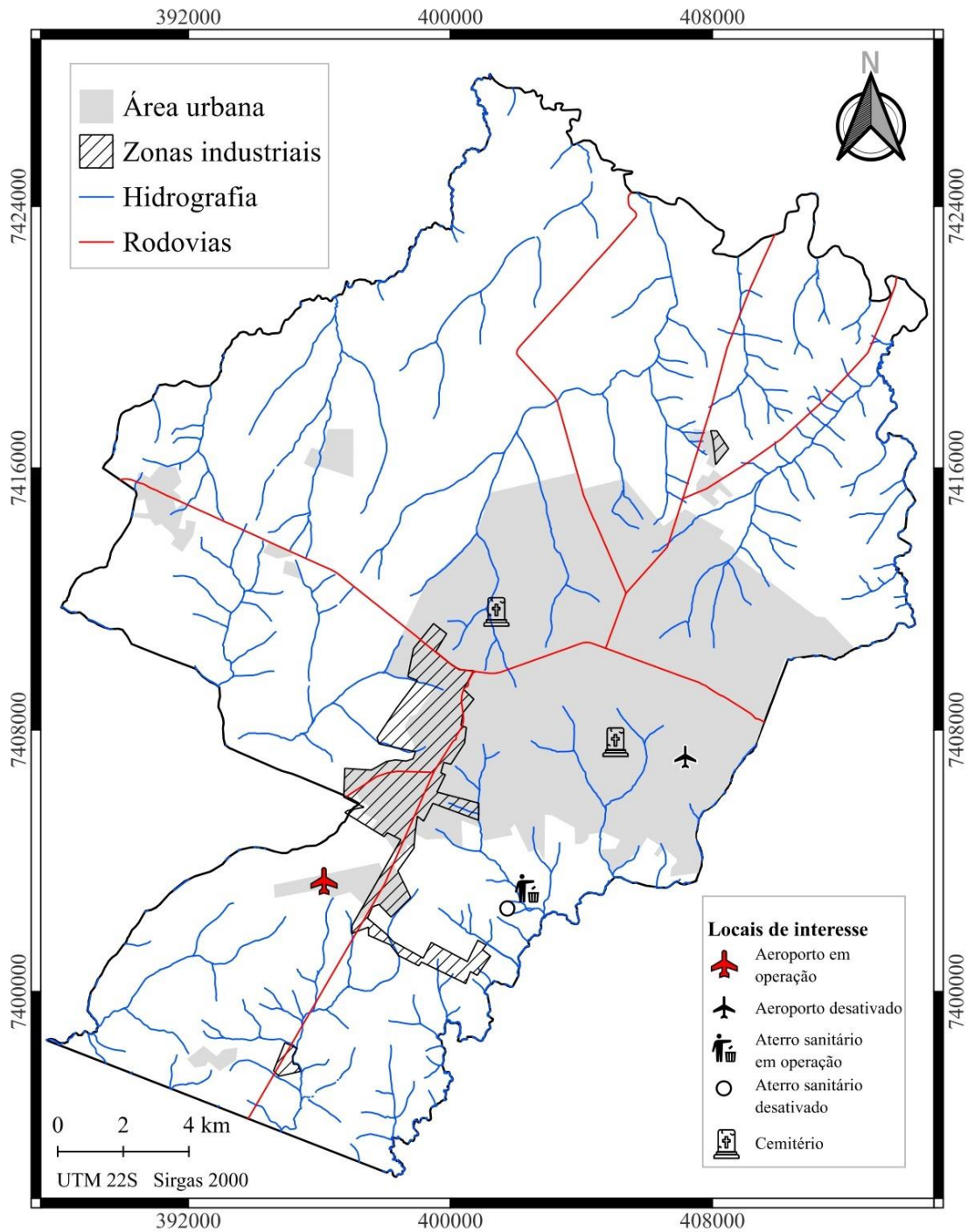
**Figura 44** - Zoneamento de vulnerabilidade mostrando a hidrografia e os poços outorgados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como últimas observações é digno de se notar que no município existem condições de risco que não estão sendo observadas. como mostra as figuras 43 e 44.

**Figura 45 - Locais para observações**



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 45 mostra os locais com risco conhecido de contaminação das águas subterrâneas pontuados na literatura e que necessitam de monitoramento constante. Os cemitérios, os aeroportos e os aterros são descritos e identificados como de alto risco de acidentes, embora o município venha a se classificar como de baixa vulnerabilidade um acidente seria desastroso.

A aviação é reconhecida como uma propulsora da globalização e do desenvolvimento econômico. No entanto, o crescimento do tráfego aéreo exige intervenções nas estruturas aeroportuárias, tornando as questões ambientais um foco crescente de atenção e preocupação social (Galeski, 2019).

Aeroportos são caracterizados por serem estruturas com grande potencial de modificação do ambiente, causando impactos tanto nas fases de construção, quanto de operação. O processo de implantação de um aeroporto exige a realização de estudos de impacto ambiental e a obtenção do Licenciamento Ambiental, um procedimento administrativo essencial para obter e manter as licenças de operação e garantir o cumprimento da legislação brasileira (Santos *et al.*, 2008).

Os impactos ambientais decorrentes da operação aeroportuária ligam-se primariamente a quatro vetores principais:

- **Poluição Atmosférica e Emissão de Gases:** O complexo aeroportuário e suas operações geram uma alta carga de poluentes atmosféricos (Ribeiro, 2021). A maior parte desses poluentes, incluindo gases estufa e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), é proveniente dos motores das aeronaves (Ribeiro, 2021; Santos *et al.*, 2008). A poluição do ar causa doenças respiratórias, oftalmológicas e nervosas em humanos, e no meio ambiente, contribui para a formação de chuvas ácidas e para o efeito estufa (Santos *et al.*, 2008).
- **Ruído Aeronáutico:** Considerado um dos principais impactos, o ruído provém majoritariamente dos motores principais e auxiliares das aeronaves, afetando o maior número de pessoas nas redondezas (Ribeiro, 2021; Santos *et al.*, 2008). O ruído excessivo pode levar à diminuição da capacidade auditiva e está associado a problemas como baixo desempenho cognitivo e distúrbios do sono em crianças (Santos *et al.*, 2008).
- **Geração de Resíduos Sólidos e Líquidos:** Aeroportos são caracterizados pela alta produção de lixo e resíduos sólidos que exigem tratamento (Ribeiro, 2021). Além dos resíduos domésticos, há efluentes industriais e esgotos sanitários, cujo descarte

rigoroso é fundamental para prevenir a contaminação do solo, da água e a proliferação de agentes patológicos (Santos *et al.*, 2008).

- Impacto na Fauna: As operações aeroportuárias ameaçam a avifauna local, que é vítima de colisões com aeronaves durante o pouso e decolagem (Ribeiro, 2021). A presença de resíduos atrai espécies não nativas, aumentando o risco de acidentes e de transmissão de doenças (Santos *et al.*, 2008).

As soluções para as demandas ambientais são resolvidas principalmente por meio da gestão estratégica, que equilibra o crescimento econômico, a redução dos impactos e o progresso social (Galeski, 2019; Souza, 2006).

As estratégias de gestão e ações mitigadoras propostas incluem segundo Santos, (2008):

- Redução da Poluição: Utilização de aeronaves e equipamentos de apoio no solo mais modernos e menos poluentes; substituição de combustíveis por alternativas mais limpas, como gás natural veicular (GNV) ou veículos elétricos; e manutenção constante dos motores.
- Controle de Ruído: Exigência de certificados de emissão de ruído; concentração de pousos e decolagens em pistas que gerem menor interferência no entorno; e o uso de barreiras naturais para a propagação do som.
- Gestão de Recursos: Planificação do uso sustentável dos recursos naturais (Galeski, 2019); implantação de políticas de gerenciamento e redução do consumo de água; e instalação de sistemas de reuso das águas pluviais.
- Resíduos: Treinamento de funcionários para a coleta e tratamento correto dos resíduos, para evitar a perda de material reciclável e a contaminação.

Conclui-se que, apesar da importância das operações aeroportuárias para o desenvolvimento, seus impactos são inevitáveis, sendo a adoção de um gerenciamento eficiente de tais interferências, importantes para a sustentabilidade da praça aérea (Galeski, 2019; Ribeiro, 2021).

Com o aeroporto desativado, que hoje abriga um grande projeto de desenvolvimento urbano não se teve notícias de contaminação do solo. Todos os estudos para o licenciamento do projeto de urbanização foram realizados e não apontaram nenhuma alteração.

O aeroporto atual, mantém três poços tubulares sem outorgas de uso de recurso hídrico subterrâneo. Apresenta licenciamento ambiental, mas não se encontrou um relatório de monitoramento do seu PCA (Plano de Controle Ambiental).

Os cemitérios, apesar de sua importância histórica e cultural, representam uma preocupação significativa para o ambiente e a saúde pública, especialmente quando são mal gerenciados, devido, em grande parte ao processo de decomposição dos corpos (Ribeiro et al., 2024; Santos et al., 2025). A principal fonte de contaminação e de impacto ambiental e de contaminação está ligada a formação de necrochorume (Leli et al., 2012; Santos et al., 2025).

Durante a fase de putrefação do corpo, ocorre a liberação de efluentes líquidos e gasosos.

O necrochorume é o principal efluente líquido resultante desse processo. É caracterizado por ser uma solução aquosa, viscosa, com forte odor, de cor castanha acinzentada, rica em sais minerais e substâncias orgânicas como Putrescina e Cadaverina. Este líquido possui um elevado grau de toxicidade e patogenicidade, contendo vírus e bactérias (Santos et al., 2025).

A infiltração do necrochorume no solo representa alto risco. Ele pode percolar e atingir o lençol freático (águas subterrâneas), contaminando a área interna do cemitério e seus arredores. A contaminação da água representa um sério risco à saúde pública, podendo transmitir doenças de veiculação hídrica, como a febre tifoide (pela bactéria *Salmonella Typhi*) e gastroenterites (Leli et al., 2012; Santos et al., 2025).

O processo de decomposição também libera gases com potencial patológico e poluidor. Entre eles estão o gás sulfídrico  $H_2S$ , dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), amônia ( $NH_3$ ) e fosfina ( $PH_3$ ). A emissão desses gases pode elevar o índice de doenças respiratórias, como a asma, e causar irritação nos olhos e doenças cardiovasculares (Ribeiro et al., 2024).

Estudos de caso em Pojuca-Bahia e na Zona Sul de São Paulo identificaram diversos problemas de gestão e infraestrutura (Santos et al., 2025):

- Inadequação estrutural dos jazigos e ausência de vedação necessária em túmulos verticais, o que favorece a liberação de gases e odor;
- Ausência de drenagem pluvial adequada e problemas de limpeza das canaletas;
- Manejo incorreto de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) oriundos das exumações (Grupo A), que possuem alto risco biológico e que, devido à segregação inadequada, contaminam resíduos comuns;
- Proliferação de vetores transmissores de doenças, como mosquitos e roedores, em áreas mal conservadas.

A regulamentação no Brasil é baseada principalmente nas Resoluções CONAMA nº 335/2003 e nº 338/2006, que estabelecem as normas para a implantação e operação de cemitérios, visando reduzir os riscos de contaminação.

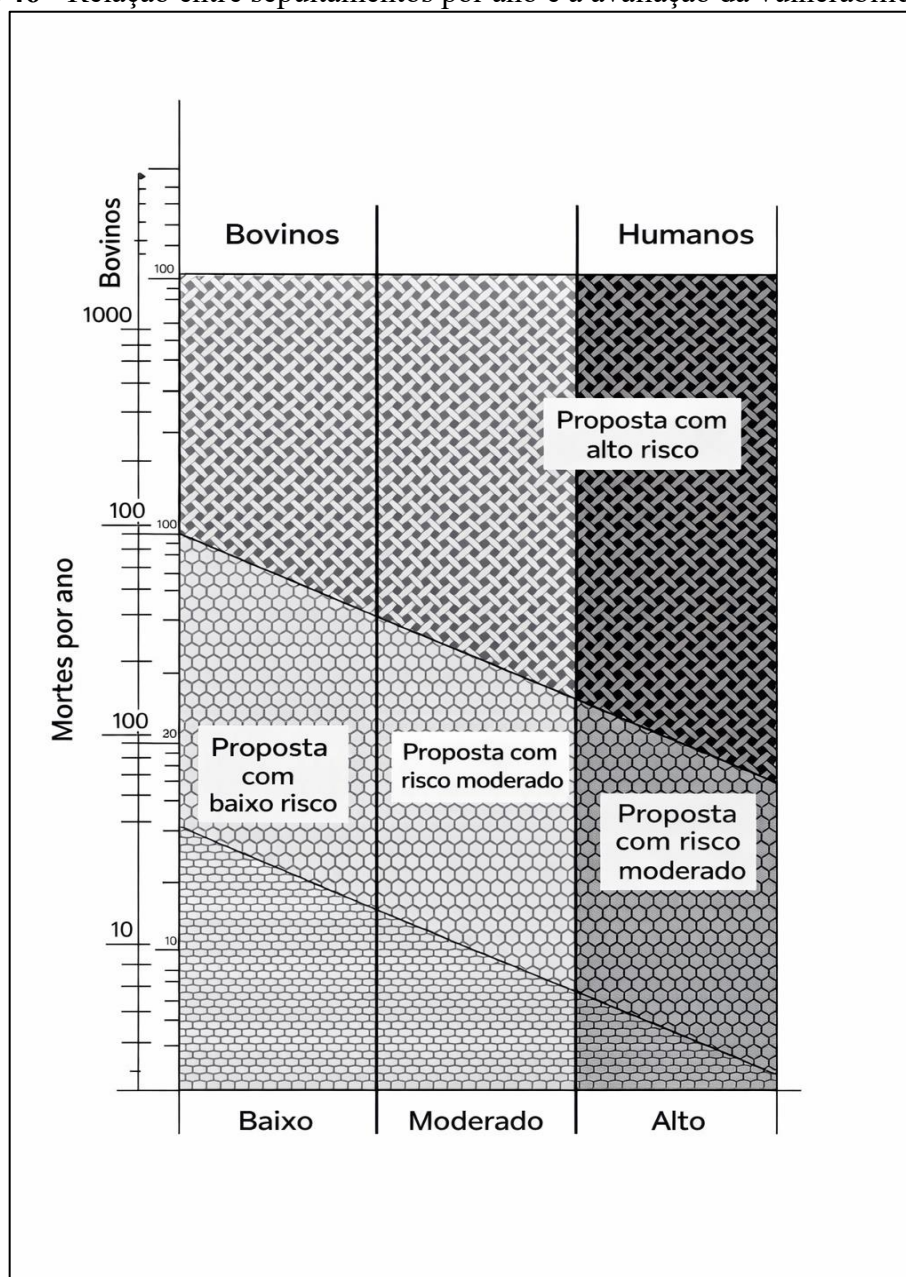
O gerenciamento das áreas de sepultamento leva em consideração a vulnerabilidade, a proteção de fontes (surgências ou superficiais) e o risco associado na implantação de novas necrópoles, colocando aqui a necessidade de modelagem numérica para os novos desenvolvimentos urbanos. Os números de sepultamentos podem comprometer as águas subterrâneas e as de superfície e a avaliação da localização deve estar baseada em uma estimativa da carga de poluição potencial, sempre relacionado com a atenuação das vias de transporte (Environmental Agency, 2002).

Foi desenvolvido uma aproximação para a avaliação do risco associado aos novos e os cemitérios existentes (Souza; Monteiro, 2020). Que se divide em 3 (três) partes:

- 1 – Investigação preliminar das vias potenciais e receptores nos locais próximos. É a análise da topografia, da geologia e da hidrogeologia;
- 2 – Estimativa da vulnerabilidade para o município a ser estudado;
- 3 – Considerações a respeito dos níveis aceitáveis para avaliação de riscos de contaminação do manancial. É a correlação com o número de sepultamentos por ano e a vulnerabilidade calculada.

Na figura 46 se pode observar a relação entre a quantidade de sepultamentos e a vulnerabilidade (alta, média e baixa).

**Figura 46 -** Relação entre sepultamentos por ano e a avaliação da vulnerabilidade



**Fonte:** Adaptado Environmental Agency (2002).

Na avaliação dos riscos baixos não existe a necessidade de uma avaliação com maior critério. Apesar dos cuidados referentes as melhores práticas de prevenção, tais como, distância mínimas, entre outras.

Se o local apontar um risco intermediário haverá a necessidade de um estudo mais elaborado. Com sondagens, averiguação da qualidade hidroquímica das águas que estão subterrâneas e a adequação de um conjunto de variáveis para a obtenção de fluxo subterrâneo e elaboração de um balanço hídrico.

Se, por ventura, o risco local for alto, se deve, além dos estudos relativos ao nível intermediário, apresentar uma modelagem matemática para avaliar as alterações e as características dos receptores em potencial, considerando sempre os piores cenários e, apresentaras opções de gerenciamento para a mitigação dos impactos negativos.

Para a mitigação e controle dos impactos, são propostas e discutidas as seguintes medidas (Leli *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2024):

- **Contenção do Necrochorume:** Utilização de técnicas como **mantas funerárias** ou geomembranas (materiais sintéticos de baixa permeabilidade, como Polietileno de Alta Densidade - PEAD) para prevenir a contaminação do solo e do lençol freático. Também podem ser usadas pastilhas com **bactérias selecionadas** para controlar os efeitos do necrochorume;
- **Controle Gasoso:** A vedação adequada de frestas e fissuras nos túmulos é essencial para resolver a poluição do ar oriunda da decomposição;
- **Monitoramento Ambiental:** É fundamental a realização de Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e a implantação de um sistema de monitoramento do lençol freático. Devem ser instalados poços de monitoramento a montante e a jusante da área do cemitério para analisar parâmetros físico-químicos da água (como cor, turbidez, pH, nitrito e coliformes) e servir como indicador de contaminação;
- **Crítérios de Localização:** A legislação exige que os sepultamentos ocorram a uma profundidade mínima de 1,5 metros do lençol freático para evitar contato com o necrochorume.

Em conclusão, a gestão ambientalmente responsável dos cemitérios exige uma equipe multidisciplinar e o cumprimento rigoroso da legislação para evitar que este empreendimento continue a representar riscos à saúde e ao meio ambiente.

Para o cemitério municipal existe licenciamento ambiental, embora ainda não venha a apresentar a sua renovação e nem relatório de monitoramento. Para o cemitério particular e crematório existe licenciamento ambiental dentro do período de validade, embora não apresente indicadores relacionados a qualidade das águas subterrâneas. O município apresenta áreas de vulnerabilidade baixa a intermediária, nas figuras 42, 43 e 44 (em azul - 0,14, considerada baixa vulnerabilidade e em verde e amarela, áreas intermediárias).

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um dos maiores desafios ambientais do século XXI, sendo os aterros sanitários a forma de destinação final considerada a mais adequada e tecnicamente viável para mitigar os impactos da urbanização e do consumo

acelerado (Dias; Balieiro; Pedreiro, 2024). No entanto, mesmo com o avanço em relação a formas inadequadas como os lixões, os aterros ainda geram subprodutos prejudiciais, exigindo rigorosos sistemas de proteção.

A decomposição dos resíduos nos aterros sanitários resulta na produção de lixiviado (chorume) e gases, sendo o metano um dos mais poluentes (21 vezes mais que o dióxido de carbono), contribuindo para o Efeito Estufa.

