

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO RURAL

PRODUTO 4 – DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO RURAL



**Município de Pindamonhangaba - SP
2025**



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

PREFEITURA MUNICIPAL DE PINDAMONHANGABA - SP

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO RURAL

PRODUTO 4 – DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO RURAL

EMPRESA LÍDER ENGENHARIA E GESTÃO DE CIDADES LTDA

RICARDO PIORINO

PREFEITO

EMPRESA DE PLANEJAMENTO CONTRATADA



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

EMPRESA LÍDER ENGENHARIA E GESTÃO DE CIDADES LTDA

CNPJ: 23.146.943/0001-22
Avenida Antônio Diederichsen, nº 400 – sala 210.
CEP 14020-250 – Ribeirão Preto/SP
www.liderengenharia.eng.br

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Coordenador Geral
Osmani Jurandyr Vicente Junior
Arquiteto e Urbanista
CAU A23196-7

Rafael Remoto Menezes
Engenheiro Ambiental
CREA/SP 5063887557

Coordenador Técnico
Juliano Maurício da Silva
Engenheiro Civil
CREA/SP 5070401265

Pedro Henrique Vicente
Engenheiro Civil
CREA/SP 5070395829

Marcelo Monte Carlo Silva Fonseca
Engenheiro Civil / Engenheiro Sanitarista
e Ambiental
CREA/SC 092114-9

Paula Evaristo dos Reis Ferraz de Barros
Advogada
OAB/MG 107935

Robson Ricardo Resende
Engenheiro Sanitarista e Ambiental
CREA/SP 5069666179

Fábio Viana de Abreu
Advogado
OAB/RJ 142233

Solange Passos Genaro
Serviço Social
CRESS/PR 6676

Ana Maria Carrascosa do Amaral
Engenheira Ambiental
CREA/SP 5063887999

Larissa de Souza Correia
Engenheira Cartógrafa
CREA/PR 119410

Bruno Mineli Macêdo
Engenheiro Sanitarista e Ambiental
CREA/SP 5071436434

Carmen Cecília Marques Minardi de Oliveira
Economista
CORECON 36716

Robert Caetano da Silva
Engenheiro Sanitarista e Ambiental
CREA/BA 052102706-3

COMITÊ EXECUTIVO

Maria Eduarda San Martins
Secretaria de Meio Ambiente

Rafael Lamana
Secretaria de Desenvolvimento Rural Sustentável e Clima

Paulo Ricardo Nicolas Imparato

Mauro Muassab Junior
Secretaria de Obras e Planejamento

Marcela Franco Moreira Dias

André Cesar Forgati
Secretaria de Governo e Serviços Públicos

Thiago Gonçalves

Nilton Carlos Eugênio
Secretaria de Saúde

GRUPO TÉCNICO DE ACOMPANHAMENTO

Representando a Departamento de Licenciamento e Fiscalização Ambiental.

Titular: Marcelo Durci Rodrigues.

Suplente: Sílvia Vieira Mendes Pires.

Representando a Secretaria de Desenvolvimento Rural Sustentável e Clima.

Titular: Elisa Arai Sato;

Suplente: Jamile Duarte Irias.

Representando o Sindicato Rural de Pindamonhangaba.

Titular: Carlos Máximo Moura Marcondes Junior.

Suplente: Claudio Salgado de Macedo.

Representando a Associação do Profissionais de Engenharia, Arquitetura e
Agronomia de Pindamonhangaba.

Titular: Jussara Carmo dos Santos Moreira.

Suplente: Luciano Alves de Araújo

Representando o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente.

Titular: Walmir Medeiros

Suplente: Maria José Mendes

Representando a empresa Líder Engenharia e Gestão de Cidades Ltda.