O risco mais crítico, e foco de diversas pesquisas, é a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. A disposição incorreta de resíduos, mesmo em aterros, pode levar à infiltração de chorume e contaminantes no solo (Andrade *et al.*, 2023). Um estudo de caso no aterro sanitário de Itabira/MG revelou que a concentração de metais tóxicos (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo e Zinco) em pontos a jusante da área de disposição que excedeu os limites legais, comprovando o dano significativo aos aquíferos (Madeira *et al.*, 2022). A influência da proximidade do aterro na qualidade da água subterrânea é um tema recorrente de avaliação e de estudos (Braga; Zaneti 2021).

Além dos danos ambientais, há impactos socioambientais diretos, especialmente em municípios que buscam transformar os seus lixões para aterros sanitários como forma de aplicar políticas ambientais (Farias, 2019).

Para minimizar esses impactos, a implementação de sistemas de proteção ambiental é essencial. Contudo, o custo elevado de implantação e manutenção destes sistemas representa um grande desafio.

Por fim, a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é identificada como a ferramenta fundamental para avaliar e gerir as consequências ambientais da destinação de resíduos sólidos, sendo crucial para a sustentabilidade da gestão de RSU (Lins et al., s.d.). Atualmente os dois cemitérios localizados no município tem licença ambiental. O do município está com a sua licença vencida e não apresentou monitoramento. O cemitério privado conta com a sua licença ativa e se desconhece relatório de monitoramento das águas subterrâneas.

## 11 CONCLUSÕES

As águas subterrâneas têm sido uma força vital para o abastecimento das cidades desde seus primórdios e, na contemporaneidade, assumem papel ainda mais estratégico diante das mudanças climáticas, que intensificam a alternância entre períodos de estiagem prolongada e eventos de chuvas extremas. Nesse contexto, os recursos hídricos subterrâneos tornam-se fundamentais não apenas para o abastecimento público municipal, mas também como suporte ao desenvolvimento econômico, especialmente nos setores industrial e agropecuário.

No município de Maringá, essa dependência é evidenciada pelo crescimento expressivo do número de poços tubulares outorgados. No início deste estudo, em 2021, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) registrava 1.295 poços outorgados; em janeiro de 2025, esse número passou para 1.939, representando um aumento de 644 poços em apenas quatro anos. A literatura especializada indica que esse quantitativo se encontra subestimado em, no mínimo, 50% (Conicelli *et al.*, 2021; Pinhatti, 2023), o que amplia significativamente as preocupações relacionadas à saúde pública, ao saneamento e à sustentabilidade do recurso hídrico subterrâneo no município.

O conceito de aquífero urbano diferencia-se fundamentalmente pela sua dinâmica de recarga, que passa a ser predominantemente antropogênica. Entre as principais fontes dessa recarga não natural destacam-se:

- (i) vazamentos nas redes de distribuição de água tratada operadas pela concessionária;
- (ii) perdas nos sistemas de coleta de esgoto, fossas sépticas e sumidouros; e ;
- (iii) irrigação de parques e áreas verdes urbanas. Essa forma de recarga afeta, inicialmente, os aquíferos livres, alterando parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, como condutividade elétrica, concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e presença de coliformes fecais.

Apesar dessas pressões, os aquíferos urbanos exercem funções essenciais no ciclo hidrológico das cidades, destacando-se:

- (i) o abastecimento público, como fonte principal ou complementar, muitas vezes por meio de poços individuais, inclusive irregulares;
- (ii) a regularização hidrológica, contribuindo para a manutenção do fluxo de base dos rios e para a atenuação de enchentes;

- (iii) a função filtro, relacionada à capacidade natural de depuração bioquímica da estrutura litológica, amplamente utilizada pela cidade, ainda que de forma não intencional; e
- (iv) o posicionamento estratégico do aquífero, que acompanha a expansão urbana e a distribuição da população, sendo elementos-chave para a conservação e o uso sustentável do recurso subterrâneo.

Diante desse cenário, a gestão das águas subterrâneas deve estar necessariamente articulada à ordenação urbana, por meio da aplicação efetiva dos instrumentos da legislação de parcelamento e uso da terra. Destacam-se, nesse sentido:

- (i) o disciplinamento do uso da terra, com a criação de áreas protegidas destinadas à recarga natural e à manutenção das funções de amortecimento hidrológico;
- (ii) o monitoramento sistemático dos níveis freáticos e da qualidade da água, visando quantificar a recarga e identificar riscos de contaminação; e
- (iii) a realização de diagnósticos de vulnerabilidade e risco, fundamentais para delimitar áreas críticas e orientar ações de controle das principais fontes contaminantes — estudos que deveriam integrar, de forma estruturante, o Plano Diretor Municipal (PDM).

A manutenção do equilíbrio ambiental urbano exige, portanto, uma visão integradora das águas superficiais e subterrâneas, o que implica o compartilhamento do poder decisório entre o poder público, os usuários e a sociedade civil. A segurança da qualidade das águas subterrâneas torna-se condição essencial para o suprimento hídrico, ao mesmo tempo em que se intensificam os impactos da impermeabilização do solo urbano, do aumento da carga contaminante em subsuperfície e da elevação contínua das taxas de exploração por meio de novos poços tubulares. Esses fatores reduzem progressivamente a resiliência da infraestrutura urbana e alteram o equilíbrio do ciclo hidrológico.

Sob o ponto de vista jurídico-institucional, a Constituição Federal de 1988 adota o princípio do federalismo cooperativo, caracterizado pela descentralização de competências, autonomia dos entes federados e atuação conjunta na formulação e execução de políticas públicas (Pereira, 2021). A própria etimologia do termo *foedus*, que remete a pacto ou aliança, reforça a ideia de cooperação política e financeira entre União, estados e municípios, respeitando suas diferenças territoriais, ambientais, culturais e socioeconômicas (Linck; Ianoni, 2022).

Nesse arranjo, o município assume papel central na formulação de políticas de saneamento, saúde pública, uso e ocupação do solo e proteção ambiental, enquanto a gestão formal das águas subterrâneas permanece sob responsabilidade estadual, especialmente no que se refere à outorga de uso. Contudo, essas competências não são excludentes, mas complementares, e devem ser exercidas de forma integrada no âmbito do federalismo cooperativo.

Assim, o município de Maringá possui legitimidade e oportunidade para atuar de maneira mais efetiva na gestão das águas subterrâneas, especialmente por meio da regulação do uso da terra, da proteção das áreas de recarga, do monitoramento de atividades de risco e da preservação da qualidade e da quantidade do recurso para o abastecimento público. Essa atuação não substitui, mas complementa, as ações das esferas estadual e federal, podendo inclusive auxiliar na fiscalização e no controle das outorgas.

O Plano Diretor Municipal não tem a função de aprofundar análises técnicas detalhadas, mas deve reconhecer o caráter estratégico das águas subterrâneas e incorporá-las como elemento estruturante do plano urbano, orientando a elaboração das idéias setoriais específicas em articulação com o Estado. Nesse sentido, torna-se indispensável a requalificação das áreas de recarga do aquífero em meio urbano, bem como a utilização sistemática dos produtos cartográficos elaborados neste estudo para subsidiar decisões sobre o desenvolvimento econômico e a implantação de equipamentos urbanos.

Os mapas apresentados evidenciam que áreas de interesse municipal — como o aterro sanitário (ativo e desativado), o cemitério municipal e o aeroporto regional — configuram zonas de elevado risco ao aquífero urbano e deveriam estar submetidas a monitoramento contínuo. Da mesma forma, empreendimentos privados classificados como potencialmente poluidores devem ser objeto de políticas rigorosas de uso e ocupação do solo, de modo a garantir a manutenção da qualidade e da disponibilidade das águas subterrâneas no território municipal.

Em síntese, este trabalho demonstra que a incorporação efetiva das águas subterrâneas ao planejamento urbano de Maringá constitui não apenas uma possibilidade legal, mas uma necessidade estratégica para assegurar a sustentabilidade ambiental, a segurança hídrica e a qualidade de vida da população.

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar se o município, por meio do Plano Diretor Municipal (PDM), possui competência jurídica, técnica e institucional para legislar e implementar políticas públicas voltadas ao monitoramento, à manutenção e à recarga das águas subterrâneas em seu território, utilizando como base o conhecimento hidrogeológico aplicado

ao projeto urbano. A partir da análise realizada para o município de Maringá-PR, conclui-se que esse objetivo foi plenamente alcançado.

Os resultados demonstram que as águas subterrâneas constituem um recurso estratégico para o abastecimento público, para a segurança hídrica e para o desenvolvimento econômico municipal, especialmente diante do cenário de mudanças climáticas, da crescente impermeabilização do solo urbano e do aumento expressivo da exploração por meio de poços tubulares. O levantamento de dados evidenciou um crescimento acelerado do número de poços outorgados no município, passando de 1.295 registros em 2021 para 1.939 em 2025, com forte indício de subnotificação, conforme apontado pela literatura especializada. Tal contexto reforça a necessidade de atuação municipal integrada às esferas estadual e federal, sob a lógica do federalismo cooperativo.

No que se refere aos **objetivos específicos**, o primeiro deles — **elaborar um banco de dados dos poços tubulares outorgados** — foi atendido a partir da sistematização das informações disponíveis no SIAGAS, permitindo identificar a distribuição espacial, a concentração urbana e a evolução temporal da exploração das águas subterrâneas em Maringá. Esse diagnóstico revelou áreas de maior pressão sobre o aquífero e evidenciou a fragilidade do controle exclusivamente estadual diante da dinâmica urbana local.

O segundo e o terceiro objetivos específicos — **elaborar um mapa de lineamentos estruturais e mapear a concentração de poços na área urbana** — foram alcançados por meio da análise integrada de dados geológicos, estruturais e espaciais. Esses produtos cartográficos demonstraram a forte relação entre fraturamentos, estruturas tectônicas do Sistema Aquífero Serra Geral e a localização dos poços tubulares, evidenciando que o meio físico exerce papel determinante na dinâmica hidrogeológica urbana e deve ser considerada como variável central no programa de organização territorial.

O quarto e o quinto objetivos — **propor uma política de recarga para as águas municipais e uma diretriz para a recarga do aquífero** — foram atendidos a partir da discussão conceitual sobre aquíferos urbanos e da identificação das principais fontes de recarga antropogênica, tais como vazamentos em redes de abastecimento, sistemas de esgotamento sanitário e irrigação de áreas verdes. Conclui-se que, embora essa recarga contribua quantitativamente, ela representa riscos significativos à qualidade da água subterrânea, tornando imprescindível a proteção das áreas de recarga natural, o controle do uso do solo e a implementação de políticas preventivas no âmbito municipal.

O sexto objetivo específico — **propor uma legislação abrangente para a inserção das águas subterrâneas no planejamento econômico municipal** — foi alcançado ao

demonstrar que o município possui competência constitucional para atuar sobre o uso e a ocupação do solo, o saneamento, a saúde pública e a política ambiental, podendo integrar a gestão das águas subterrâneas ao PDM como diretriz estratégica. O estudo evidencia que o PDM não precisa aprofundar análises técnicas complexas, mas deve reconhecer explicitamente o aquífero como elemento estruturante do desenvolvimento urbano e econômico, orientando a elaboração de planos setoriais específicos em cooperação com o Estado. Como anexo está proposto uma legislação municipal para o desenvolvimento de dados mais claros para estudos futuros (Anexo 1)

A análise espacial realizada para o município de Maringá demonstrou ainda que áreas sob responsabilidade direta do poder público — como aterros sanitários, cemitérios e o aeroporto regional — configuram zonas de elevado risco para o aquífero urbano e deveriam estar submetidas a monitoramento contínuo. Da mesma forma, empreendimentos privados potencialmente poluidores devem ser regulados por políticas municipais de uso da terra que considerem a vulnerabilidade hidrogeológica.

Conclui-se, portanto, que o município pode e deve atuar de forma mais efetiva na proteção das águas subterrâneas, utilizando o Plano Diretor Municipal como instrumento de articulação entre plano urbano, desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. A incorporação do conhecimento hidrogeológico ao PDM representa não apenas uma possibilidade legal, mas uma necessidade estratégica para garantir a segurança hídrica, a saúde pública e a qualidade de vida da população de Maringá-PR, reforçando o papel do município como agente ativo na gestão integrada dos recursos hídricos no contexto do federalismo cooperativo brasileiro.

Como contribuição científica, esta tese avança ao integrar de forma inédita, no contexto do município de Maringá-PR, os campos da hidrogeologia urbana, da planificação territorial e do direito urbanístico-ambiental, demonstrando que as águas subterrâneas devem ser tratadas como elemento estruturante do desenvolvimento urbano e não apenas como recurso técnico de abastecimento. A pesquisa contribui metodologicamente ao articular análise espacial, cartografia hidrogeológica e instrumentos de planos urbanos, oferecendo um modelo replicável para outros municípios brasileiros assentados sobre aquíferos fraturados. Do ponto de vista institucional e normativo, o estudo evidencia o papel estratégico do Plano Diretor Municipal como instrumento capaz de incorporar a gestão das águas subterrâneas sob a lógica do federalismo cooperativo, preenchendo uma lacuna recorrente na ideia prática do urbanismo brasileiro. Por fim, a tese contribui social e ambientalmente ao propor diretrizes que fortalecem

a segurança hídrica, a proteção das áreas de recarga e a sustentabilidade urbana, ampliando o diálogo entre ciência, gestão pública e sociedade.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12267**: Normas para elaboração do Plano Diretor. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABRUNHOSA, M. J. *et al.* **Advances in geoethics and groundwater management: theory and practice for a sustainable development**. Porto: Springer, 2020.
- ABRUNHOSA, M. J.; PEPPOLONI, S.; CHAMBEL, A. Introducing geoethics in groundwater science, technology, and management. *In*: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS CONGRESS, 45., Daejeon, 2018. **Anais [...]**. Daejeon: IAH, 2028.
- ADAMS, B.; FOSTER S. Land-surface zoning for groundwater protection. **Water and Environment Journal**, Oxford, v. 6, n. 4, p. 312-319, Aug. 1992. DOI:10.1111/j.1747-6593.1992.tb00755.x.
- AFONSO, M. José *et al.* Urban groundwater processes and anthropogenic interactions. **Water**, Porto, v. 12, n. 2797, p. 26, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12102797>.
- ALBERTE, A. P. *et al.* Hidrogeomorfologia em meios urbanos: papel na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e no planeamento/ordenamento territorial. *In*: Cortez, José A. S. (coord.). **Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Sul, Açores e Madeira**. Barcelona: Mare Liberum, 2023. p. 462-536.
- ALIEVI, A. A. **A bacia hidrográfica enquanto recorte espacial e analítico em geografia da saúde: hidrogeoquímica e saúde coletiva**. 2017. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.
- ALLER, L. *et al.* Drastic: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. **Journal of the Geological Society of India**, Bengaluru, v. 29, n. 1, 1987. DOI: <https://doi.org/10.17491/jgsi/1987/290112>.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024**: informe anual. Brasília: ANA, 2024.
- ANDJELKOVIC, I. Guidelines on Non-Strutural measures in urban flood management: **Technical documents in hydrology**, Paris, n. 50, 2001. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124004>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- ANDRADE, L. M. S. **Conexão dos padrões espaciais dos ecossistemas urbanos: a construção de um método com enfoque transdisciplinar para o processo de desenho urbano sensível a água no nível da comunidade e da paisagem**. 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.
- ANTONELLO, I. T. Expressão do planejamento urbano no ordenamento do território – o plano diretor municipal de Lisboa. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 113-128, 2020.
- AQUINO, S. R. F.; CAVALHEIRO, L. P. R.; PELLENZ, M. A tutela jurídica da água no Brasil: reflexões a partir dos direitos da natureza. **Revista de Direito Brasileira**, Brasília,

DF, v. 14, n. 6, p. 65-79, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.unb.br/handle/10482/18042>. Acesso em: 19 jun. 2025.

ARAUJO, P. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo - SP. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 3, 20 jul. 2018.

ARTIOLI, G. G. **Análise estatística com RStudio**: guia para a disciplina Introdução a pesquisa científica. São Paulo - SP: USP, [2019].

ASSINE, M. L.; NET, J. A. P.; MILANI, E. J. Evolution of the Parana Basin: a plate tectonic approach. **Journal of South American Earth Science**, Oxford, v. 55, p. 128-142, 2014.

ATHAYDE, G. B. **Compartimentação Hidroestrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no Estado do Paraná, Brasil**. 2013. 161 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do paraná, Curitiba, 2013.

ATHAYDE, G. B.; MULLER, C. V. Hidrogeologia do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. ** guas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 315-333, 2015.

ATLAS geomorfológico do estado do Paraná – Escala base 1:250.000. 2006. Curitiba: Mineropar, 2006.

BAGGIO, J. M. **Depósitos tectog nicos como registro de altera o do comportamento hidrológico e evolu o do uso do solo urbano em Maringá-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Gradua o em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

BARBOSA, A. G.; COSTA, Ademir Araújo da. O solo urbano e a apropria o da natureza na cidade. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, ano 24, n. 3, p. 477-488, dez. 2012.

BARBOSA, L. G.; GONÇALVES, D. L. A paisagem em geografia: diferentes escolas e abordagens. **Revista de Geografia da UEG**, Porangatu, v. 3, n. 2, p. 92-110, jul./dez. 2014.

BAUM, C. A.; MANCUSO, M. A.; FRITZEN, R. R. Aplica o do método WTF no estudo da variabilidade da recarga em aquífero urbano. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 85–98, abr. 2018.

BENETELLO, T.; EZAKI, S. Diagnóstico do uso da água subterrânea como subsídio   gestão municipal de recursos hídricos. **Derbyana**, São Paulo, v. 42, p. 1-17, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/derb.v42.755>.

BERTALANFFY, L. V. **General system theory**: foundation, development, application. New York: G. Braziller, 1973.

BERTRAND, G. Paisagens e geografia global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-17, 1971.

BESSER, M. L.; BRUMATTE, M.; SPISILA, A. L. **Mapa geológico e de recursos Minerais de Estado do Paraná**. Curitiba: SGB-CPRM, 2021. 1 mapa, color. Escala

1:600.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22492>. Acesso em: 10 jan. 2024.

BOHN, N. *et al.* Governança da água subterrânea: um estudo de caso em Goiás, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 18., 2012, Bonito. **Anais [...]**. Bonito: ABAS, 2012.

BOVO, M. C.; AMORIN, M. C. C. T. Cidade verde, imagens e discursos: o caso de. **RA'EGA**, Curitiba, v. 26, p. 100-127, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v26i0.30152>.

BRAGA, L. C.; ZANETI, I. C. B. B. Fitorremediação como alternativa de tratamento em emissões de lixiviados em aterros fechados. **Fronteiras Journal of Social Technology**, Anápolis, v. 10, n. 3, p. 51-65, 2021.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 10 jan. 2024.

BRASIL. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm). Acesso em: 20 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento Ambiental Municipal: o meio ambiente contribuindo para o planejamento urbano**. Brasília, DF: MMA, [2025].

BRITO, A. L.; BARRAQUE, B. Discutindo gestão sustentável da água em áreas metropolitanas no Brasil: reflexões a partir da metodologia europeia. *Water 2. Cadernos Metrópole*, São Paulo, v. 19, p. 123-142, 2008.

CALADO, T. O. *et al.* Planos diretores na articulação da gestão de recursos hídricos com o uso do solo no entorno de reservatórios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 3, p. 958-972, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p958-972>.

CAMPANHÃO, L. M. B.; FONTES, A. T.; SOUZA, M. P. Proposta de criação de espaços territoriais a serem especialmente protegidos em uma zona de recarga do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto, SP. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 29, p. 93-112, 30 abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v29i0.33109>.

CAPRA F. **A teia da vida**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARBONE, A. S. *et al.* Serviços ecossistêmicos no planejamento integrado do território metropolitano: oferta, demanda e pressões sobre a provisão de água na Região Metropolitana de Curitiba. **RBCIAMB**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 3, p. 381-400, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820200705>.

CARDOSO, A. C. M. **O que é o Código de Obras?** [2023]. Disponível em: <http://ew7.com.br>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CELLIGOI, A.; BRITO, C. M. Utilização de critérios hidrogeológicos para captação de água subterrânea em Iguaraçu, Estado do Paraná. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 83-90, 1999. DOI: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.1999v8n1p83>.

CHIRNEY, L.; RODRIGUES, A. L. Levantamento e análise dos arranjos espaciais decorrentes do processo de metropolização da Região de Maringá. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 22, n. 47, p. 173-192, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4708>.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. Significância da teoria de sistemas na geografia física. **Boletim de Geografia Teórica**, São Paulo, v. 16-17, p. 31-34, 1987.

ÇOBAN, A.; CENGİZ, A. E.; DEMIROĞLU, D. Sustainable use of water in urban design. **Hacettepe Journal of Biology and Chemistry**, Beytepe, v. 2, n. 44, p. 191–191, abr. 2016.

CODEM - CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO MARINGÁ. **A construção do futuro se faz com o planejamento e ações do presente**. Maringá: CODEM, [2025]. Disponível em: <http://codem.org.br/sistema/arquivos/170532835486.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

COELHO, G. *et al.* Relação entre o escoamento de base e os diferentes sistemas hidrogeológicos do estado de Minas Gerais. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 257–267, 2015.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teoria, conceitos e métodos de pesquisa. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19-45.

COLLISCHONN, W.; FANN, F. M. Defining parameters for Eckhardt's digital base flow filters, **Hydrological Processes**, Chichester, v. 27, n. 18; p. 2614-2622, 2012.

CONICELLI, B. *et al.* Groundwater governance: The illegality of exploitation and ways to minimize the problem. **Annals of Braziliumn Academy of Sciences**, São Paulo, v. 93, n. 1, e20200623, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/7c6553Hqb9FsK8nz4cMZJPh/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 27 mar. 2026.

CONICELLI, B. P.; HIRATA, R. Governança das águas subterrâneas em áreas urbanas; estudo de caso em São José do Rio Preto. In: WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011, Ipojuca. **Anais [...]**. Ipojuca: IWRA, 2011.

CONRAD, J. E. **Groundwater contamination inventory: a methodological guide**. Paris: UNESCO, 2002. (IHP-VI, Series On Groundwater, n. 2).

CUSTODIO, E. Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 115, p. 283–288, 2004.

- D'AVILA, R. A.; GOMEZ, H. L. Importância de la hidrogeologia urbana: ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 63, n. 3, p. 463–477, 2011.
- DARBANDSARI, P. *et al.* An agent-based conflict resolution model for urban water resources management. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 57, p. 1–22, jun. 2020.
- DEMIROĞLU, D.; ÇOBAN, A.; CENGİZ, A. E. Sustainable use of water in urban design. **Hacettepe Journal of Biology and Chemistry**, London, v. 44, n. 2, p. 193–203, 2016.
- DIAS, F. B.; BALIEIRO, L. T.; PEDREIRO, M. Aterros sanitários: gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade ambiental. **Revista Ibero Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, Criciúma, v. 10, n. 12, p. 2891-2936, 2024.
- DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. **Physical and chemical hydrogeology**. Singapore: John Wiley & Sons, 1990.
- DOMINGOS, A.; HIGA, C.; VALENTIN, M. Sistema de drenagem sustentável e especificações técnicas de seus elementos: desenvolvimento de módulo experimental, *In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA*, 11., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2016. p. 788-798.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for base flow separation. **Hydrological Process**, Chichester, v. 19, p. 507–515, 2005.
- ENVIRONMENTAL AGENCY. **Pollution potential of cemeteries: draft guidance**. Bristol: Environmental Agency, 2002. R&D Technical Report P223. Disponível em: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/290605/str-p223-e-e.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290605/str-p223-e-e.pdf). Acesso em: 10 out. 2025.
- ERNESTO, M. Petrogenesis of the Parana magnetic Province: Lithosphere and asthenosphere contributions and their geodynamic significance. **Journal of South American Earth Science**, Oxford, v. 15, n. 4, p. 481-494, 2002.
- EYLES, N.; EYLES, C. H.; MIALL, A. D. Character of glacial sediments, glacial sedimentary environments, and the distribution of glacial deposits. Berlin: Heidelberg, 1993.
- FALHEIROS, M. O. *et al.* Utilização do método GOD para a avaliação de vulnerabilidade dos aquíferos das cidades de Boquin - SE e Riachão do Dantas - SE. *In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 11., 2019, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju, SE: ABRH, 2019.
- FARIAS, T. A proteção do meio ambiente e a garantia do desenvolvimento econômico. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 4 maio 2019. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2019-mai-04/ambiente-juridico-protecao-meio-ambiente-desenvolvimento-economico>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- FARR, D. **Urbanismo sustentável: desenho urbano com a natureza**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FERREIRA, A. R. M.; ALCANTARA, N. S. A.; CANAL, G. C. (org.). **Direito ‘a cidade, cidadania, governança urbana e bem-estar urbano**: movimentos de insurgência e resistência. Maringá: UEM, 2021. p. 274–295.

FIGUEIREDO, A. O.; OLIVEIRA, L. J. Governança de recursos hídricos no contexto do espaço urbano: análise do abastecimento de água no Município de Campo Grande/MS. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://observatoriodageografia.uepg.br/s/ogb/item/103228>. Acesso em: 19 jun. 2025.

FOSTER, S *et al.* Urban self-supply from groundwater - an analyses of management aspects and policy needs. **Water**, Switzerland, v. 14, n. 575, p. 11, 2022.

FOSTER, S. *et al.* **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Washington. D.C.: The World Bank, 2007.

FOSTER, S. *et al.* **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Washington. D.C.: The World Bank, 2007.

FOSTER, S. *et al.* Sustainable groundwater management: management concepts and concepts tools groundwater resource accounting critical for effective management in a ‘changing world’. **GW Mate Briefing Note Series**, Ontario, v. 16, p. 12, 2009.

FOSTER, S. *et al.* **Urban groundwater use policy**: balancing the benefits and risks in developing nations. Washington, DC: World Bank, 2010. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/471001468159609056>. Acesso em: 25 mar. 2025.

FOSTER, S. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy**. Noordwijk: Netherlands Organization for Applied Scientific Research, 1987.

FOSTER, S. The Interdependence of Groundwater and urbanization in rapidly developing cities. **Urban Water**, London, v. 3, n. 3, p. 185–192, 2009.

FOSTER, S. The key role for groundwater in urban water-supply security. **Journal of Water and Climate Change**, London, v. 13, n. 10, p. 3566–3577, out. 2022.

FOSTER, S. **Urban water-supply security**: making the best use of groundwater to meet the demans of expanding population under climate change. Kampala: IAHS Publ. 334, 2008.

FOSTER, S.; GARDUÑO, H. Argentina: Integrated Approaches To Groundwater Resource Conservation in the Mendoza Aquifers. **Evolution**, Washington, DC, n. 6, p. 1–10, 2002.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Groundwater pollution risk assessment**: a methodology using available data. Lima: WHO, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? **Hydrogeology Journal**, London, v. 21, n. 7, p. 1389–1392, nov. 2013.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; HOWARD, K. W. F. Groundwater use in developing cities: Policy issues arising from current trends. **Hydrogeology Journal**, United Kingdom, v. 19, n. 2, p. 271–274, 2011.

FOSTER, S.; MORRIS, B. L.; LAWRENCE, A. R. Effects of urbanization on groundwater recharge: groundwater problems in urban areas. *In*: INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (org.). **Groundwater problems in urban areas**. London: Thomas Telford Publishing, 1994.

FOSTER, S.; SKINNER, A.C. Groundwater protection: the science and Practice of Land Surface Zoning, Groundwater Quality: Remediation and Protection. **Proceedings of the Prague Conference**, Praga, n. 225, May 1995.

FOSTER, S.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Urban Groundwater: Policies and Institutions for Integrated Management**. Washington - D. C.: © Global Water Partnership, August 2013. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/05-urban-groundwater---policies-and-institutions-for-integrated-management>. Acesso em: 25 mar. 2025.

FOUT, G. S. *et al.* Human virus and microbial indicator occurrence in public-supply groundwater systems: meta-analysis of 12 international studies. **Hydrogeology Journal**, Hannover, v. 25, n. 4, p. 903–919, 2017. DOI: 10.1007/s10040-017-1581-5.

FREIRE, R. Caracterização dos atributos morfológicos, físicos, químicos e classificação de um perfil de solo para estudo em parcela erosiva na bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá-PR. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: IBEAS, 2011.

FREITAS, D. P.; TAVARES NETO, J. Q. Reflexões acerca da gestão compartilhada entre o setor público e as organizações sociais. **Direitos Sociais e Políticas Públicas**, Bebedouro, n. 3, p. 171-219, 2021.

GALESKI, E. F. **Impactos ambientais das operações aeroportuárias**. 2019. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 19–28, 2010.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 19–28, 2010.

GOMES, R. D.; VITTE, A. C. O geossistema pela complexidade: uma releitura das esferas geográficas. **Revista de Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 35, p. 15-27, 2018.

GRAEPIN, C. Estimativa de recarga de aquífero e enquadramento dos corpos de água em sub-bacias parcialmente florestadas no noroeste do Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 39, p. 25–31, 2016.

HAKEN, H. Synergetis-an interdisciplinary approach to phenomena self-organization, **Geoforum**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 205-211, 1985.

HAMIDI,S.; RAMAVANDA, B.; SORIAL, G. Sponge city: an emerging concept in sustainable water resource management: a scientometric analysis. **Resources, Environment and Sustainability**, Amsterdam, v.5, Sept. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100028>.

HARTMANN, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o cretáceo até o recente. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 173–182, 2014.

HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

HINMAN, C. **Low impact development technical guidance manual for puget Sound**. Washington, DC.: Washington State University, 2005.

HIRATA, R. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Geociências, 2019.

HOWARD, K. **Urban groundwater**. Ontario: The Groundwater Project, 2023.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Sistema de Informações hidrológicas**. Curitiba: IAT, [2021]. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 10 jan. 2024.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Sistema de Informações hidrológicas**. Curitiba: IAT, [2021]. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 10 jan. 2024.

IBGE. **Indicadores cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, [2022]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/marialva/panorama>. Acesso em: 19 jun. 2025.

IBGE. **Indicadores cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, [2022]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 5 dez. 2022.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico**: Maringá. Curitiba: IPARDES, [2025]. Disponível em: <https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Caderno-Estatistico-Municipal>. Acesso em: 5 nov. 2025.

IPCC – PAINEL INERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Mudança do clima 2023**: relatório síntese. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy\\_of\\_IPCC\\_Longer\\_Report\\_2023\\_Portugues.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf). Acesso em: 5 dez. 2024.

IPPLAM – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE MARINGÁ. **Plano diretor do município – 2020**. Maringá: IPPLAM, 2021. Disponível em: <http://www.ipplam.com/plano-diretor>. Acesso em: 20 out. 2021.

IRITANI, M. A.; EZAKI, Se. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. 3. ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2014.

ITB - INSTITUTO TRATA BRASIL. Perdas de Água Potável (2021, ano base 2019): Desafios Para a Disponibilidade Hídrica e ao Avanço da Eficiência do Saneamento Básico. São Paulo, SP: ITB, 2021. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-potavel-2021-ano-base-2019-desafios-para-a-disponibilidade-hidrica-e-ao-avanco-da-eficiencia-do-saneamento-basico/>. Acesso em: 10 maio 2022.

JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. **Dicionário básico de filosofia**. São Paulo: Zahar, 2001.

JOHNSON, C. C.; ANDER, E. L. Urban geochemical mapping studies: how and why we do them. **Environ Geochem and Health**, London, v. 30, p. 511–530, 2008.

KAUFFMANN, M. O. Águas subterrâneas e sustentabilidade: contribuição da legislação para controle de impactos urbanos nos aquíferos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. **Anais [...]**. Cuiabá: ABAS, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1186>. Acesso em: 19 jun. 2025.

KINZELBACH, W. *et al.* Sustainable groundwater management: problems and scientific tools. **Episodes**, Seoul, v. 26, n. 4, p. 279-284, 2003. DOI: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2003/v26i4/002>.

KIRK, T. **Na introduction to zoning and land use planning**. Sandy, UT: Think Architecture, July 2020. Disponível em: [What's the Difference Between Zoning & Land Use Planning](https://www.thinkarchitecture.com/what-is-the-difference-between-zoning-and-land-use-planning/). Acesso em: 10 jan. 2024.

KITAZAWA, H. M.; BORGES, W. A.; GONÇALVES, J. S. A atuação do Estado no Plano “Maringá 2030”. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDOS ORGANIZACIONAIS, 4., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Estudos Organizacionais, 2016.

LA VIGNA, F. Review: urban groundwater issues and management, and their roles in the resilience of cities. **Hydrogeology Journal**, New York, v. 30, p. 1657-1983, 2022. DOI: [10.1007/s10040-022-02517-1](https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1).

LAURENTINO, C. M. M. *et al.* Potencial de Potencial de Uso do Solo Urbano em Cidade Média: Uma análise da Cidade de Montes Claros/MG. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 3, p. 127-147, 24 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.244694>.

LEITÃO, R. I. M. N. **Sustentabilidade na gestão do ciclo urbano da água**: simulação e análise de cenários. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Coimbra, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/38456>. Acesso em: 15 fev. 2024.

LELI, I. T. *et al.* Estudos ambientais para cemitérios: indicadores, áreas de influência e impactos ambientais. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 45-54, 2012. DOI: 10.4025/biogeogr. v30i1.16348.

LICHT, O. A. B. **Estudo de Produtos Hidrovulcânicos no Sudoeste do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2012. 314 p.

LINCK, L. C.; IANONI, M. O federalismo cooperativo no Brasil e o sistema multinível de gestão ambiental. **DMA - Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 60, p. 271-292, 2022. DOI: 10.5380/dma.v60i0.78983.

LLAMAS, M. R.; CUSTODIO, E. **Intensive use of groundwater: challenges and opportunities**. London: CRC Press, 2002.

MACHADO, J. R.; MENDES, C. M. O processo de verticalização do centro de Maringá - PR. **Investigaciones Geograficas**, Ciudad de México, v. 52, n. 1, p. 53-71, 2003.

MADANI, K. Game theory and water resources. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 381, n. 3-4, p. 225-238, 2010.

MADEIRA, G. R.; GONÇALVES, J. A. C.; ALMEIDA, M. S. L. A contaminação das águas subterrâneas do aterro sanitário de Itabira (MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 1902-1924, 2022.

MADEIRA, G. R.; GONÇALVES, J. A. C.; ALMEIDA, M. S. L. A contaminação das águas subterrâneas do aterro sanitário de Itabira (MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 1902-1924, 2022.

MANOEL, J. L.; NUNES, J. O. R. Análise do Meio físico e avaliação da vulnerabilidade ambiental do Município de Maringá – PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 71, p. 215-233, 28 ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207145454>.

MANZIONE, R. L. Dinâmica da água em aquíferos. *In*: MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar**. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. p. 115-162.

MARANGONI, G. A. **Análise do desempenho do PDM de pequenas cidades sob a ótica de indicadores ambientais: um estudo de caso da cidade de Japurá - PR**. Dissertação. Maringá: UEM, 2021.

MARCATTO, F. S. *et al.* Permeabilidade dos solos no campus sede da Universidade Estadual de Maringá-PR: Subsídios para a implantação de sistemas de drenagem sustentável. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 3, n. 20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17271/2318847232020151057>.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 6, p. 1769-1783, 2016.

- MARICATO, E. Cidades e luta de classes no Brasil. *In*: CHAVES, R. (coord.) **Classes? Que Classes?** ciclo de debates sobre classes sociais. São Paulo: Fundação: Fundação Perseu Abramo; Fundação Friedrich Ebert, 2013. p. 139-162.
- MARICATO, E. **O impasse da política urbana no Brasil**. Petrópolis: Editora Vozes, 2011.
- MARGAT, J. Vulnerabilite des nappes d'eau souterrune a la pollution (Groundwater Vulnerability to Contamination). **Bases de al cartographie**, Orleans, 1968.
- MARÓSTICA, L. M. F. **Gestão ambiental municipal sustentável**. Maringá-PR: Clichetec, 2010.
- MATTIUIZI, C. D. P. *et al.* Estimativa de recarga subterrânea a partir da separação de escoamento da base na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (América do Sul). **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 285–300, 2015.
- MATUS, Carlos. **Adeus Senhor Presidente**: planejamento, antiplanejamento e governo. Recife: Litteris Editora Ltda, 1989. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/qdownload/adeus-senhor-presidente-pdf-free.html>. Acesso em:
- MELFI, A. J.; PICCIRILO, E. M.; NARDY, A. J. R. **Geological and magnetic aspects of the Paraná basin**: an introduction: the mesozoic flood volcanism of the Parana basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG/USP, 1988. p. 1-13.
- MELO, D. H. C. T. B.; GOMES, M. C. R.; LEAL, L. R. B. Cartografia da Vulnerabilidade à contaminação de aquíferos: revisão conceitual. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 26, n. 11, p. 1-40, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/65331/49064>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- MELO, J. G.; ALVES, R. S.; SILVA, J. G. Estimativa de recarga de águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras, na bacia do rio Pirangi - RN. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 28, n. 2, p. 68–81, 2014.
- MENDES, F. H.; ROMERO, H. Mudanças no uso e ocupação do solo e suas influências no clima urbano de cidades médias. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v. 13, p. 1–24, 16 abr. 2024. Disponível em: [https://revistas.usp.br/revistalabverde/pt\\_BR/article/view/181743/203597](https://revistas.usp.br/revistalabverde/pt_BR/article/view/181743/203597). Acesso em: 19 jun. 2025.
- MENDONÇA, F. Geografia, geografia física e meio ambiente: uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da Anpege**, Salvador, v. 5, n. 5, p. 123-134, 2009.
- MILANI, E. J. LANGER, M. C.; MADEIROS, R. A. Notas sobre a cartografia geológica da Bacia do Paraná no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 37, p. 691-702, 2015.
- MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-ocidental do gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473–484, 1998.

- MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Variáveis climáticas e os registros de incêndios em Maringá - PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 518–538, 2020.
- MONTEIRO, C. A. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.
- MOURA, V. C. S. **Impactos ambientais da urbanização**: esforços da pesquisa brasileira e mapeamento e percepção de moradores na cidade de Santarém, Pará. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.
- NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação da interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000100005>.
- NEVES, C. E. *et al.* A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 271-285, 2014.
- NICHI, J.; GALLARDO, A. L. C. F. **A importância das soluções baseadas na natureza como infraestrutura urbana**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, 11 out. 2024. Disponível em: <https://www.iea.usp.br/pesquisa/projetos-institucionais/usp-cidades-globais/artigos-digitais/a-importancia-das-solucoes-baseadas-na-natureza-como-infraestrutura-urbana>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- NIAZI, H. *et al.* Global peak water limit of future groundwater withdrawals. **Nature Sustainability**, United States, v. 7, n. 4, Apr. 2024.
- OLIVEIRA, A. N. *et al.* Padrões urbanos facilitadores de recarga de aquíferos. **Revista de Morfologia Urbana**, Porto, v. 7, n. 2, p. e00117, 2019.
- OLIVEIRA, C. S.; NETO, R. M. Gênese da teoria dos geossistemas: uma discussão comparativa das escolas russas, soviéticas e francesa. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 47, n. 1. p. 6 -20, jul. 2020.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Estado de las ciudades de américa latina y el caribe 2012**: rumbo a una nueva transición urbana. Nairobi: ONU-Habitat, 2012. Disponível em: [http://www.direitoamoradia.fau.usp.br/wp-content/uploads/2012/08/SOLACC\\_2012\\_ES.pdf](http://www.direitoamoradia.fau.usp.br/wp-content/uploads/2012/08/SOLACC_2012_ES.pdf). Acesso em: 19 jun. 2025.
- OSTRON, E. Analyzing long-enduring, self organized and self governed CPRs. *In*: OSTRON, E. **Governing the Commons**: the evolution of institutions for collective actions. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 88-102.
- PARFITT, C. M.; MATTOS, V. L. D. Avaliando o desempenho de plano diretor de desenvolvimento urbano na produção do espaço em áreas de preservação ambiental. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Coimbra, v. 22, p. 230-253, dez. 2021. Disponível em: [https://scielo.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2182-12672021000200230](https://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2182-12672021000200230). Acesso em: 19 jun. 2025.
- PASSOS, M. M. O GTP bertrandiano trasladado para a realidade da geografia brasileira. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 80, p. 17-42, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e77300>.

PEIXINHO, F.; CASTILHO, A. **SIAGAS - pesquisa geral**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>.

PEIXOTO, F. S. *et al.* Conservação e proteção da água subterrânea: uma revisão de metodologias de mapeamento de aquíferos para o ordenamento territorial. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 75, p. 1-14, 29 maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217541888>.

PEIXOTO, F. S.; CAVALCANTE, I. N. O desafio do binômio água e cidade para o gerenciamento dos aquíferos urbanos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 39, n. 114, 2025. DOI: 10.1590/s0103-4014.202539114.012.

PEREIRA, C. Q. S. Federalismo cooperativo e segurança jurídica: o STF e a pandemia. **Cadernos Jurídicos**, São Paulo, ano 22, v. 59, p. 21-38, 2021.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. Análise das relações entre o plano de bacia hidrográfica Tietê-Jacaré e os planos diretores municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 349-362, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200011>.

PESSOA JÚNIOR, O. **Auto-organização e complexidade**: uma introdução histórica e crítica. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2001. Notas de Aula da disciplina FIS-731. Disponível em: <https://opessoa.fflch.usp.br/sites/opessoa.fflch.usp.br/files/AO&C-tex.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P.; CELLIGOI, A. Fatores geológicos e pedológicos que influenciam na produtividade hídrica do sistema aquífero Serra Geral (SASG) na região norte do Estado do Paraná. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 78, p. 173-191, 2020.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P.; CELLIGOI, A. Proposed method for the evaluation of water productivity in fractured aquifers. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 602, p. 126754, Nov. 2021.

PINHATTI, A. L. **Porque existem tantos poços irregulares no Brasil?** 2023. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

PIROLI, E. L. **Água e bacias hidrográficas**: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas. São Paulo: Editora UNESP, 2022.

PIZELLA, D. G. A relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográficas na gestão hídrica. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 3, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1394>.

PONTUAL, V. O urbanismo no Recife: entre idéias e representações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Lagoa Nova, n. 2, mar. 2000. DOI: 10.22296/2317-1529.2000n2p89.

REGO, R. L. O desenho urbano de Maringá e a idéia de cidade jardim. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1569-1577, 2001. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v23i0.2801>.

RGSG - REDE GUARANI/SERRA GERAL. **Blocos hidrogeológicos, vulnerabilidade natural e risco à contaminação do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2020. 155p. il. mapas. Nota Técnica. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/id/d87bdd1b-b1d8-4ab8-915a-819e13ccc2d2/vulnerabilidade\\_natural\\_e%20risco\\_a\\_contaminacao\\_saig\\_sg\\_rev463.pdf](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/id/d87bdd1b-b1d8-4ab8-915a-819e13ccc2d2/vulnerabilidade_natural_e%20risco_a_contaminacao_saig_sg_rev463.pdf). Acesso em: 1 mar. 2024.

RIBEIRO, J. B. S. *et al.* Análise ambiental de um cemitério na zona sul da cidade de São Paulo - SP. *Revista Científica ANAP Brasil*, Tupã, v. 17, n. 42, 2024.

RIBEIRO, R. V. D. **Os impactos ambientais do Aeroporto Internacional de Guarulhos**. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021.

ROCHA, Renée. **Contaminação da água subterrânea por cemitérios: estudo de caso no cemitério municipal de Osório**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. ALEGRE

ROSA FILHO, E. F. *et al.* A importância do Sistema Aquífero Serra Geral para a cultura da soja no Estado do Paraná. *Águas Subterrâneas*, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 49-55, 2006. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v20i2.10720>.

ROSS, J. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9. ed. São Paulo: Contexto, 1990.

SALAS, J.; YEPES, V. Urban vulnerability assessment: advances from the strategic planning outlook. *Journal of Cleaner Production*, Oxford, v. 179, p. 544-558, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.088>.

SALEMI, L. F. Consequências hidrológicas da mudança de uso da terra de floresta para pastagem na região da tropical pluvial atlântica. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 127-40, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.927>.

SAMPAIO, S. A.; SOUZA, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Situação de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente na zona urbana de Ipiaú, Estado da Bahia, BRASIL. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro, v. 21, n. 1, p. 121-147, 1 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v21i1.17624>.

SAMPAIO, S. A.; SOUZA, S. O.; OLIVEIRA, R. Célia de. Situação de uso do solo nas áreas de preservação permanente na zona urbana de Ipiaú, Estado da Bahia, Brasil. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro, v. 21, p. 121-147, 2023.

SANTOS, A. A. **Bacia hidrográfica enquanto recorte espacial a analítico em geografia da saúde: hidrogeoquímica e saúde coletiva na bacia do rio Pirapó-PR**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

- SANTOS, A. A. **Bacia hidrográfica enquanto recorte espacial a analítico em geografia da saúde: hidrogeoquímica e saúde coletiva na bacia do rio Pirapó - PR.** 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.
- SANTOS, I. N. *et al.* Análise das principais fontes de impactos ambientais dos cemitérios públicos na área urbana de Pojuca-Bahia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 33., 2025, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: ABES, 2025.
- SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: reflexão sobre impacto ambiental. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 7, n. 1, p. 10, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208>.
- SANTOS, P. S.; TARGA, M. S.; SANTOS JUNIOR, P. S. **Uma discussão reflexiva sobre o impacto recorrente de infiltração nos rios, resultante da má utilização do uso do solo pelo homem.** Camaçari - BA: IFBA, jul. 2020.
- SANTOS, V. R. *et al.* Impacto ambiental na Implantação de Aeroportos. *In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO DO VALE DO ITAJAÍ -ENSUS*, 2., 2008, Itajaí, **Anais [...]**. Itajaí: UNIVALI, 2008.
- SCHEIBE, L. F.; HIRATA, R. O contexto tectônico dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, 2008. Suplemento Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- SCHIRMER, M.; LESCHIK, S.; MUSOLFF, A. Current research in urban hydrogeology: a review. **Advances in Water Resources**, Oxford, v. 51, p. 280-291, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.06.015>.
- SCHULTZ, C. L. *et al.* The Triassic vertebrate succession of the Paraná Basin, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 61, p. 230-247, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102846>.
- SERAPHIM, A. P. A. C. C. **Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas a urbanização: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Paranoá - DF.** 2018. 193 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SERAPHIM, A. P. A. C. C.; BEZERRA, M. C. L. Cidade e água: relações entre tipologias de ocupação urbana e recarga de aquíferos. **Cuadernos de Investigación Urbanística**, Madrid, n. 126, 2019. Disponível em: <https://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/4369>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- SERAPHIM, A. P.; BEZERRA, M. C. L. Cidade e água: relações entre tipologia de ocupação urbana e recarga de aquífero. **Cuaderno de Investigación Urbanística**, Madrid, v. 126, p. 1-74, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20868/ciur.2019.126.4369>.
- SHANG, S. *et al.* Exploration of sponge city construction in China from the perspective of typical cases. **Frontiers in Earth Science**, Lausanne, v. 11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1238203>.

SILVA, B. H. L.; ROSTIROLA, S. P. Análise faciológica e estratigráfica do folhelho Irati na região de São Mateus do Sul (PR): implicações para a prospecção de xisto betuminoso. **Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 517–531, 2019.

SILVA, H. V. *et al.* Águas subterrâneas, estado, comite de bacias e municípios: responsabilidades. *In: ENCONTRO NACIONAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS*, 25., 2023, Natal. **Anais [...]**. Natal: Centro de Convenções Natal, 2023, p. 1-5. Disponível em: <https://static.even3.com/anais/662382.pdf?v=639110739015736343>. Acesso em: 19 jun. 2025.

SILVA, J. I. A. O.; FARIAS, T. Q. F. A tutela jurídica do ciclo urbano da água: linhas preliminares. **Revista de Direito da Cidade**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 366-389, 2020. DOI: 10.12957/rdc.2020.39551.

SOTCHAVA, V. O estudo do Geossistema. *In: ROMARIZ, D. A. Métodos em questão: o estudo de geossistemas*. São Paulo: Instituto de Geografia, 1977.

SOTTO, D.; PHILIPPI JÚNIOR, A. Gestão da drenagem urbana em Planos Diretores de cidades brasileiras. *In: GÜNTHER, W. M. R.; PHILIPPI JUNIOR, A. (org.). Construindo sustentabilidade em contextos urbanos*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, 2022. p. 68–93.

SOUZA, L. C. A efetividade da proteção das águas subterrâneas no Brasil. *In: CONG BRAS APRODAB*, 8., 2010, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: PUC-Rio. 2010.

SOUZA, L. C. A mudança de paradigmas urbanísticos em face da necessária proteção do solo da cidade a partir de seu subsolo através do zoneamento especial ambiental. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, 2006. Suplemento Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

SOUZA, M. C. B.; MONTEIRO, C. A. B. **Gestão de aquíferos impactados por necrópoles**. Ponta Grossa: Ed. Atena, 2020. DOI: [https:// 10.22533/at.ed.926200106](https://10.22533/at.ed.926200106).

SOUZA-FERNANDES, L. C. A importância das águas subterrâneas no cenário hídrico brasileiro. **Revista Internacional da Academia Paulista de Direito**, São Paulo, n. 8, p. 60-73, 2021. Disponível em: <https://apd.org.br/wp-content/uploads/2021/12/TEXT0-01.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SOUZA-FERNANDES, L. C. A importância das águas subterrâneas no cenário hídrico Brasileiro. **Revista Internacional da Academia Paulista de Direito**, São Paulo, n. 8, 2021. Edição Especial.

SOUZA-FERNANDES, L. C. S.; FERNANDES, A. M. Aquífero como sujeito de direito: um precedente legal brasileiro. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 22, e222749, 2025. Disponível em: <http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/2749>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SUPORTE ao planejamento socioeconômico de Maringá. Maringá: ACIM: PWC Brasil, 2019.

TANAJURA, D. S. **Avaliação do método DRASTIC na estimativa da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas no Sistema Jacaré-Tietê/SP**. 2018. Dissertação

(Mestrado em Análise Ambiental Integrada) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2018.

TOPALOV, Christian. Do planejamento a ecologia. Nascimento de um novo paradigma da ação sobre a cidade e o habitat? **Cadernos do IPPUR**, Rio de Janeiro, n.1-2, p. 19-42, 2017.

TRENTINI, F.; BURITI, V. N. Competência dos municípios para legislar sobre as áreas de preservação permanente hídricas urbanas. **Revista de Direito da Cidade**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 1980-1997, 2021. DOI: <https://doi.org/10.12957/rdc.2021.51975>.

TRICART, J. **Principés et méthodes de le geomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

TROPPMAIR, H. Geografia física e a dinâmica da paisagem brasileira. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA – SBGFA, 12., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: GEOUSP, 2007.

TROPPMAIR, H.; GALINA, M. Geossistemas. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 5, p. 79-89, 2006.

VASCONCELOS, V. V. Recarga de aquíferos: subsídios à gestão hídrica e ambiental - Bacia Do Rio Paracatu (Sf7). **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 1, 2015.

VIERO, A. P. *et al.* O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. *In*: VIERO, A. P. *et al.* **Contribuições a geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. JULINEK, A. R.; SOMMER, C. A. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021.p. 469-485.

VILELA, H. P. G. **Análise do processo participativo na revisão do PDM de Maringá - 2019 a 2020 e o cumprimento da função social da cidade**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021.

VILLAR, P. C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani**: o caso do município de Ribeirão Preto, São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

VILLAR, P. C. Groundwater and the Right to Water in a Context of Crisis. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 85-102, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150126R1V1912016>.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Perímetro de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, 2005. Suplemento Anais dos XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste.

WHITE, E. K. *et al.* Can we manage groundwater? A method to determine the quantitative testability of groundwater management plans. **Water Resources Research**, Washington, v. 52, n. 6. p. 4863-4882, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015WR018474>.

WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná—Conceitos básicos e divisão faciológica. *In*: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA, 2004, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: SBG, 2004.

YOUNG, J.; SEDOURA, F. M. Planos diretores municipais e planos de gestão das águas: uma análise comparada das cidades Lisboa-PT e Porto Alegre-BR. **URBE - Revista de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 11, p. 1-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.AO11>.

ZANELLO, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. reimp. Florianópolis: UFSC, 2013. Disponível em: <https://www.kufunda.net/publicdocs/Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2025.

ZAPOROZEC, A. *et al.* **Groundwater contamination inventory: a methodological guideline**. Paris: UNESCO, 2002. n. 2. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132503>. Acesso em: 27 jan. 2025.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A – ARTIGO 1 A SER APRESENTADO PARA PUBLICAÇÃO

### **A Gestão das Águas Subterrâneas no Planejamento Territorial Urbano: O Caso da Revisão do Plano Diretor de Maringá-PR**

#### **Resumo**

O ordenamento das atividades humanas no espaço urbano demanda um planejamento baseado em equidade social, equilíbrio ecológico e eficiência econômica. Este estudo analisa a inserção da gestão dos recursos hídricos subterrâneos nas diretrizes do Plano Diretor Municipal (PDM), utilizando como estudo de caso o município de Maringá-PR. A metodologia baseia-se na pesquisa participante e revisão bibliográfica. Os resultados evidenciam uma alta densidade de poços tubulares na área central da cidade, motivada por fatores econômicos, gerando riscos de superexploração. Conclui-se pela necessidade de integração entre o uso da terra e a hidrogeologia, propondo novos instrumentos de controle municipal e governança compartilhada para assegurar a sustentabilidade hídrica.

#### **1 Introdução: O PDM e a Sustentabilidade Ambiental**

O Plano Diretor Municipal (PDM) constitui o principal instrumento da política de desenvolvimento e ordenamento territorial urbano. Sua elaboração e revisão devem estar fundamentadas em premissas de sustentabilidade, entendida aqui como a conservação dos recursos naturais visando a manutenção da qualidade de vida. O ambiente, neste contexto, é compreendido como um sistema complexo que integra fatores físicos (ar, água, solo), bióticos (flora e fauna) e antrópicos (econômicos e psicológicos), em contínua transformação histórica e social.

Ele é social e historicamente construído segundo um processo de interação contínua, entre uma sociedade em movimento e um determinado espaço físico que se modifica permanentemente. Transforma a vida da comunidade e, ao ser alterada leva a uma criação social que se materializa em instrumentos e legislação. Um dos focos principais desta materialização, em conceito, se chama “sustentabilidade” e pressupõem a conservação dos recursos da natureza como metodologia para a manutenção e promoção da qualidade de vida dos habitantes no município. Dessa maneira, as questões chamadas de “ambientais” abarcam as discussões sociais, culturais, políticas, econômicas e ecológicas, sendo apresentadas como um conjunto

articulado e convergente de ações, de políticas públicas e legislação para a gestão municipal (Coelho, 2001).

No âmbito legal, o PDM é regulamentado pela Constituição Federal (art. 183) e pelo Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), sendo operacionalizado por leis complementares como a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Código de Obras e Código de Posturas. O desafio central da administração municipal reside em promover o desenvolvimento econômico sem comprometer as condições ambientais, especialmente a conservação hídrica e edáfica, essenciais para a saúde pública.

[...] o grande desafio de uma administração municipal é promover o desenvolvimento sem degradar ou alterar as condições ambientais do município, conservando as águas, o solo e as boas condições atmosféricas, contribuindo dessa forma com a manutenção de boas condições da saúde para os municípios (Maróstica, 2010).

Dessa maneira, é dever do município apresentar a sociedade formas de controle, mecanismos e ações, que vão se materializar em planos, leis, técnicas, recursos humanos qualificados e estruturas físicas compatíveis com o desenvolvimento tecnológico e com a administração municipal consciente. Este é o foco do Plano Diretor para o Município (PDM), que apresenta diretrizes gerais para o ordenamento das funções ambientais da cidade (Pontual, 2000).

Os estudos e a proposta de Lei do PDM devem ser aprovados pela Câmara Municipal, tornando-se instrumentos para o desenvolvimento das políticas públicas do município para a orientação do desenvolvimento territorial municipal prevendo um planejamento para 10 anos.

Sua estrutura está baseada num diagnóstico e numa lista das potencialidades dos recursos naturais e das perspectivas sociais, políticas e financeiras da sociedade. Além do PDM (artigo 183, da Constituição Federal) o qual passa a ser regulamentado pela Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, sendo que são parte integrante do PDM as leis complementares, a saber: Lei Perímetro/s Urbanos e de Expansão Urbana/s; - Lei de Parcelamento do Solo para fins Urbanos; - Lei de Uso e Ocupação do Solo; Lei do Sistema Viário; Código de Obras e Código de Posturas. Além de documentos básicos para orientação do poder público, a Lei Orgânica Municipal, o Código Tributário e a Lei Orçamentária.

Este artigo quer explorar a relação que a gestão da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas tem com os estudos para a implantação do PDM. É uma experiência vivida durante a revisão do PDM do município de Maringá-PR.

## **2 Metodologia**

Este trabalho adota a técnica da pesquisa participante, conforme definido por Gil (2007) e Zanello (2013), decorrente da atuação direta no acompanhamento técnico da revisão do PDM de Maringá através do Grupo de Cooperação Técnica. O embasamento teórico foi construído mediante revisão sistemática em bases de dados como Scopus, Scielo e Google Scholar.

### **3 Marco Legal e Governança dos Recursos Hídricos**

A gestão territorial urbana, materializada no Zoneamento e Uso do Solo, frequentemente negligencia a gestão integrada das águas subterrâneas, focando predominantemente em aspectos construtivos de superfície. Contudo, a legislação brasileira estabelece competências distintas e concorrentes para a gestão hídrica.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, ANA) e os sistemas estaduais (CERB, órgãos ambientais) detêm a primazia sobre a outorga e o domínio das águas. Entretanto, defende-se que o município possui competência concorrente e dever constitucional de atuar no monitoramento e fiscalização, dada a interdependência entre o uso do solo (competência municipal) e a qualidade/quantidade da água (bem de domínio estadual/federal).