Titular: Henrique Moraes Kruger

Suplente: Guilherme Ribeiro Nogueira

Representando a Secretaria de Saúde

Titular: André Marcos Pereira

Suplente: Marcia Maria Cabral Wakasugi

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	15
INTRODUÇÃO	16
1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL	18
1.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	19
1.1.1 Identificação de Mananciais para Abastecimento	20
1.1.2 Mananciais Subterrâneos	23
1.1.3 Regulação de Uso dos Recursos Hídricos	25
1.1.4 Segurança Hídrica	30
1.1.5 Descrição dos Sistemas de Abastecimento de Águas Atuais	31
1.1.6 Poços Rasos	33
1.1.7 Poços Profundos	36
1.1.8 Nascentes ou Minas	40
1.1.9 Represas ou Riachos	42
1.1.10 Reservatório de água da chuva	43
1.1.11 Panorama da Situação Atual dos Sistemas Existentes	45
1.1.12 Abastecimento de Água	45
1.1.13 Poços Rasos ou Profundos	49
1.1.14 Nascente ou mina	58
1.1.15 Armazenamento	60
1.1.16 Tratamento e Qualidade da Água	65
1.1.17 Análise Crítica do Sistema de Abastecimento de Água de Pindamonhangaba	69
1.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	70
1.2.1 Características Gerais dos Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário ..	76
1.2.2 Fossa Rudimentar	76
1.2.3 Fossa Séptica	78
1.2.4 Biodigestor	79
1.2.5 Análise Crítica do Sistema de Esgotamento Sanitário de Pindamonhangaba	80
1.3 SISTEMA DE MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	81
1.3.1 Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO)	82
1.3.2 Resíduos de Atividades Agrícolas e Pecuárias	90
1.3.3 Resíduos da Construção Civil	94

1.3.4	Resíduos Orgânicos	95
1.3.5	Coleta Seletiva	95
1.3.6	Pontos de Descarte Irregular	100
1.3.7	Análise Crítica do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos	109
1.4	SISTEMA DE DRENAGEM E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	109
1.4.1	Caracterização das Microbacias de Influência na Zona Rural	116
1.4.2	Análise Morfométrica	119
1.4.3	Análise Linear	123
1.4.4	Análise Areal	124
1.4.5	Análise Hipsométrica	126
1.4.6	Estudos Hidrológicos	129
1.4.7	Índices Físicos	129
1.4.8	Cobertura do Solo	131
1.4.9	Chuvas Intensas	137
1.4.10	Métodos para cálculo da vazão	138
1.4.11	Método I-PAI-WU	140
1.4.12	Unidades de Conservação e sua Influência sobre os Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais	146
1.4.13	Descrição das Unidades de Conservação no Município de Pindamonhangaba	147
1.4.14	Drenagem das Águas Pluviais Associadas às Estradas Rurais	153
1.4.15	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais	164
1.4.16	Erosão	168
1.4.17	Análise Crítica do Sistema de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais	178
	REFERÊNCIAS	180

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Outorgas catalogadas pelo DAEE (ano base 2024).	29
Figura 2 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.	34
Figura 3 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.	35
Figura 4 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.	36
Figura 5 - Diferença de poço raso para poço profundo.	37
Figura 6 - Poço profundo em propriedade rural de Pindamonhangaba/SP.	38
Figura 7 - Poço profundo em propriedade rural de Pindamonhangaba/SP.	39
Figura 8 - Exemplo de nascente.	41
Figura 9 - Captação de água em nascente em propriedade de Pindamonhangaba.	41
Figura 10 - Represa utilizada para abastecimento de água na zona rural de Pindamonhangaba/SP.	42
Figura 11 - Exemplo de aproveitamento de água das chuvas.	43
Figura 12 - Reservatório de água da chuva utilizado para abastecimento de água na zona rural de Pindamonhangaba/SP.	44
Figura 13 - Poço com altura na abertura visando impedir entrada de águas pluviais.	54
Figura 14 - Poços com a tampa devidamente vedada e em boas condições.	57
Figura 15 - Reservatório elevado ligado a encanamentos na área rural de Pindamonhangaba.	63
Figura 16 - Fossa rudimentar na área rural do município de Pindamonhangaba.	78
Figura 17 - Sistema Individual de Tratamento – Fossas Sépticas.	79
Figura 18 - Sistema Individual de Tratamento – Biodigestor.	80
Figura 19 - Caçambas para acondicionamento de RDO na zona rural de Pindamonhangaba/SP.	89
Figura 20 - Exemplo de biodigestor.	91
Figura 21 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 1: 22.8856549 S, 45.5163450 W).	102
Figura 22 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 2: 22.8865257 S, 45.5399535 W).	103
Figura 23 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 3: 22.8842666 S , 45.5259760 W).	104