Os documentos básicos servem para a orientação das ações do executivo e para a população fiscalizar o legislativo. No caso do código tributário é o conjunto de normas, no qual está previsto os incentivos (isenção e remissão) para os contribuintes. Dispõem sobre impostos, taxas, contribuição de melhorias e distribuição de receitas. Imposto é um encargo financeiro gerado a partir de um fato gerador; já as taxas são exigências financeiras para que se possa usar certos serviços fundamentais, ou pelo exercício do poder de polícia e; a contribuição de melhoria são tributos cobrados em decorrência de obra pública que leva a uma valorização do imóvel daquele que está sendo tributado (Coelho, 2020). A lei Orçamentária estima receitas e fixa as despesas que estão incluídas na lei complementar 101/00 (Lei de responsabilidade fiscal) (Brasil, 2000).

A Lei de Uso e Ocupação do Solo é específica para cada município, é obrigatória para o controle do uso, da densidade populacional, da localização, da finalidade, das dimensões e volumes das construções, para a finalidade de planejar a função social da propriedade e da cidade. Neste arcabouço, adapta-se a Lei do Zoneamento, que estabelece porções do urbano com utilização específica, promove a confecção dos documentos técnicos para a instalação de empreendimentos prevendo sanções (multas e projetos de recuperação) (Bernardini, 2017).

Tem-se como derivada, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano, que vai ordenar a divisão do solo para fins urbanos, podendo restringir ocupações em terrenos que podem ou devem ser utilizados para fins de realização do uso social da propriedade. Com o Código de Obras e Edificações, apresenta-se uma série de normas técnicas (que nascem nas orientações das normas técnicas brasileiras - NBR), e tem a finalidade de preservar as condições de higiene, saúde, segurança para a população. Com o Código de Posturas existe a regulação dos espaços públicos ou espaços de Uso Coletivo (Cardoso, [2020]).

O mesmo conceito se aplica ao Código da Saúde, que vai se posicionar em relação aos aspectos da gestão da saúde da população do município (seu conselho, a qualidade sanitária, o controle de situações e produtos, higiene, campanhas de prevenção e de monitoramento).

Assim, o PDM é o estabelecimento dos princípios e diretrizes para o uso da propriedade urbana, com duas posturas:

- 1 – a propriedade urbana, embora privada, tem uma função social. Ou melhor, o proprietário tem o direito de dar a destinação que quiser. Contudo, se o interesse urbano for contrariado, não cumprir a função social da propriedade, é legítimo que o poder público fixe obrigações e exigências por meio da lei;
- 2 – o crescimento de maneira desorganizada, vai gerar problemas, como a degradação ambiental. A falta de planejamento básico, com conseqüente diminuição da qualidade de vida, tem que fomentar uma atuação mais eficaz do poder público na gestão.

Desta maneira, é um plano estratégico, um processo de previsão para desenvolver uma “certa” capacidade de reação frente a problemas que possam vir a acontecer (Topalov, 1991). O seu modo de elaboração estabelece um processo compartilhado entre os formuladores e as escolhas, as prioridades e o estado desejável para o território municipal (Matus, 2000).

#### **4 As Competências em Relação aos Recursos Hídricos**

Esta discussão de zoneamento e uso do solo urbano leva a uma visão prática e a um PDM funcional somente para os problemas de localização de residências, fábricas, tamanhos de prédios e outros espaços e acaba olvidando a análise do uso dos recursos naturais, principalmente as águas, tanto a superficial, quanto a subterrânea.

As discussões contemporâneas levam a considerar as águas e, principalmente aquelas que estão subterrâneas, como um recurso que necessita de uma atenção no processo de

planejamento territorial. Surge a legislação que lhe dá competência. Pela figura 1, pode-se compreender que, pela Constituição Federal (CF, 1988), a formulação da política nacional é feita pelo CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) e dos CBHI (Comitês de Bacia Hidrográfica Interestaduais), que deve ser administrado pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) e implementado pela ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento).

Isto reflete no nível estadual, no CERB (Conselho Estadual de Recursos Hídricos), no CBH (Comitê de Bacias Hidrográfica Estadual), com implementação na secretaria de estado responsável, implementado pelos órgãos estaduais e pelo CBH. A grande discussão que este artigo quer levantar é a responsabilidade do município em administrar o recurso água subterrânea, por meio das competências das secretarias municipais afins, ou seja, Secretaria Municipal de Saúde, de Meio Ambiente, de Saneamento, de Planejamento do Uso do Solo, entre outras que poderão ser admitidas.

Essa discussão remete a uma participação ativa do município na gestão da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos que estão subterrâneos, embora a grande competência para elaborar políticas, venha a ser do estado, o município deve e pode auxiliar, dentro da sua área de competência legislativa com ações de monitoramento e de fiscalização, compartilhando com o Estado seus números e observações, dentro da política discutida no CBH respectivo. Isto levará a uma política de uso das águas mais bem elaborada e mais abrangente que deverá ser iniciada por discussões dentro do PDM.

O PDM deverá estar integrado a boas práticas da governança<sup>2</sup> das águas subterrâneas, que levam em conta a gestão compartilhada e os princípios Olstron (que são 8 máximas que indicam a robustez de uma organização ou arranjo institucional quando se fala da capacidade desse arranjo gerir com sustentabilidade e evitar o esgotamento de um bem comum). A gestão compartilhada acontece quando o Estado passa às Organizações Sociais (OS), a gestão dos serviços não-exclusivos, permitindo, por isso, sua descentralização, entendendo que os serviços poderão ser mais eficientes se realizados pelas OS, por meio do financiamento estatal (Freitas; Tavares Neto, 2021).

A figura 2 renova o conceito de Ostron (1990) colocando os CB e os Conselhos Municipais como competentes para discutir as questões de gestão das águas subterrâneas, de maneira a preservar uma melhor compreensão das competências dos entes federativos. Pode-se

---

<sup>2</sup> [...] “a governança constitui um modelo de exercício do poder de aplicação geral. A lógica da governança tende a penetrar o conjunto do direito, tanto privado como público: que convém associar os diferentes atores à elaboração da norma e preferir o consenso à coerção é atualmente comumente admitida [...]” (Chevallier, 2005, p. 145).

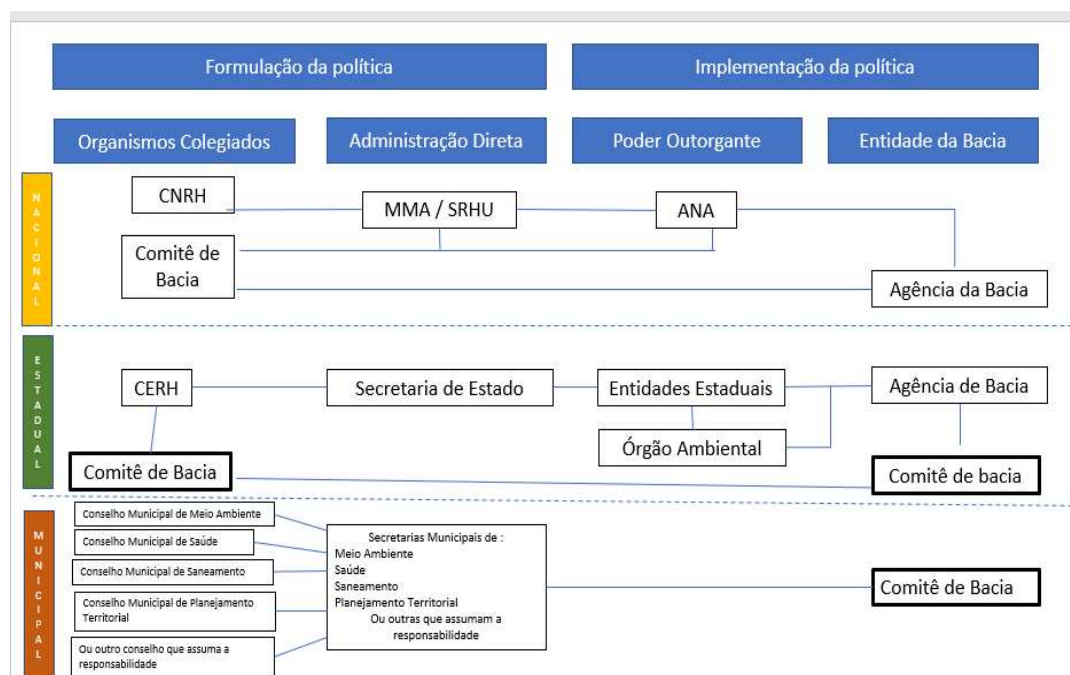
citar, inclusive a PNSB-2007 (Brasil, 2007) que determina as diretrizes de saneamento ambiental, adotando uma definição de saneamento básico pautado nos seguintes serviços: a) abastecimento de água; b) esgotamento sanitário; c) manejo das águas pluviais urbanas; d) manejo de resíduos sólidos. Essa definição ampla é fundamental para se pensar o planejamento de forma integrada com esses serviços de infraestrutura, essenciais no ordenamento do território almejando uma cidade saudável, que perpassa pela disponibilidade desta rede de infraestrutura, que infelizmente se observou a carência dela em espaço urbano nacional. Se esclarece que o plano de saneamento deve ser construído articulado com as diretivas do PDM, para se pensar o planejamento urbano de forma integrada, visando mudar as condições de falta de acesso a esses serviços, que acarreta tantos problemas socioambientais (Antonello, 2020, p. 7)

Ao município compete, no tocante as questões locais de saúde, saneamento, uso do solo e, as questões ambientais de maneira concorrente, sempre em conjunto com o Estado e com o CB, gestor da sua bacia hidrográfica, a missão de monitorar para manter a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas.

#### 4.1 A Tragédia dos Comuns e os Princípios de Ostrom

A exploração desenfreada das águas subterrâneas exemplifica a "tragédia dos comuns" de Hardin (1968), onde a racionalidade individual de maximização de lucro leva à exaustão do recurso coletivo. A água subterrânea é um "bem comum" de difícil exclusão, onde o uso por um agente reduz a disponibilidade para outros.

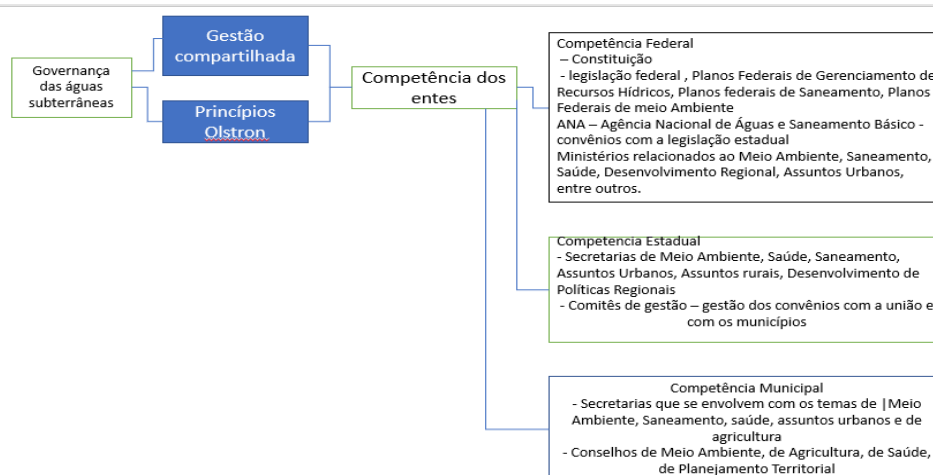
Para mitigar este cenário, propõe-se a aplicação dos princípios de Ostrom (1990) para a governança de bens comuns, fomentando a gestão compartilhada e descentralizada. Neste modelo, o município e os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) assumem protagonismo na mediação de conflitos e no estabelecimento de regras de uso sustentável.

**Figura 1** - Relação entre os entes federativos

Fonte: Adaptado de Foster (2007).

A figura 1 exemplifica esta relação entre os organismos estatais, ministério, secretarias estaduais e o município (que é sempre esquecido) e suas secretarias, que organizam as responsabilidades locais.

Ao município compete constitucionalmente a conservação da saúde, do saneamento e do uso da terra e, concorrentemente as questões ambientais, desde que envolvam problemas locais. Isso nos leva a observar a figura 2 as competências entre os entes.

**Figura 2** - As competências dos entes federativos

Fonte: Elaborado pelo autor.

A integração com a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) é imperativa, visto que o abastecimento, esgotamento e drenagem são infraestruturas essenciais que impactam diretamente o aquífero.

A figura 2 renova o conceito de Ostron (1990) colocando os CBH e os Conselhos Municipais como competentes para discutir as questões de gestão das águas subterrâneas, de maneira a preservar uma melhor compreensão das competências dos entes federativos. Pode-se citar, inclusive a PNSB-2007 (Brasil, 2007) que determina as diretrizes de saneamento ambiental, adotando uma definição de saneamento básico pautado nos seguintes serviços:

- a) abastecimento de água;
- b) esgotamento sanitário;
- c) manejo das águas pluviais urbanas;
- d) manejo de resíduos sólidos.

Essa definição ampla é fundamental para se pensar o planejamento territorial do município de forma integrada com esses serviços de infraestrutura, essenciais no ordenamento do território, almejando uma cidade saudável, que perpassa pela disponibilidade desta rede de infraestrutura, que infelizmente se observa carente no espaço urbano nacional.

Aqui se pode esclarecer que o plano de saneamento deve ser construído e articulado com as diretrizes do PDM, para se pensar em planejamento urbano de forma integrada, visando mudar as condições de falta de acesso a esses serviços, o que acarreta muitos problemas sociais e ecológicos (Antonello, 2020, p. 7).

Ao município compete, no tocante as questões locais de saúde, saneamento, uso da terra e, as questões ambientais de maneira concorrente, sempre em conjunto com o Estado e com o CBH, gestor da sua bacia hidrográfica, a missão de monitorar para manter a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas.

#### 4.2 O plano Diretor Municipal e os Recursos Hídricos Subterrâneos

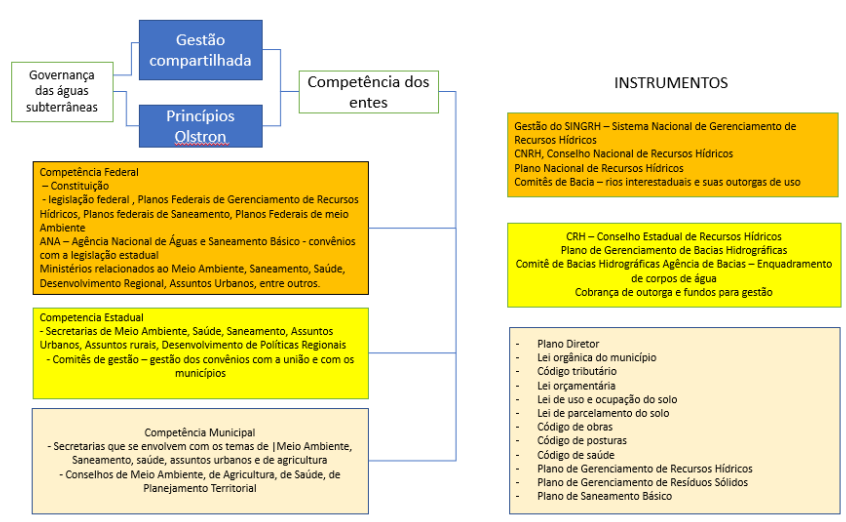
Pode-se observar a inexistência de dados e de informações a respeito dos recursos hídricos, principalmente os que estão subterrâneos. Não se trata de tomar o lugar do Plano de Gestão Hídrica, o que o PDM apresenta é um plano para o desenvolvimento do município, socialmente justo, economicamente viável e equilibrado ecologicamente.

O primeiro problema a ser levado em consideração é a diferença de escala entre as observações do recurso superficial, a bacia hidrográfica, e as águas subterrâneas. O que leva a

entender o alcance dos instrumentos utilizados por cada ente federativo, o âmbito nacional, com suas políticas e legislação, bacias hidrográficas interestaduais e para grandes aquíferos internacionais e a escala regional, com o estado como gestor para as bacias hidrográficas dentro do seu território e para os seus aquíferos, restando ao município o monitoramento da qualidade e quantidade dos seus rios e córregos e dos aquíferos presentes no seu território.

A figura 3, procura deixar claro estas relações e as competências originadas pela legislação.

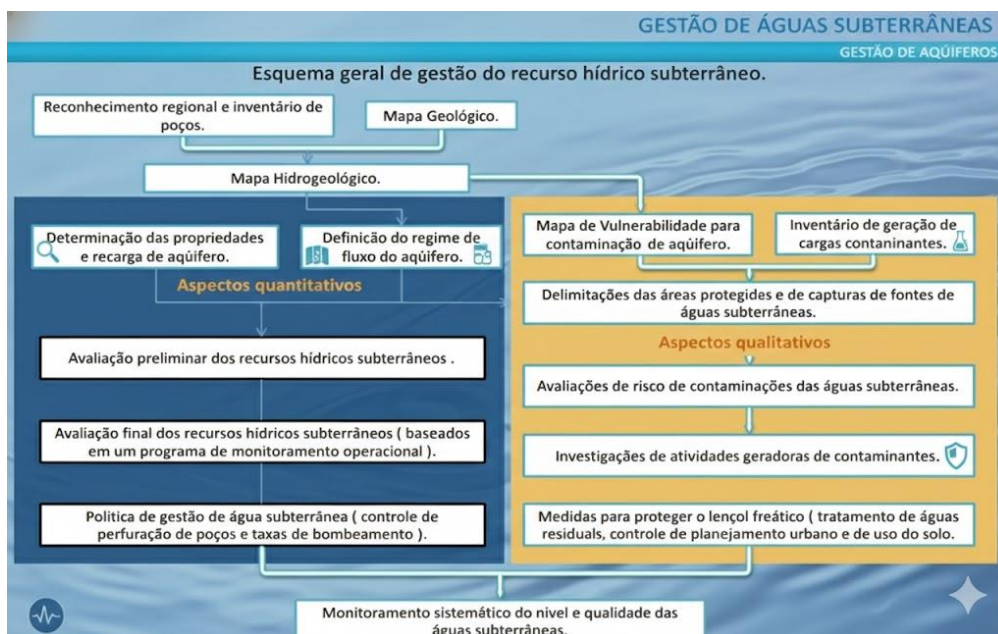
**Figura 3 - Esquema de Governança para as águas subterrâneas.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da relação apresentada na Figura 3 se pode pensar num esquema mais geral deste concerto pelo município (Foster, 2022). Que faz a previsão de alguns estudos que devem estar contidos nos estudos do PDM, envolvendo a análise dos seus aspectos de quantidade e da qualidade.

**Figura 4** - Esquema geral para gestão do recurso hídrico



Fonte: Foster (2022, p. 82).

Na figura 4 resta claro a relação de estudos para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Reconhecimento geológico e hidrogeológico com as definições das características hidráulicas das áreas a ser protegidas e as vulnerabilidades associadas.

A quantidade envolve as propriedades hidráulicas e a determinação das áreas de recarga (no que diz respeito aos volumes envolvidos e as áreas que devem estar reservadas para a proteção) e aos aspectos de qualidade que envolvem a manutenção das propriedades químicas e a sua relação com o uso do solo, ou seja, a característica que lhe confere vulnerabilidade (risco a contaminação).

Na continuação apresenta-se o caso estudado para o município de Maringá.

## 5 Diagnóstico e Estudo de Caso: Maringá-PR

A revisão do PDM de Maringá (2019-2022) estruturou-se em etapas de diagnóstico e proposição, com participação da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

### 5.1 Identificação do Problema (P32)

Durante as oficinas técnicas, identificou-se a "Caracterização e Utilização das Águas Subterrâneas" como um problema crítico (designado P32). A carência de dados sistematizados

sobre o aquífero local foi um entrave inicial, exigindo a integração de informações de diferentes escalas.

O município de Maringá, por meio da lei complementar 1154/2019 e da lei complementar 1.117/2018, que entre outras atribuições confere:

- I - Desenvolver o planejamento urbano e controlar a gestão territorial do Município de Maringá, em especial quanto ao uso e à ocupação do solo e aos planos, projetos e empreendimentos de impacto físico-territorial relevante;
- II - Realizar a revisão do Plano Diretor Municipal, de suas leis complementares e instrumentos de política urbana, bem como coordenar a sua implementação;

A revisão do PDM, que se deu a partir do ano de 2019, ocorreu em duas frentes de trabalho, a saber:

#### Etapa 01 - Mobilização e Proposta Metodológica

Aconteceu com a divulgação e mobilização da revisão do Plano Diretor de Maringá; Com a apresentação, discussão e aprovação da Proposta Metodológica, que foram feitas mediante a realização da 1ª Audiência Pública (29/04/2019) e 2ª Audiências Pública (27/06/2019), bem como reuniões para formação dos grupos.

---

#### Etapa 02 - Análise Temática Integrada ou do Diagnóstico

Composta pelos volumes de Análise Temática Integrada Primeira e Segunda Etapa (início em 28/10/2021), Sistema de Sustentação Adaptada (04/09/2020), Sistema de Controle de Decisões (diagnóstico jurídico, vigência e alterações, em 03/07/2020); Sistema de Atividades Humanas (dinâmica populacional como subsídios a gestão de políticas públicas e desenvolvimento de atividades do setor privado, em 24/06/2020); Sistema de Atividades Produtivas (características institucionais, em 18/06/2020); Sistema de Sustentação Natural (caracterização do meio físico, em 16/06/2020) (IPPLAM, 2021).

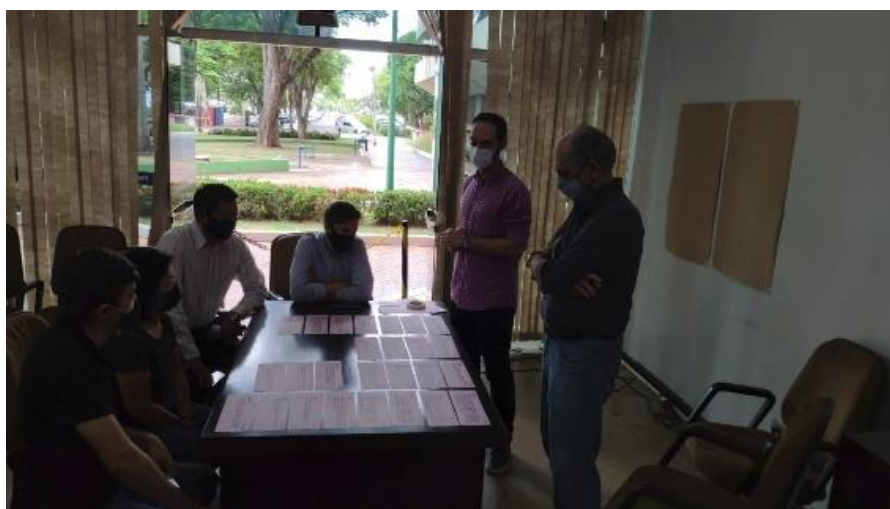
Em todas as reuniões a ABAS- núcleo Paraná esteve presente colocando a discussão o uso das águas subterrâneas pelo município e acentuando a importância da gestão municipal da quantidade e da qualidade.

Em conjunto com a equipe técnica do IPPLAM (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Maringá) foram criados diversos grupos, a seguir:

- Acompanhamento composto por representantes da sociedade civil para a avaliação contínua das atividades e para a leitura comunitária da Revisão do PDM.

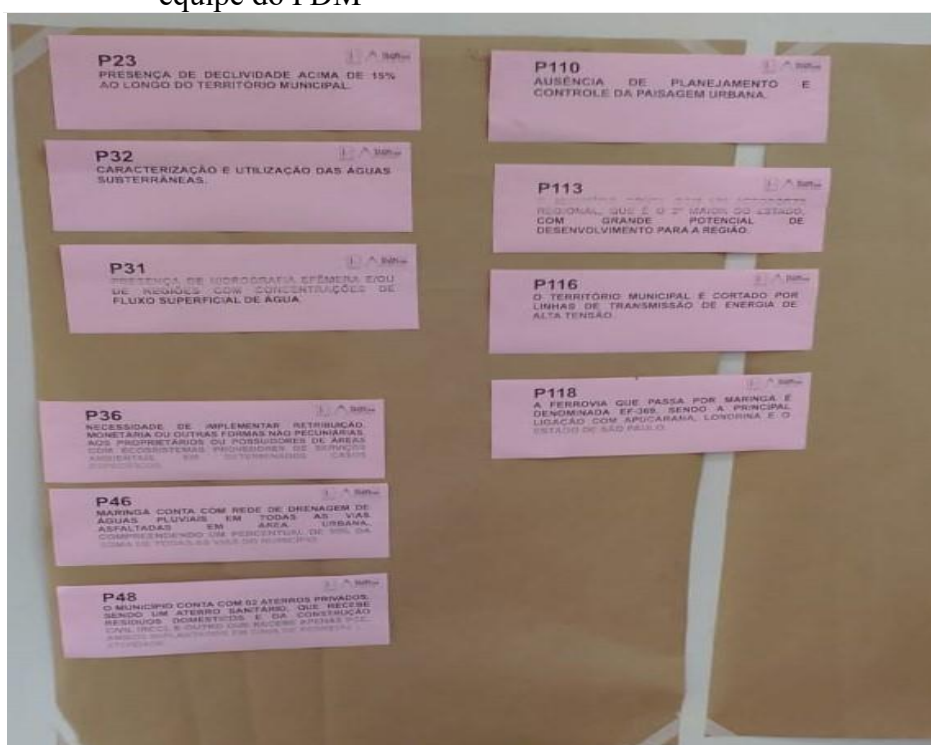
- Cooperação Técnica para as associações profissionais, instituições de Ensino, Conselhos de Classe que queiram colaborar (participação da ABAS). A figura 5 mostra a reunião deste grupo de técnicos que discutia os recursos hídricos (Figura 5) e mural de conclusões (figura 6) que indicava uma melhor caracterização do problema, que era então, chamado de P32.

**Figura 5** - Reunião da equipe de acompanhamento técnico



Fonte: Autor

**Figura 6** - Resultado das discussões -problemas a serem enfrentados pela equipe do PDM



Fonte: Autor

### Etapa 03 - Diretrizes e Propostas para uma Cidade Sustentável

Estas discussões levaram a comunidade os assuntos que mais chamaram a atenção e na reunião de Diretrizes e Propostas chegou a uma indicação para uma política pública de gestão municipal para as águas subterrâneas. As figuras 7 e 8 são produto da reunião e indicaram a preocupação da sociedade com a perfuração de poços tubulares, aliando a citação da fase anterior e restrição da perfuração.

**Figura 7 - Propostas para uma cidade sustentável**



Fonte: Autor

**Figura 8 - Detalhe das propostas a serem desenvolvidas pelo grupo Técnico**



Fonte: Autor

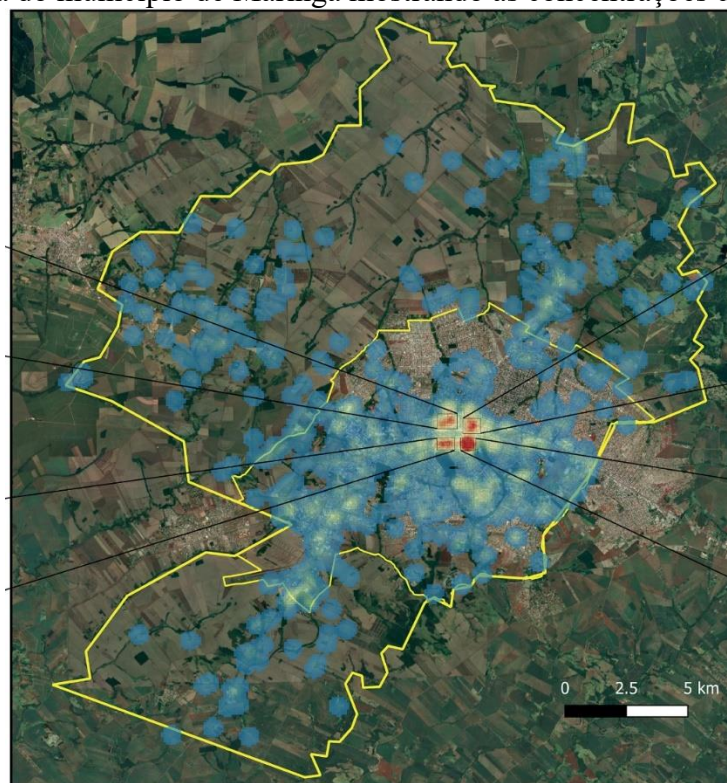
#### Etapa 04 - Legislação e Implementação

Pela legislação o município não pode alterar o domínio das águas subterrâneas (que é do Estado), mas pode licenciar a atividade de perfuração. É uma atividade que interfere no uso do solo, no saneamento e nas condições ambientais locais. A preocupação passa a ser um instrumento de gestão do uso do solo (da saúde dos munícipes, da gestão do saneamento e da política ambiental) do município. Atualmente, na legislação que está sendo discutida pela Câmara de Vereadores, está inserido em cada zona, a preocupação com a preservação e manutenção da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas. O diagnóstico do uso do solo e da quantidade e da qualidade das águas subterrâneas terá que ser levado em conta ao se discutir as políticas de gestão para o município.

#### 5.2 Análise Espacial da Exploração Hídrica

O diagnóstico revelou a existência de mais de 1.500 poços cadastrados (Figura 9), com uma estimativa de que o número real, incluindo os não outorgados, seja significativamente superior. A análise espacial demonstrou uma concentração crítica na zona central da cidade.

**Figura 9** - Mapa do município de Maringá mostrando as concentrações de poços tubulares



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Nesta região, observou-se uma densidade de até quatro poços tubulares por quadra urbana. Este fenômeno é impulsionado, majoritariamente, por condomínios verticais que buscam reduzir custos operacionais (tarifas de água), ignorando os riscos de interferência entre poços, rebaixamento do lençol freático e contaminação cruzada.

Aqui se mostra a área em vermelho, na parte inferior e direita da figura 10.

**Figura 10** - As concentrações dos poços tubulares nas quadras.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 8 se pode observar nos quadros onde a concentração maior se localiza na zona central da cidade e são provenientes de condomínios de residências (prédios) que procuram pagar taxas menores, embora produzam esgoto e águas servidas que devem rumar para o tratamento. Na figura 10 se divisam quadras com até 4 poços tubulares.

Pode-se inferir que existe um flagrante exagero no uso do solo, pois estes prédios originalmente não disponham de projeto da localização destes poços, nem orientação da legislação sobre os critérios de projeto e nem licenciamento da atividade de perfuração. Embora o governo do Estado tenha dado a sua anuência prévia, deve o município orientar as atividades, pois irá existir uma alteração na qualidade e na quantidade do recurso que está sendo abstraído com a introdução de mais uma obra de exploração. Deve haver uma política para a recarga do aquífero.

## 6 Discussão e Proposições

Embora o município não possua competência para emitir outorgas de uso da água (atribuição estadual), ele detém o poder de licenciar a atividade de perfuração enquanto intervenção no solo urbano e obra de engenharia. A perfuração indiscriminada interfere diretamente no saneamento e na saúde pública.

As discussões do PDM culminaram em diretrizes para:

1. **Restrição de novas perfurações** em áreas de alta densidade.
2. **Revisão das leis de aproveitamento** de águas pluviais.
3. **Aumento da taxa de permeabilidade** do solo urbano para favorecer a recarga do aquífero.
4. **Revisão da lei do Código de Obras**, para anexar os critérios de projeto para poços tubulares profundos.
5. **Integração do município as discussões e orientações dos CBH.**

## 7 Conclusões e Recomendações: Rumo à Segurança Hídrica Urbana

A análise do caso de Maringá evidencia que a desconexão entre o planejamento do uso do solo e a gestão hídrica gera vulnerabilidades ambientais severas. Para superar este cenário, é necessário avançar para além do monitoramento básico, incorporando novos conceitos e instrumentos de gestão:

1. **Implementação de Estudos Hidrogeológicos Compulsórios:** Novos empreendimentos de médio e grande porte devem apresentar, no Relatório de Impacto de Vizinhança (RIV), estudos que comprovem a não interferência nos poços vizinhos e a segurança sanitária da captação, em conformidade com as NBRs e futuras leis do Código de Obras Urbano.
2. **Fiscalização Municipal Integrada:** O município deve exercer seu poder de polícia administrativa fiscalizando as obras de engenharia (poços), verificando o cumprimento das normas técnicas e das condicionantes das outorgas estaduais, estabelecendo convênios de cooperação técnica com o Estado.
3. **Conceito de Segurança Hídrica e Resiliência:** A gestão deve adotar o conceito de *Segurança Hídrica*, garantindo não apenas o acesso atual, mas a disponibilidade futura frente a cenários de mudanças climáticas. Isso implica proteger as áreas de recarga identificadas no PDM e gerenciar a demanda, não apenas a oferta.

4. **Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) no Ambiente Urbano:** É fundamental institucionalizar a GIRH no nível municipal. Isso significa que as Secretarias de Planejamento, Meio Ambiente e Saúde devem atuar de forma sinérgica, tratando a água subterrânea, superficial, pluvial e servida como parte de um ciclo único (Ciclo Hidrológico Urbano).
5. **Instrumentos Econômicos e de Comando e Controle:** A "fuga" das tarifas de água pelos condomínios deve ser enfrentada com instrumentos econômicos que internalizem os custos ambientais da extração privada (princípio do usuário-pagador e poluidor-pagador), desestimulando a perfuração predatória onde há rede pública de abastecimento disponível.

Em suma, a sustentabilidade do aquífero urbano depende de uma governança multinível, onde o município, empoderado por dados técnicos e respaldo legal do PDM, atua como guardião da qualidade e quantidade das águas subterrâneas em seu território.

Deve ainda munir-se de profissionais competentes para planejar o melhor uso das águas subterrâneas pelo município (tanto em qualidade, como em quantidade) desenvolvendo uma política ambiental de manutenção e monitoramento, em convênio com o Estado e com o CBH, para os quais deve levar todas as discussões e números para discussão.

## Referências

- ANTONELLO, I. T. Expressão do planejamento urbano no ordenamento do território – o plano diretor municipal de Lisboa. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 113–128, abr. 2020.
- BERNARDINI, S. P. Regulação às avessas? Uma análise sobre a legislação urbanística instituída nos municípios da Região Metropolitana de Campinas entre 1970 e 2006. **Cadernos Metropolitanos**, São Paulo, v. 19, n. 39, p. 609–634, 2017.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BRASIL. **Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000**. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000.
- CARDOSO, A. C. M. **O que é o código de obras?** [2020]. Disponível em: <http://ew7.com.br>, Acesso em: 10 fev. 2023.
- CHEVALIER, J. A governança e o direito. **Revista de Direito Público da Economia**, Belo Horizonte, v. 3, n. 12, p. 129–146, 2005.
- COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teoria, conceitos e métodos de pesquisa. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19-45.

COELHO, S. C. N. O Código tributário nacional, o conceito de tributo e de suas espécies. **Revista da FESDT**, Porto Alegre, n. 5 p. 157-210 jan./jun. 2010. Disponível em: <https://www.fesdt.org.br/docs/revistas/5/artigos/10.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2020.

COELHO, S. C. N. O Código tributário nacional, o conceito de tributo e de suas espécies. **Blog Genjurídico**, 5 jan. 2017. Disponível em <https://blog.grupogen.com.br/juridico/areas-de-interesse/tributario/o-codigo-tributario-nacional-o-conceito-de-tributo-e-de-suas-especies/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

FOSTER, S. *et al.* **Groundwater: quality protection**. Washington. D.C.: The World Bank, 2007. Ver referencia traduzida

FOSTER, S. The key role for groundwater in urban water-supply security. **Journal of Water and Climate Change**, v. 13, n. 10, p. 3566–3577, 1 out. 2022.

FREITAS, D. P.; TAVARES NETO, J. Q. Reflexões acerca da gestão compartilhada entre o setor público e as organizações sociais. **Direitos Sociais e Políticas Públicas**, Bebedouro, n. 3, p. 171-219, 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, New York, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

IPPLAM – INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE MARINGÁ. **Plano diretor do município – 2020**. Maringá: IPPLAM, 2021. Disponível em: <http://www.ipplam.com/plano-diretor>. Acesso em: 20 out. 2021.

MARÓSTICA, L. M. F. **Gestão ambiental municipal sustentável**. Maringá-PR: Clichetec, 2010.

MATUS, Carlos. **Adeus Senhor Presidente: planejamento, antiplanejamento e governo**. Recife: Litteris Editora Ltda, 1989. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/qdownload/adeus-senhor-presidente-pdf-free.html>. Acesso em:

OSTRON, E. Analyzing long-enduring, self organized and self governed CPRS. *In*: OSTRON, E. **Governing the Commons: the evolution of institutions for collective actions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 88-102.

PONTUAL, V. O urbanismo no Recife: entre idéias e representações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Lagoa Nova, n. 2, mar. 2000. DOI: 10.22296/2317-1529.2000n2p89.

TOPALOV, C. Os saberes sobre a cidade: tempos de crise. **Espaço & Debates**, São Paulo, v. XI, n. 34, 1991.

ZANELLO, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 2.ed reimp. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências Administrativas - UFSC, 2013.

## APÊNDICE B - ARTIGO 2 A SER APRESENTADO PARA PUBLICAÇÃO

**Uso e ocupação da terra e proteção de áreas de recarga do aquífero no município de Maringá (PR): implicações para o planejamento urbano e a gestão hídrica****Resumo**

A recarga de aquíferos em áreas urbanas constitui um elemento estratégico para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em municípios assentados sobre sistemas aquíferos fraturados. Este trabalho analisa a relação entre o uso e a ocupação da terra urbana e a recarga do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no município de Maringá, Paraná, com o objetivo de subsidiar a revisão do Plano Diretor Municipal e da legislação de uso do solo. A estimativa da recarga subterrânea foi realizada por meio da separação do escoamento de base utilizando o filtro digital de Eckhardt, aplicado a dados históricos de vazão da bacia do rio Pirapó. Os resultados indicam uma taxa média de recarga de 539,29 mm/ano, correspondente a aproximadamente 34,6% da precipitação anual média. Apesar da elevada capacidade potencial de recarga, a intensa impermeabilização da superfície urbana, frequentemente superior a 90%, reduz significativamente a infiltração efetiva, comprometendo a sustentabilidade hídrica do aquífero. Conclui-se que a incorporação de critérios hidrogeológicos ao planejamento urbano, associada à adoção de estratégias de urbanismo sensível à água, é fundamental para a proteção das áreas de recarga e para a garantia da segurança hídrica do município.