Figura 24 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 4: 22.8302333 S , 45.5614500 W).	105
Figura 25 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos.	106
Figura 26 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos.	107
Figura 27 - Situação dos imóveis rurais em relação ao eixo de drenagem das águas pluviais (considerando a delimitação de rural do PNSR).	110
Figura 28 - Especificações do MDE.	117
Figura 29 - Determinação da largura média da bacia.	142
Figura 30 - Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).	144
Figura 31 - Estrada rural de Pindamonhangaba com acúmulo de água.	154
Figura 32 - Estrada rural alagada.	155
Figura 33 - Pedras utilizadas para o melhoramento da via carreadas pela água da chuva.	156
Figura 34 - Drenagem insuficiente para escoar a água.	157
Figura 35 - Estrutura da ponte danificada.	158
Figura 36 - Modelo esquemático de telhado coletor de águas pluviais.	165
Figura 37 - Cisterna de superfície para armazenamento de águas pluviais.	166
Figura 38 - Sistema de irrigação de culturas agrícolas por gotejamento utilizando águas pluviais.	166
Figura 39 - Processos erosivos nas estradas rurais do município.	170
Figura 40 - Processos erosivos nas estradas rurais do município.	171
Figura 41 - Exemplo de ravinas.	173
Figura 42 - Exemplo de voçoroca.	174
Figura 43 - Suscetibilidade a erosão hídrica no Brasil.	175

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Formas de abastecimento de águas da zona rural do Bioma Mata Atlântica.	19
Gráfico 2 - Tendência das demandas outorgadas por tipo.	27
Gráfico 3 - Tendência das demandas outorgadas por finalidade.	27
Gráfico 4 - Evolução das formas de abastecimento de água nas propriedades rurais brasileiras.	32
Gráfico 5 - Formas de obtenção de água da zona rural de Pindamonhangaba/SP.	46
Gráfico 6 - Percentual de atendimento da população na zona rural de Pindamonhangaba/SP.	46
Gráfico 7 - Finalidade do uso de água da zona rural de Pindamonhangaba/SP.	49
Gráfico 8 - Poço está afastado a pelo menos 15m de possíveis fontes de contaminação.	50
Gráfico 9 - O Poço está localizado em um nível superior ao da fossa?	51
Gráfico 10 - Poço revestido internamente com tijolos ou por meio de anéis de concreto.	52
Gráfico 11 - Ao redor do poço sofre alagamento quando chove.	53
Gráfico 12 - Possui proteção ao redor da abertura do poço.	53
Gráfico 13 - Poço é protegido por tampa.	55
Gráfico 14 - A tampa está íntegra e veda totalmente o poço.	56
Gráfico 15 - A tampa está em boas condições.	57
Gráfico 16 - É feito algum tratamento para desinfecção da água dentro do poço.	58
Gráfico 17 - Foi construída na nascente caixa com alvenaria com tampa.	59
Gráfico 18 - A vegetação próxima da nascente está preservada.	60
Gráfico 19 - Existe armazenamento de água na propriedade.	61
Gráfico 20 - A água é armazenada em caixa d'água com tampa.	62
Gráfico 21 - Reservatório é elevado e ligado a encanamento e torneiras.	63
Gráfico 22 - Usa tonéis, latões ou galões para armazenar a água.	64
Gráfico 23 - Usam recipientes para a recolha de água dos reservatórios baixos.	65
Gráfico 24 - Costuma ter problemas com a qualidade da água que utilizam.	66
Gráfico 25 - Percebeu alteração na cor, odor, sabor ou na transparência da água.	67
Gráfico 26 - Recebeu orientação de como fazer o tratamento da água que consome.	68