**Palavras-chave:** recarga; uso da terra urbano; sistema aquífero serra geral; planejamento urbano; gestão hídrica.

**Abstract**

Groundwater recharge in urban areas is a strategic component for the sustainable management of water resources, especially in cities located over fractured aquifer systems. This study analyzes the relationship between urban land use and occupation and the recharge of the Serra Geral Aquifer System (SGAS) in the municipality of Maringá, Paraná State, Brazil, aiming to support the revision of the Municipal Master Plan and land-use legislation. Groundwater recharge was estimated through baseflow separation using the Eckhardt digital filter, applied to historical streamflow data from the Pirapó River basin. The results indicate an average recharge rate of 539.29 mm/year, corresponding to approximately 34.6% of the mean annual precipitation. Despite the high potential recharge capacity, the intense urban surface impermeabilization, often exceeding 90%, significantly reduces effective infiltration, compromising aquifer sustainability. The study highlights the need to incorporate hydrogeological criteria into urban planning and to adopt water-sensitive urban design strategies to protect recharge areas and ensure long-term water security.

**Keywords:** groundwater recharge; urban land use; serra geral aquifer system; urban planning; water resources management.

## 1 Introdução

Os recursos hídricos são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social, sendo essenciais à manutenção dos ecossistemas, à conservação da biodiversidade e à garantia da qualidade de vida das populações humanas. A crescente pressão sobre esses recursos, especialmente em áreas urbanas, exige abordagens integradas de gestão que considerem, de forma sistêmica, os processos hidrológicos superficiais e subterrâneos, associados ao uso e ocupação do solo, ao saneamento básico, à saúde pública e ao ordenamento territorial.

A disponibilidade hídrica de um território resulta da interação entre o regime de precipitação, os processos de infiltração e percolação no solo, a dinâmica hidrogeológica dos aquíferos e as formas de ocupação antrópica. Nesse contexto, a bacia hidrográfica constitui a unidade fundamental de planejamento e gestão dos recursos hídricos, conforme preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos.

Entretanto, os mecanismos responsáveis pela recarga aquífera e pelo retorno das águas subterrâneas como fluxo de base nos cursos d'água ainda são frequentemente negligenciados por gestores públicos e planejadores urbanos, o que contribui para conflitos pelo uso da água e para avaliação de processos de superexploração dos aquíferos (Darbandsari *et al.*, 2020; Madani, 2010). A resolução desses conflitos, especialmente em áreas urbanas, demanda uma abordagem sistêmica e multidisciplinar, que priorize o ciclo hidrológico em todas as suas fases de ocorrência no ambiente (Vasconcelos, 2015).

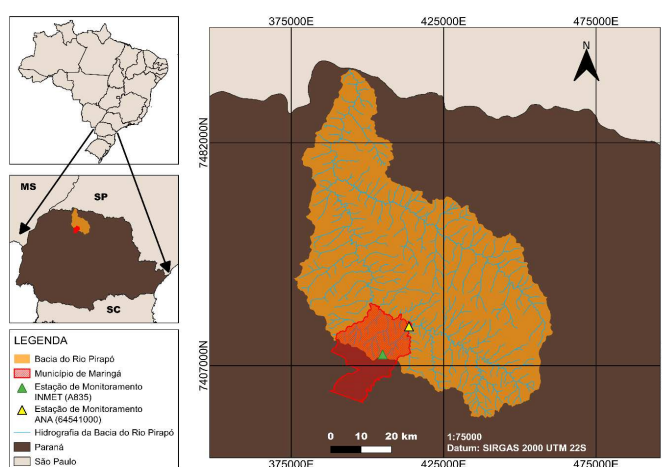
A quantificação da recarga subterrânea constitui elemento-chave para o planejamento integrado dos recursos hídricos. Diversos métodos indiretos têm sido empregados para essa finalidade, como balanço hídrico, monitoramento da variação do nível d'água em aquíferos, uso de traçadores químicos e separação do escoamento de base em bacias hidrográficas (Baum; Mancuso; Fritzen, 2018; Coelho *et al.*, 2015; Healy, 2010). Esses métodos apresentam limitações relacionadas à disponibilidade de dados e às escalas de análise, o que torna o tema um desafio permanente (Melo; Alves; Silva, 2014).

Neste contexto, o presente trabalho discute, de forma interdisciplinar, a relação entre uso da terra urbana e recarga do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no município de Maringá (PR), com o objetivo de subsidiar a revisão do Plano Diretor Municipal e da legislação de uso e ocupação do solo, indicando diretrizes para a proteção das áreas de recarga aquífera.

## 2 Localização e Características da Área de Estudo

O município de Maringá localiza-se na região noroeste do estado do Paraná, entre as bacias hidrográficas dos rios Pirapó e Ivaí (Figura 1). Destaca-se por seu processo de urbanização planejada, iniciado na década de 1940, e por exercer influência regional metropolitana. Segundo o IBGE ([2022]), o município apresentava população estimada de 436.472 habitantes, configurando-se como a terceira maior cidade do estado.

**Figura 1** – Mapa de localização da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A área de estudo situa-se entre as latitudes  $23^{\circ}15'$  e  $23^{\circ}34'$  S e longitudes  $51^{\circ}50'$  e  $52^{\circ}06'$  W, com altitude média de aproximadamente 555 m. O clima apresenta características de transição entre os tipos tropical e subtropical, com maior pluviosidade no verão e primavera e elevada variabilidade interanual, associada a eventos extremos de precipitação (Minaki; Montanher, 2020).

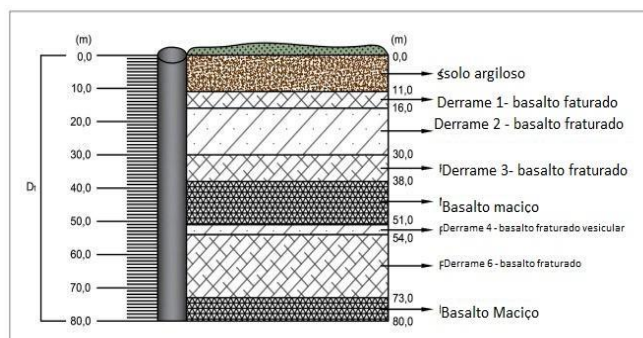
Geologicamente, o município está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná, uma extensa entidade geológica com preenchimento sedimentar-magmático, resultante de intenso vulcanismo fissural durante o Mesozoico. O Grupo Serra Geral, pertencente à Supersequência Gondwana III (RGSG, 2020), é composto predominantemente por derrames basálticos toleíticos, intercalados com rochas ácidas, como riolitos e riodacitos (Hartmann, 2014; Milani; Ramos, 1998). Denominada sequência Jurássico-Eocretácica, situa-se no super grupo São Bento (Wildner, 2004), compreendendo basaltos e basaltos andesitos, toleíticos, contrastantes com os riolitos e riodacitos.

Os seus principais elementos tectônicos são os lineamentos que se interceptam e existem em três grupos relacionados às orientações, a saber, NW-SE, NE-SW e E-W. As feições mais extensas são as direções NW-SE e NE-SW, que são falhas simples reativadas durante o desenvolvimento da bacia (Athayde, 2013; Athayde; Athayde 2015; Scheibe; Hirata, 2008).

Os derrames apresentam estruturas amigdaloidais nos topos e núcleos maciços, com desenvolvimento de juntas verticais e horizontais, além de falhas tectônicas regionais com direções predominantes NW-SE, NE-SW e E-W (Athayde, 2013; Scheibe; Hirata, 2008).

A figura 2 mostra esquematicamente um campo de derrames do tipo “pahoe-pahoe”, com estrutura amigdaloidal e núcleo maciço. A profundidade ainda é possível observar a variação destas estruturas.

**Figura 2** – Subdivisão das camadas do Grupo Serra Geral



Fonte: Peterlini, Pinese e Celligoi (2021).

O desenho acima mostra uma visão bidimensional dos derrames. Do ponto de vista hidrogeológico, o conjunto das formações do Grupo Serra Geral, devido as características litológicas, são um meio aquífero heterogêneo e anisotrópico em que o armazenamento e a circulação da água ocorrem segundo as discontinuidades físicas da rocha (juntas, falhas geológicas e superfícies interderrames) (Rosa Filho *et al.*, 2006).

As zonas vesiculares e amigdaloidais dos topos dos derrames apresentam maior potencial de permeabilidade, especialmente quando associadas a fraturamentos tectônicos regionais (Peterlini; Pinese; Celligoi, 2020, 2021). No entanto, de acordo com (Celligoi; Brito, 1999; Peterlini; Peccinini; Celligoi, 2020, 2021), as suítes vulcânicas possuem características litológicas que as diferem hidrogeologicamente dos demais meios fraturados. Os autores explicam que nos topos de derrames onde se encontram estruturas vesiculares e amigdaloidais, a permeabilidade depende da disposição espacial dos vacúolos, apresentando melhores resultados quando há interconexão de fraturamentos ou falhamentos (estruturas

tectônicas rúpteis regionais), que possibilitam a percolação de água até as diáclases na porção inferior do derrame, que não possuem circulação de água muito efetiva. O elevado potencial do SASG (Sistema Aquífero Serra Geral), está condicionado a fraturas de dois tipos: aquelas relacionadas ao resfriamento nas fases finais de cristalização dos derrames toleíticos e aquelas devido ao fraturamento tectônico/neotectônico.

### 3 Materiais e Métodos

A estimativa da capacidade de recarga subterrânea do Sistema Aquífero Serra Geral foi realizada por meio da separação do escoamento de base, utilizando o filtro digital de Eckhardt (2005), aplicado a dados históricos de vazão em bacia hidrográfica. O método baseia-se na separação do escoamento total em componentes superficial e de base, por meio do parâmetro BFI<sub>max</sub> (Base Flow Index máximo), definido conforme as características geológicas e hidrológicas da bacia.

Este filtro é representado por equação que separa o escoamento de base e possui o parâmetro BFI<sub>max</sub> (índice máximo de escoamento de base), com valores predefinidos de acordo com as características da geologia e da drenagem da bacia hidrográfica. Nesse sentido (Collischonn e Fann, 2012; Mattiuzi *et al.*, 2015) e) elaboraram uma correção matemática baseada na relação entre as vazões  $Q_{90}/Q_{50}$ , com correção de valores.

A estação fluviométrica utilizada foi a da Estação de Tratamento de Água da SANEPAR (código 64541000), localizada na bacia do rio Pirapó.

Foram utilizados dados de vazão, precipitação média anual, delimitação da bacia hidrográfica, área urbana do município e informações geológicas, hidrogeológicas e pedológicas. Os cálculos foram realizados em ambiente Microsoft Excel, e os mapas elaborados no software QGIS 2.18. demonstrados na Figura 3.

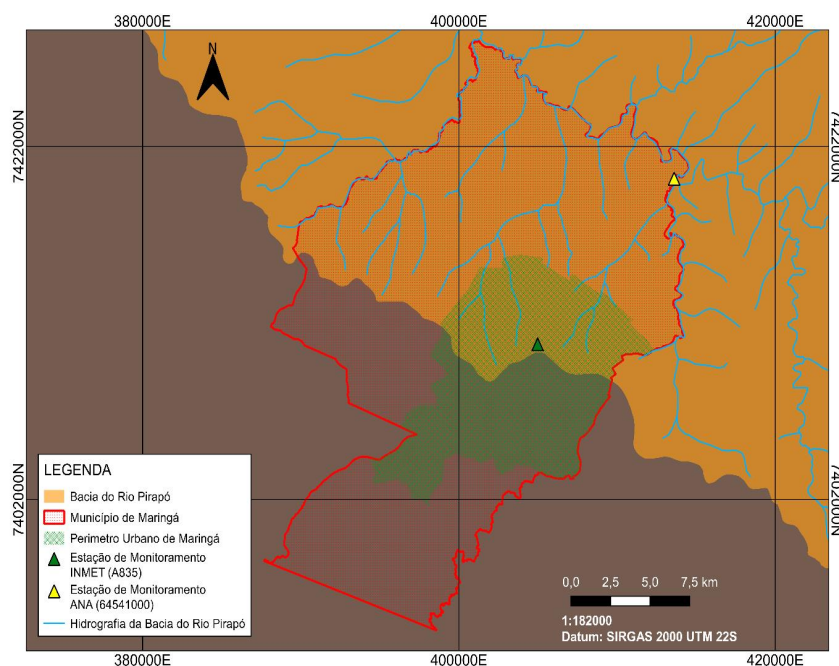
### 4 Dados Hidrológicos

Os dados fluviométricos foram obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), por meio do portal HIDROWEB. A partir da série histórica, calcularam-se as vazões características ( $Q_{máx}$ ,  $Q_{mín}$ ,  $Q_{média}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{50}$ ) e definiu-se o período de recessão do hidrograma, com o cálculo da constante de período “K” e a constante de recessão “a”. Tomou-se o valor BFI<sub>max</sub>, a vazão de base pelo filtro de Eckhardt e os valores médios da

vazão de base para cada estação fluviométrica que serão utilizados na taxa de recarga do aquífero.

O exutório adotado corresponde ao limite municipal na bacia do rio Pirapó, considerando que Maringá se encontra em duas bacias hidrográficas distintas (Figura 3).

**Figura 3** – Relação entre a bacia do rio Pirapó, o município de Maringá e o posto fluviométrico



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 Resultados e Discussão

A aplicação do filtro de Eckhardt permitiu a separação do escoamento de base e a estimativa da recarga subterrânea média anual. Os dados básicos utilizados nos cálculos estão apresentados no Quadro 1, enquanto os parâmetros hidrológicos e os resultados da separação do escoamento encontram-se nos Quadros 2 a 5, bem como os parâmetros hidrológicos e os resultados da separação do escoamento encontram-se nos Quadros 2 a 5.

**Quadro 1** - Apresentação dos dados básicos regionais para os cálculos da recarga.

código	Precipitação (mm/ano)	Área urbana do município – IBGE (km <sup>2</sup> )	Área Bacia do Pirapó no município (km <sup>2</sup> )	Área urbana na bacia do Pirapó (km <sup>2</sup> )
A850	1556,7	487,012	274,383	58,942

Fonte: Elaborado pelo autor.

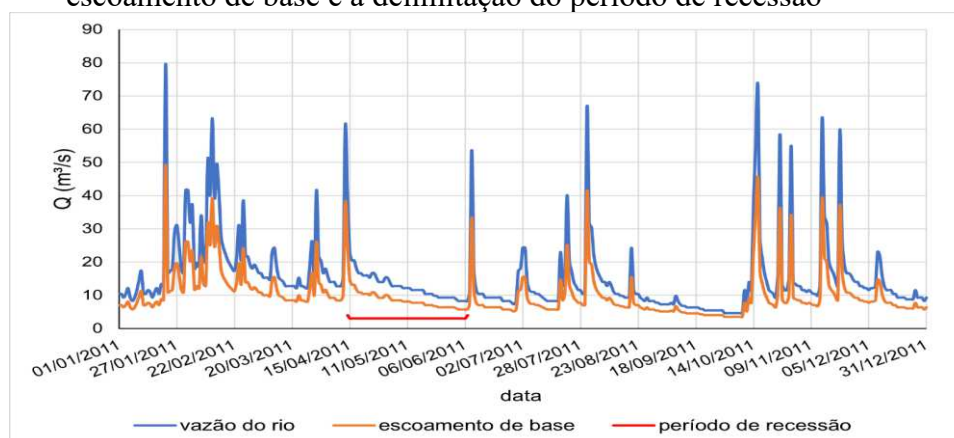
No quadro 2, os cálculos de vazão e dos parâmetros necessários para a aplicação do filtro, a constante do período “k” e a constante de recessão “a”. Este quadro apresenta os valores obtidos pela utilização das fórmulas apresentadas. Após a aplicação tomou-se os cálculos das vazões médias de base. Foram retiradas as vazões máximas, mínimas e médias, Q90, Q50, pelos dados do portal HIDROWEB.

**Quadro 2** - apresentação dos dados utilizados para os cálculos, em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Vazão máxima	Vazão mínima	Vazão média	Q90	Q50
250,365	2,683	16,677	6,075	11,272

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da figura 3, seguiu-se a análise dos períodos de recessão obtidos através do sítio eletrônico da ANA. Observar que em azul se pode ver a vazão do rio Pirapó, nota-se o escoamento de base e, em vermelho o período de análise escolhido para os cálculos da recarga.

**Figura 3** - Gráfico obtido através do portal Hidroweb envolvendo as vazões do rio Pirapó, o escoamento de base e a delimitação do período de recessão

Fonte: ANA (2024).

O período de recessão foi estipulado como mostrado no quadro 3 (período de recessão) por registrar um período de depleção das águas superficiais mais homogêneo.

**Quadro 3** - Estabelecimento do período de recessão

recessão	início	fim
	14/04/2011	07/06/2011

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram calculados os valores de “k” e “a”, o valor de  $BFI_{max}$ , juntamente com os dados do filtro de Eckhardt, para a separação do escoamento de base. Como o apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4** - Cálculos dos valores

K	a	$Q_{media}$	$Q_{base\ média}$	B	A	bi	BFI	$BFI_{max}$
78,389	0,211	16,677	10,850	0,61	0,082	6,845	0,665	0,664

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, calculou-se a taxa de recarga, a evapotranspiração e as porcentagens de recarga ( $TR/PeFe$ ), onde  $PeFe$  (precipitação efetiva é a precipitação total subtraída a evapotranspiração).

**Quadro 5** - Síntese da dados coletados e calculados

Precipitação (mm/ano)	Et (mm/ano)	$P - Et$	CE ( $Q_{med}/P_{med}$ )	TR (mm/ano)	Recarga (% PLU)	Recarga ( $PeFe$ )	A ( $km^2$ )
1556,7	1160,346	396,354	0,255	539,29	34,6	396,0	60,774

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Grupo Serra Geral, como se pode observar na figura 2, exibe em sua totalidade um arcabouço muito pouco permeável, que pela área calculada mostrou uma taxa de recarga de 539,29 mm/ano, a recarga pela pluviosidade corresponde a 34.6%. A diferença entre a pluviosidade e a evapotranspiração mostra 396,0 mm/ano. Este valor está relacionado a infiltração no aquífero, e deve aumentar nas áreas lindeiras aos falhamentos e áreas fraturadas

Quando se observa o solo, eis a caixa d'água, o tanque pulmão da infiltração de água para o aquífero, os solos argilosos, apesar de apresentar a granulometria fina, se mostram em

pequenos blocos, que os tornam muito percoláveis pela água da chuva. Este elemento é o responsável pelas taxas de recarga existentes.

Apesar de o Grupo Serra Geral apresentar, em escala regional, baixa permeabilidade primária, a presença de solos argilosos estruturados, como latossolos e nitossolos, favorece a percolação da água da chuva. Ensaio de infiltração realizados por Marcatto *et al.* (2015) e Marcatto e Silveira (2016) demonstram elevadas taxas de percolação, associadas à alta porosidade desses solos.

No entanto, em áreas urbanizadas, a elevada impermeabilização superficial — frequentemente superior a 90% — reduz drasticamente a infiltração e compromete a recarga do aquífero. Esse processo é agravado pela compactação do solo, remoção da vegetação nativa e instalação de infraestruturas subterrâneas (Garotti; Barbassa, 2010; Seraphim; Bezerra, 2019).

Marcatto *et al.* (2015) e Marcatto e Silveira, (2016), num teste de percolação, com infiltrômetro de cilindros concêntricos obtiveram densidade do solo  $1,21 \text{ g.cm}^{-3}$  e porosidade de 59% para o latossolo vermelho argiloso e para o nitossolo vermelho, uma densidade de  $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$  e porosidade total de 55%, observando-se boas condições de percolação da água. Quanto ao comportamento hídrico, o latossolo vermelho apresentou uma velocidade média de percolação de 1200 mm/hora e o nitossolo vermelho, uma média de 730 mm/hora.

Com isso o latossolo é capaz de absorver até 900 mm em 32 minutos, com um tempo maior a água passara a escoar pela superfície. O nitossolo apresenta uma capacidade de 500 mm, nos primeiros 34 minutos. Um exemplo deste solo pode ser observado na figura 4.

**Figura 4** - Latossolo onde se verifica pequenos blocos por onde a água percola



**Fonte:** Santos, Santos e Santos (2021).

## 6 Conclusões

Os resultados obtidos evidenciam que a recarga do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Maringá está fortemente condicionada ao regime de precipitação, às características pedológicas e, sobretudo, às formas de uso e ocupação da terra urbana. Embora o aquífero apresente uma capacidade potencial de recarga estimada em 539,29 mm/ano, a intensa impermeabilização da superfície urbana reduz significativamente a infiltração efetiva, comprometendo a sustentabilidade hídrica do sistema.

A superexploração do aquífero, evidenciada pelo elevado número de poços tubulares outorgados, associada à insuficiência de áreas permeáveis, indica tendência de rebaixamento do nível piezométrico, com riscos à disponibilidade futura de água subterrânea. Esse cenário reforça a necessidade de incorporar critérios hidrogeológicos ao planejamento urbano, especialmente na revisão do Plano Diretor Municipal e da legislação de uso do solo.

Os cálculos apresentados são relacionados a áreas abertas, sem anteparos, sem fundações, escavações, tuneis, encanamentos de distribuição de água, de coleta de esgotos, de garagens subterrâneas, entre várias outras intervenções (Mendonça, 2009). Os urbanistas consideram quase 90% da área urbana como impermeável. É esta a complexidade que se mostra no meio urbano, onde os equipamentos da cidade diminuem sensivelmente as taxas de recarga.

Para áreas urbanas, com maiores dificuldades pela instalação de equipamentos e uma grande quantidade de poços bastante próximos, este cálculo se torna difícil, mas é de grande importância para a prática do controle da qualidade e da quantidade das águas subterrâneas e as consequentes medidas de mitigação e monitoramento (Wahnfried; Hirata, 2005; White *et al.*, 2016).

Para áreas urbanas é usada uma estimativa de área impermeabilizada que leva em consideração a área total da bacia, (impermeabilização efetiva) que é caracterizada através dos índices urbanísticos apresentados no plano diretor, como o coeficiente de escoamento superficial, que é relativo ao tipo de uso do solo e ao número de lotes e suas taxas de ocupação e a sua subdivisão pela lei de uso do solo. Para a cidade de Ribeirão Preto (substrato no Grupo Serra Geral) a menor taxa de impermeabilização é maior que 70%, para áreas consideradas mistas a impermeabilização é de 99,7% e para as verticalizadas de 92,5%. Como conclusão óbvia não existe contribuição da permeabilidade do solo, através da percolação da umidade, não havendo infiltração e consequente recarga no aquífero.

O aumento significativo do uso e exploração é explicado pelos fatores econômicos (custo baixo), fatores tecnológicos (conhecimento científico, controle e equipamentos), de

segurança (enfrentamento da variabilidade da precipitação) e, por fim, institucional (exploração muito fácil de ser realizada, chegando a abastecer vários usuários, indústrias, entre outros).

Pelos dados apresentados no estudo observa-se que o aquífero tem uma capacidade de recarga 539,29 mm/ano e a absorção das águas de chuva ocorre nos primeiros 30 minutos (uma média como referência) e é de 500 a 900 mm, que vai acarretar, após este período, o escoamento superficial, condicionando enchentes.

Seraphim e Bezerra, (2019) descreve as principais alterações no solo da cidade como, compactação do solo (que interfere na taxa de absorção), remoção da camada arbórea nativa (que altera a taxa de percolação e a infiltração) e o aparecimento de superfícies impermeáveis (a urbanização propriamente dita, que mostra índices de até 90% de impermeabilização) (Garotti; Barbassa, 2010; Santos, 2017). Por outro lado, a retirada da vegetação e sua substituição por gramíneas gerou uma diminuição da ordem de 30 vezes para taxa de percolação (Oliveira *et al.*, 2019).

Cada alteração observada pode ser considerada como um elemento que modifica a percolação, a infiltração e a taxa de recarga na aquífero. Os principais desafios são (Seraphim; Bezerra, 2019):

- Definição de áreas passíveis para a urbanização em bacias hidrográficas e que leve em consideração a recarga do aquífero subjacente;
- Revisão dos padrões de ocupação do solo para reduzir a infiltração natural e potencializar a implantação de infraestrutura para reforçar o comportamento natural da água.

A adoção de estratégias de planejamento urbano sensível à água, baseadas em soluções de baixo impacto (LID), sistemas de drenagem sustentável (SUDS) e infraestrutura verde, mostra-se fundamental para a proteção das áreas de recarga do aquífero. Tais medidas contribuem para a manutenção do ciclo hidrológico, a mitigação de impactos ambientais e a garantia da segurança hídrica em médio e longo prazo.

Assim, a integração entre gestão urbana, organização territorial e conhecimento hidrogeológico constitui um elemento estratégico para a sustentabilidade das cidades assentadas sobre aquíferos fraturados, como o Sistema Aquífero Serra Geral. A recarga deve ser tratada como variável territorial e não apenas com fenômeno hidrológico.

E, por fim, e não menos importante, os planos diretores não podem mais negligenciar o comportamento hidrogeológico do uso da terra e do aquífero.

Os mapas com as áreas de recarga e de vulnerabilidade do aquífero podem orientar zoneamentos urbanos diferenciados e subsidiar índices urbanísticos, tais como, taxa de ocupação, permeabilidade mínima e apoiar áreas prioritárias para estabelecimento de infraestrutura verde.

O meio urbano tem em conta que a superfície impermeabilizada é de 90%, ou melhor, apresenta somente 10% da área para percolação, chegando à infiltração para o aquífero somente uma pequena parte, visto que as diferenças de velocidade são enormes. Para o caso de Maringá, que está calculado para 539,29 mm/ano, somente infiltram 53,9 mm/ano. O município tem mais de 1000 poços tubulares outorgados para uso, ou seja, não existe recarga suficiente para a alimentação do aquífero.

O que, infelizmente não é o necessário para renovar a quantidade de água retirada do aquífero Serra Geral. Existe uma superexploração do aquífero Serra Geral e a sua tendência é de rebaixamento do nível piezométrico, até, num caso extremo secar.

Assim, o subsídio das informações hidrogeológicas, regime hidrológico e ocupação da terra utilizada pela cidade, podem auxiliar o desenvolvimento de novas políticas para o desenvolvimento do uso da terra da cidade, pois as áreas de recarga dos aquíferos levam a infraestruturas multifuncionais, as técnicas de LID – Low Impact Development, (Achieving Sustainable Site Design through Low Impact Development Practices; WBDG - Whole Building Design Guide, n.d.); WSUD – Water Sustainable Urban Design (Demiroğlu; Çoban; Cengiz, 2016); SDS (Domingos; Hige; Valentin, 2016) – Sustainable Drainage System Sponge Cities, (“Creating sponge cities with nature-based solutions - GrowGreen”). É esse novo olhar que se propõem ao planejador urbano de Maringá.

A recarga do aquífero é um serviço ecossistêmico urbano e deve ser regulado como tal.

## Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12267**: Normas para elaboração do Plano Diretor. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ALIEVI, A. A. **A bacia hidrográfica enquanto recorte espacial e analítico em geografia da saúde**: hidrogeoquímica e saúde coletiva. 2017. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024**: informe anual. Brasília: ANA, 2024.

ATHAYDE, G. B. **Compartimentação Hidroestrutural do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) no Estado do Paraná, Brasil**. 2013. 161 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

- ATHAYDE, G. B.; ATHAYDE, C. V. M. Hidrogeologia do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 315-333, 2015.
- BARBOSA, L. G.; GONÇALVES, D. L. A paisagem em geografia: diferentes escolas e abordagens. **Revista de Geografia Da UEG**, Porangatu, v. 3, n. 2, p. 92-110, jul./dez. 2014.
- BAUM, C. A.; MANCUSO, M. A.; FRITZEN, R. R. Aplicação do método WTF no estudo da variabilidade da recarga em aquífero urbano. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 85-98, abr. 2018.
- BERTALANFFY, L. V. **General system theory: foundation, development, application**. New York: G. Braziller, 1973.
- BERTRAND, G. Paisagens e geografia global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-17, 1971.
- BOHN, N. *et al.* Governança da água subterrânea: um estudo de caso em Goiás, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2012, Bonito. **Anais [...]**. Bonito: ABAS, 2012.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 10 jan. 2024.
- BRASIL. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm). Acesso em: 20 jan. 2024.
- CAPRA, F. **A teia da vida**. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CELLIGOI, A.; BRITO, C. M. Utilização de critérios hidrogeológicos para captação de água subterrânea em Iguaraçu, Estado do Paraná. **Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 83-90, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. Significância da teoria de sistemas na geografia física. **Boletim de Geografia Teorética**, São Paulo, v. 16-17, p. 31-34, 1987.
- COELHO, G. *et al.* Relação entre o escoamento de base e os diferentes sistemas hidrogeológicos do estado de Minas Gerais. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 257-267, 2015.
- COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: teoria, conceitos e métodos de pesquisa. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 19-45.
- COLLISCHONN, W.; FANN, F. M. Defining parameters for Eckhardt's digital base flow filters, **Hydrological Processes**, Chichester, v. 27, n. 18; p. 2614-2622, 2012
- CUSTODIO, E. Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 115, p. 283-288, 2004.

- D'AVILA, R. A.; GOMEZ, H. L. Importância de la hidrogeologia urbana: ciencia clave para el desarrollo urbano sostenible. **Boletín Geológico y Minero**, Madrid, v. 63, n. 3, p. 463–477, 2011.
- DARBANDSARI, P. *et al.* An agent-based conflict resolution model for urban water resources management. **Sustainable Cities and Society**, Amsterdam, v. 57, p. 1–22, jun. 2020.
- DEMIROĞLU, D.; ÇOBAN, A.; CENGİZ, A. E. Sustainable use of water in urban design. **Hacettepe Journal of Biology and Chemistry**, London, v. 44, n. 2, p. 193–203, 2016.
- DOMINGOS, A.; HIGA, C.; VALENTIN, M. Sistema de drenagem sustentável e especificações técnicas de seus elementos: desenvolvimento de módulo experimental, *In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA*, 11., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2016.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for base flow separation. **Hydrological Process**, Chichester, v. 19, p. 507–515, 2005.
- GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 19–28, 2010.
- GOMES, R. D.; VITTE, A. C. O geossistema pela complexidade: uma releitura das esferas geográficas. **Revista de Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 35, p. 15-27, 2018.
- HAKEN, H. Synergetis-an interdisciplinary approach to phenomena self-organization, **Geoforum**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 205-211, 1985.
- HARTMANN, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o cretáceo até o recente. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 173–182, 2014.
- HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Sistema de Informações hidrológicas**. Curitiba: IAT, [2021]. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- IBGE. **Indicadores cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, [2022]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- JAPIASSÚ, H.; MARCONDES, D. **Dicionário básico de filosofia**. São Paulo: Zahar, 2001.
- KIRK, T. **Na introduction to zoning and land use planning**. Sandy, UT: Think Architecture, July 2020. Disponível em: What's the Difference Between Zoning & Land Use Planning. Acesso em: 10 jan. 2024.
- LEITÃO, R. I. M. N. **Sustentabilidade na gestão do ciclo urbano da água: simulação e análise de cenários**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Coimbra, 2014. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/38456>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MADANI, K. Game theory and water resources. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 381, n. 3–4, p. 225–238, 2010.

MARCATTO, F. S. *et al.* Permeabilidade dos solos no campus sede da Universidade Estadual de Maringá-PR: Subsídios para a implantação de sistemas de drenagem sustentável. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 3, n. 20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17271/2318847232020151057>.

MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 6, p. 1769-1783, 2016.

MARÓSTICA, L. M. F. **Gestão ambiental municipal sustentável**. Maringá-PR: Clichetec, 2010.

MATTIUZI, C. D. P. *et al.* Estimativa de recarga subterrânea a partir da separação de escoamento da base na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (América do Sul). **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 29, n. 3, p. 285–300, 2015.

MELO, J. G.; ALVES, R. S.; SILVA, J. G. Estimativa de recarga de águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras, na bacia do rio Pirangi - RN. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 28, n. 2, p. 68–81, 2014.

MENDONÇA, F. Geografia, geografia física e meio ambiente: uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da Anpege**, Salvador, v. 5, n. 5, p. 123-134, 2009.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-ocidental do gondwana e os ciclos de subsidência da bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473–484, 1998.

MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Variáveis climáticas e os registros de incêndios em Maringá - PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 518–538, 2020.

MONTEIRO, C. A. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

NEVES, C. E. *et al.* A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 271-285, 2014.

OLIVEIRA, A. N. *et al.* Padrões urbanos facilitadores de recarga de aquíferos. **Revista de Morfologia Urbana**, Porto, v. 7, n. 2, p. e00117, 2019.

OLIVEIRA, C. S.; MARQUES NETO, R. Gênese da teoria dos geossistemas: uma discussão comparativa das escolas russas, soviéticas e francesa. **Revista Ra'e Ga**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 6 -20, jul. 2020.

PETERLINI, G.; PINESE, J. P.; CELLIGOI, A. Fatores geológicos e pedológicos que influenciam na produtividade hídrica do sistema aquífero Serra Geral (SASG) na região norte do Estado do Paraná. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 78, p. 173-191, 2020.

- PETERLINI, G.; PINESE, J. P.; CELLIGOI, A. Proposed method for the evaluation of water productivity in fractured aquifers. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 602, p. 126754, Nov. 2021.
- PONTUAL, V. O urbanismo no Recife: entre idéias e representações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Lagoa Nova, n. 2, mar. 2000. DOI: 10.22296/2317-1529.2000n2p89.
- RGSG - REDE GUARANI/SERRA GERAL. **Blocos hidrogeológicos, vulnerabilidade natural e risco à contaminação do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2020. 155p. il. mapas. Nota Técnica. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/id/d87bdd1b-b1d8-4ab8-915a-819e13ccc2d2/vulnerabilidade\\_natural\\_e%20risco\\_a\\_contaminacao\\_saig\\_sg\\_rev463.pdf](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/id/d87bdd1b-b1d8-4ab8-915a-819e13ccc2d2/vulnerabilidade_natural_e%20risco_a_contaminacao_saig_sg_rev463.pdf). Acesso em: 1 mar. 2024.
- ROSA FILHO, E. F. *et al.* A importância do Sistema Aquífero Serra Geral para a cultura da soja no Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 20, p. 49–55, 2006.
- ROSS, J. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
- SANTOS, A. A. **Bacia hidrográfica enquanto recorte espacial a analítico em geografia da saúde: hidrogeoquímica e saúde coletiva na bacia do rio Pirapó-PR**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.
- SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: reflexão sobre impacto ambiental. **Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 7, n. 1, p. 10, 23 jun. 2021.
- SCHEIBE, L. F.; HIRATA, R. O contexto tectônico dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, 2008. Suplemento Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- SERAPHIM, A. P. A. C. C.; BEZERRA, M. C. L. Cidade e água: relações entre tipologias de ocupação urbana e recarga de aquíferos. **Cuadernos de Investigación Urbanística**, Madrid, n. 126, 2019. Disponível em: <https://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/4369>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- SOTCHAVA, V. O estudo do geossistema. *In*: ROMARIZ, D. A. **Métodos em questão: o estudo de geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia, 1977.
- TROPPEMAIR, H. Geografia física e a dinâmica da paisagem brasileira. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA – SBGFA, 12., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: GEOUSP, 2007.
- TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. Geossistemas. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 5, p. 79-89, 2006.
- VASCONCELOS, V. V. Recarga de aquíferos: subsídios à gestão hídrica e ambiental - Bacia Do Rio Paracatu (Sf7). **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 1, 2015.
- VILLAR, P. C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani: o caso do município de Ribeirão Preto**, São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Perímetro de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos. **Revista Águas Subterrâneas**, Natal, 2005. Suplemento Anais dos XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste.

WHITE, E. K. *et al.* Can we manage groundwater? A method to determine the quantitative testability of groundwater management plans. **Water Resources Research**, Washington, v. 52, n. 6. p. 4863-4882, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015WR018474>.

WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná—Conceitos básicos e divisão faciológica. *In*: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA, 2004, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: SBG, 2004.

**ANEXO**

# ANEXO 1 – PROPOSTA DE LEI APRESENTADA A CÂMARA LEGISLATIVA DE MARINGÁ



CÂMARA MUNICIPAL DE MARINGÁ  
Avenida Papa João XXIII, 239 - CEP 87010-260 - Maringá - PR - <http://www.cmm.maringa.pr.gov.br>

## PROJETO DE LEI Nº 17096/2024

A Câmara Municipal de Maringá, Estado do Paraná,

**APROVA:**

**Dispõe sobre a criação do Programa Municipal de Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas e Segurança Hídrica do Município de Maringá e dá outras providências.**

**Art. 1.º** O Chefe do Poder Executivo Municipal instituirá o **Programa Municipal de Gestão Sustentável de Águas Subterrâneas e Segurança Hídrica do Município de Maringá - PMAS**, com o objetivo de promover o reconhecimento, a proteção e a gestão sustentável dos aquíferos no Município.

**Art. 2.º** O PMAS compreenderá as seguintes ações:

I - caracterização hidráulica e hidroquímica dos aquíferos, por meio de estudos de hidrogeologia urbana e regional;

II - desenvolvimento de critérios para o cálculo da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, considerando as atividades humanas na superfície;

III - elaboração de um prognóstico para orientar o planejamento do uso das águas subterrâneas e prevenir contaminações;

IV - fixação de padrões para monitorar e avaliar alterações na qualidade das águas subterrâneas, em complementação às normas federais e estaduais existentes;

V - definição de normas técnicas para enquadrar obras de perfuração de poços de acordo com as características hidráulicas e hidroquímicas dos aquíferos;

VI - estabelecimento de indicadores de desempenho para avaliar a eficácia das ações implementadas pelo PMAS.

**Art. 3.º** O PMAS será coordenado pelo órgão municipal de meio ambiente, que promoverá a cooperação com órgãos estaduais, federais, universidades e demais partes interessadas para garantir o cumprimento dos objetivos desta Lei.

**Art. 4.º** Para a aprovação do PMAS será necessário:

I - consulta pública, com prazo mínimo de 30 (trinta) dias, disponibilizada em sítio eletrônico acessível a toda sociedade, assegurando a possibilidade de questionamentos e o dever de respostas;

II - realização de audiência pública, após 30 (trinta) dias do encerramento da consulta pública, em local de fácil acesso, com transmissão em tempo real pela *internet*.

**Parágrafo único.** O PMAS será publicado através de resolução emitida pelo Conselho Municipal de Meio Ambiente.

**Art. 5.º** Os recursos necessários para a implementação do PMAS serão provenientes do orçamento municipal, complementados por parcerias com instituições públicas, privadas e organizações internacionais.

**Art. 6.º** O PMAS deverá ser revisado a cada 5 (cinco) anos, com a apresentação de relatórios técnicos detalhando os avanços obtidos e propondo ajustes necessários com base nos indicadores estabelecidos.

**Art. 7.º** Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

**Plenário Vereador Ulisses Bruder**, 09 de dezembro de 2024.

**URSO**  
**Vereador-Autor**



Documento assinado eletronicamente por **Chrystian Ronaldo Silva, Vereador**, em 09/12/2024, às 17:08, conforme Lei Municipal 9.730/2014.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.cmm.pr.gov.br/verifica> informando o código verificador **0362640** e o código CRC **E0AE5BC3**.