Gráfico 27 - A água para consumo doméstico é devidamente tratada com cloro ou fervida.	68
Gráfico 28 - Já foi realizado análise da água.	69
Gráfico 29 – Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Mata Atlântica.	71
Gráfico 30 – Onde vai o esgoto do imóvel na área rural do município.	72
Gráfico 31 - A limpeza da fossa é feita periodicamente?	75
Gráfico 32 - Na sua rua, você sente cheiro de esgoto.	76
Gráfico 33 – Evolução das formas de destinação de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros.	82
Gráfico 34 - Propriedades da zona rural que possuem coleta de RDO.....	84
Gráfico 35 - Propriedades rurais de Pindamonhangaba que utilizam lixeira suspensa para armazenamento do lixo.	85
Gráfico 36 - Diferentes destinações do RDO nas propriedades rurais de Pindamonhangaba.	86
Gráfico 37 – Percentual de atendimento da população na zona rural de Pindamonhangaba.	86
Gráfico 38 - Número de propriedades que criam diferentes espécies de animais.	92
Gráfico 39 - Propriedades que possuem hortas ou outro tipo de plantação.....	93
Gráfico 40 - Propriedades que utilizam insumos agrícolas na zona rural de Pindamonhangaba.	94
Gráfico 41 - Sabe o que é coleta seletiva.....	99
Gráfico 42 - Realiza a coleta seletiva.	99
Gráfico 43 – Percentual de atendimento da população acerca dos dispositivos de drenagem na zona rural de Pindamonhangaba/SP.....	111
Gráfico 44 - Ocorrência de alagamentos próximos às propriedades entrevistadas.....	113
Gráfico 45 - Vazões de projeto (m³/s) das microbacias de influência na área rural de Pindamonhangaba.	145
Gráfico 46 - Estado de conservação das estradas municipais de acordo com os municípios.....	160
Gráfico 47 - Propriedades que apresentam alguma forma de sistema de aproveitamento de água pluvial da zona rural de Pindamonhangaba/SP.	167
Gráfico 48 - Identificação de pontos de erosão próximos às propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.	169

Gráfico 49 - Identificação das estradas consideradas conservadas pelos entrevistados.....169

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Nascentes de Pindamonhangaba/SP.....	22
Mapa 2 - Sistemas Aquíferos de Pindamonhangaba/SP	24
Mapa 3 - Localização das propriedades que utilizam de fossas rudimentares, conforme as respostas obtidas.	74
Mapa 4 - Localização das propriedades que sem coleta de resíduos e com práticas de queima dos materiais em Pindamonhangaba.	88
Mapa 5 - Localização dos pontos de descarte irregular de resíduos sólidos na zona rural em Pindamonhangaba.	108
Mapa 6 - Suscetibilidade a inundação em Pindamonhangaba.....	112
Mapa 7 - Propriedades que afirmaram problemas com alagamento nas redondezas em Pindamonhangaba.	114
Mapa 8 - Microbacias de influência na zona rural de Pindamonhangaba.	118
Mapa 9 - Hierarquia fluvial das microbacias rurais.....	122
Mapa 10 - Cobertura do solo nas microbacias rurais.	132
Mapa 11 - Área de Proteção Ambiental Bacia do Paraíba do Sul.....	148
Mapa 12 - Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira.	150
Mapa 13 - Parque Municipal do Trabiju.....	152
Mapa 14 - Proximidades das estradas consideradas não conservadas.....	162
Mapa 15 - Principais Estradas rurais que cruzam divisores de águas.	163
Mapa 16 - Localização das propriedades que confirmaram pontos de erosão nas proximidades.....	172
Mapa 17 - Suscetibilidade à Erosão hídrica em Pindamonhangaba/SP.	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazões de Referência por Área de Contribuição (m ³ /s).	21
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens para as fontes de obtenção de água.	47
Tabela 3 – Materiais reaproveitados pelas cooperativas de Pindamonhangaba.	97
Tabela 4 - Cronograma de Coleta Seletiva do município.	98
Tabela 5 - Coordenadas dos pontos de descarte irregular identificados na zona rural do município de Pindamonhangaba.	100
Tabela 6 - Drenagem pluvial do município de Pindamonhangaba/SP.	115
Tabela 7 - Hierarquia do fluxo de drenagem computado.	120
Tabela 8 - Dados extraídos das microbacias.	127
Tabela 9 - Tempo de Concentração para as microbacias rurais de Pindamonhangaba/SP.	130
Tabela 10 - Classes de cobertura do solo das microbacias analisadas.	133
Tabela 11 - Previsão de máximas intensidades de chuvas (mm/h).	138
Tabela 12 - Valores para determinação de C2.	143
Tabela 13 - Vazões para diferentes Tempos de Retorno pelo Método I-PAI-WU ...	145
Tabela 14 - Localização aproximada das estradas rurais mais suscetíveis.	161

APRESENTAÇÃO

Este documento é parte integrante da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Rural de Pindamonhangaba - SP, referente ao contrato nº 084/2024.

A elaboração do Plano Municipal de Saneamento Rural (PMSR) abrange o conjunto de serviços de infraestruturas e instalações dos setores de saneamento básico rural, que, por definição, inclui o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos, a drenagem e manejo de águas pluviais rurais.

O Plano Municipal de Saneamento Rural de Pindamonhangaba visa estabelecer um planejamento das ações de saneamento na área rural do município, alinhando-se aos princípios da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), conforme a Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020, bem como às diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305/2010. O objetivo é melhorar a salubridade ambiental, proteger os recursos hídricos e promover a saúde pública.

Vale ressaltar que, além de ser um dispositivo de planejamento, a elaboração do PMSR é peça fundamental na promulgação e incentivo à integração de visão dos diferentes atores em relação aos serviços de saneamento em áreas rurais.

INTRODUÇÃO

A abordagem do planejamento de ações voltadas para o saneamento básico em áreas rurais enfrenta vários desafios, que impõem dificuldades para sua consolidação e obstáculos à sua incorporação nos municípios.

O saneamento rural envolve a implementação de sistemas e práticas que garantam o acesso a serviços essenciais de saneamento em áreas rurais, como o abastecimento de água potável, o tratamento e disposição de esgoto, o manejo adequado de resíduos sólidos e a drenagem rural. Devido às características específicas dessas áreas, como baixa densidade populacional, distâncias consideráveis entre os domicílios e menor infraestrutura, as soluções de saneamento rural geralmente diferem das adotadas em áreas urbanas, sendo frequentemente descentralizadas e adaptadas às realidades locais.

O Plano Municipal de Saneamento Rural (PMSR) é um documento de planejamento estratégico que visa identificar, propor e implementar soluções adequadas para melhorar as condições de saneamento nas zonas rurais do município. Seu objetivo principal é garantir que as comunidades rurais tenham acesso a serviços de saneamento ambiental adequados, promovendo saúde pública, qualidade de vida e preservação ambiental.

Alguns dos principais componentes do plano incluem:

- Abastecimento de água potável: identificação de fontes de água seguras, como poços, cisternas ou pequenos sistemas de abastecimento comunitários, e a implementação de mecanismos de tratamento e distribuição;
- Esgotamento sanitário: sistemas simplificados e descentralizados para o tratamento e disposição de efluentes domésticos, como fossas sépticas e unidades de tratamento de esgoto;
- Manejo de resíduos sólidos: estratégias para coleta, tratamento e disposição final dos resíduos, que podem incluir compostagem, reciclagem e aterros controlados;
- Drenagem e manejo de águas pluviais: soluções para o escoamento e manejo de águas de chuva, evitando inundações e erosão, que podem incluir valetas, canais ou soluções naturais como bacias de infiltração.

O plano geralmente é elaborado com a participação ativa da comunidade por meio de consultas públicas e audiências, garantindo o engajamento social e a

aderência às especificidades locais, como características geográficas, climáticas e socioeconômicas. Esse processo assegura que as soluções propostas sejam viáveis e sustentáveis a longo prazo, e estejam alinhados com a Lei nº 11.445 de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, atualizada pelo Novo Marco Legal do Saneamento, Lei 14.026 de 2020 e esteja em conformidade com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que estabelece diretrizes e metas para o setor em todo o país.

Este documento apresenta ao município de Pindamonhangaba – SP, Diagnóstico da Situação Atual do Saneamento Rural para a elaboração do PMSR.

1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

O saneamento básico é um direito fundamental de todos os brasileiros, independentemente do local de moradia. No entanto, ainda há uma grande desigualdade no acesso a esses serviços no Brasil, com o saneamento rural sendo um dos principais desafios a serem superados.

A falta de saneamento na área rural tem graves consequências para a saúde pública e o meio ambiente. Os esgotos das propriedades quando não coletados e tratados adequadamente, contaminam os cursos d'água, o solo e o ar, podendo causar doenças.

Os desafios específicos do saneamento na área rural são diversos, como a questão de distribuição espacial das propriedades que são geralmente dispersas, o que dificulta a implantação de redes de coleta e tratamento de esgoto. A baixa densidade populacional também dificulta a implantação de redes de saneamento, pois aumenta o custo de implantação e operação.

O Novo Marco Legal do Saneamento, instituído pela Lei nº 14.026/2020, traz importantes avanços para o saneamento na área rural. A lei prevê a universalização do acesso ao saneamento básico até 2033, incluindo as áreas rurais.

A regulamentação das áreas de interesse de proteção de manancial municipal será regida pelas disposições da Lei supracitada e dos regulamentos dela decorrentes, tendo em vista ambas as legislações, estadual e federal, com o intuito de zelar pela manutenção da capacidade de infiltração da água no solo, em consonância com as normas federais e estaduais de preservação dos seus depósitos hídricos naturais.

Desta forma, no presente diagnóstico serão abordados dados e informações referentes aos Sistemas Individuais de Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Gestão de Resíduos Sólidos e Drenagem e Manejo das Águas Pluviais na área rural do município de Pindamonhangaba.

Para que posteriormente sejam propostas ações que visam a boa funcionalidade dos serviços de saneamento básico, garantindo a acessibilidade e melhoria na qualidade de vida da população rural.

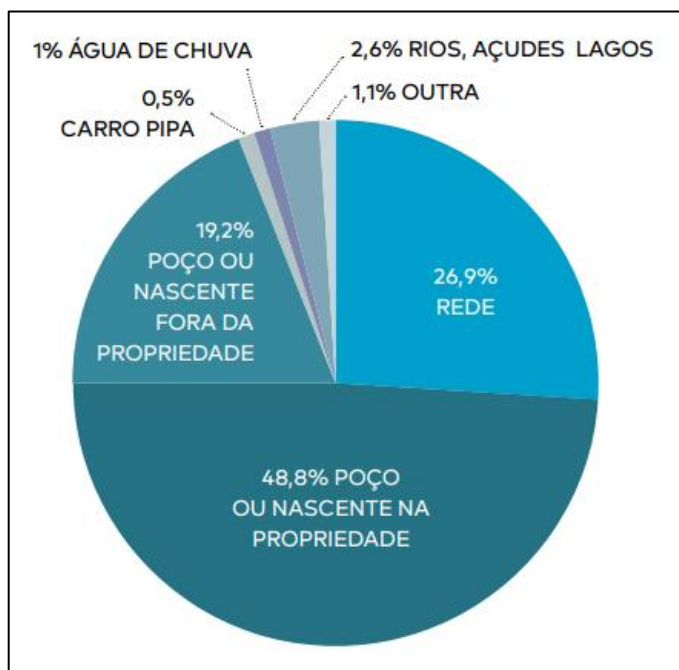
1.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os serviços de saneamento, em todos os seus eixos, são essenciais para a saúde e o bem-estar da população, tanto em áreas urbanas quanto rurais. No entanto, a área rural ainda apresenta um grande déficit de acesso a esses serviços, o que impacta negativamente a qualidade de vida da população e o meio ambiente.

A inexistência de serviços de saneamento rural pode levar a uma série de problemas como, contaminação da água e do solo. De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019) o Bioma Mata Atlântica, sendo este o qual se localiza o município de Pindamonhangaba, quando comparado com os demais biomas brasileiros é o que mais possui propriedades rurais em seus limites territoriais.

No Bioma Mata Atlântica o abastecimento de água na zona rural ocorre de forma majoritária a partir da utilização de poços e nascentes dentro da propriedade. O gráfico abaixo expõe tal informação.

Gráfico 1 - Formas de abastecimento de águas da zona rural do Bioma Mata Atlântica.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A obtenção de água nas áreas rurais de Pindamonhangaba ocorre, predominantemente, por meio de fontes superficiais, como nascentes, represas e riachos, ou através da perfuração de poços. As nascentes, em especial, tendem a fornecer água

de qualidade superior em comparação a outros métodos, sendo frequentemente consumida sem passar por processos de tratamento.

A disponibilidade hídrica proporcionada pelo bioma local, conforme ilustrado no Gráfico 1, facilita o acesso a essas fontes, com destaque para o uso de nascentes e poços como os principais métodos de captação utilizados nas propriedades rurais do município.

1.1.1 Identificação de Mananciais para Abastecimento

A compreensão apropriada da hidrologia de uma bacia hidrográfica é de fundamental importância para o seu manejo. Portanto, torna-se imperativo a realização de pesquisas que identifiquem a dinâmica temporal e espacial dos parâmetros ambientais.

Sendo assim, como citado no tópico Levantamento da Rede Hidrográfica do Município, Pindamonhangaba localiza-se entre rio Paraíba do Sul. Os principais cursos hídricos são: Ribeirão do Pau d'alho, Ribeirão do Oliveira, Ribeirão da Ponte alta, Rio Piracuama, Ribeirão Grande, Ribeirão Ipiranga, Rio Capituba, Ribeirão dos Surdos.

A Tabela 1 mostra o resumo da disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, com destaque para Pindamonhangaba.

Tabela 1 - Vazões de Referência por Área de Contribuição (m³/s).

Local	Área (km²)	Período	Séries de vazão até dez/2013		Séries de vazão até dez/2017		Redução de vazão	
			Q ₉₅ (m³/s)	Q _{7,10} (m³/s)	Q ₉₅ (m³/s)	Q _{7,10} (m³/s)	Q ₉₅ (m³/s)	Q _{7,10} (m³/s)
Bacia do Rio Paraíba do sul								
Santa Branca	4997	1984 -2017	38,0	33,9	32,8	28,9	10,8%	11,8%
Pindamonhangaba	9700	1984 -2017	83,3	78,7	68,8	65,5	5,6%	4,9%
Queluz	12901	1988 -2017	112,5	95,5	78,0	68,6	15,1%	12,0%
Resende	14049	1984 -2016	145,2	124,9	110,2	102,6	14,0%	6,8%
Barra Mansa	15933	1990 -2016	170,3	143,1	152,5	137,6	16,0%	9,8%
Volta Redonda	16183	1988 -2017	174,4	145,7	133,2	120,4	16,4%	9,7%
Barra do Piraí	17947	1984 -1995	68,9	-	64,6	-	-	-
Paraíba do Sul	19564	1984 -2017	62,5	47,1	54,1	45,6	24,6%	15,7%
Anta	31000	1984 -2017	185,9	124,6	158,1	128,3	33,0%	18,9%
São Fidelis	47429	1984 -2017	241,6	198,4	198,5	156,3	17,9%	21,3%
Campos – Ponte Municipal	56574	1984 -2017	276,2	227,3	226,9	185,2	17,7%	18,4%

Fonte: Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 2021.
Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A obtenção e análise de informações referentes a Q 95, Q 95 acumulada, Q 7,10 e Q 7,10 acumulada desempenham um papel crucial no processo de autorização de outorgas relacionadas à gestão dos recursos hídricos. Esses parâmetros hidrológicos são fundamentais para garantir a sustentabilidade e o uso adequado dos recursos hídricos, e sua importância pode ser dividida em conformidade regulatória, previsão de eventos extremos e alocação de recursos.

A captação superficial em nascentes na zona rural desempenha um papel vital na provisão de água para comunidades e propriedades rurais, agricultura e criação de animais. Nascentes são fontes naturais de água que surgem da terra, e captar água dessas nascentes é uma prática comum em áreas rurais.

Muitas comunidades rurais dependem de nascentes para o abastecimento de água potável. Essa água é frequentemente armazenada em pequenas estruturas, como tanques de pedra ou caixas d'água. É importante garantir a qualidade da água, realizando testes regulares para garantir que seja segura para o consumo humano.

O manejo sustentável é essencial para assegurar sua disponibilidade contínua. A degradação das áreas próximas pode levar à diminuição do fluxo de água, portanto se fazem necessárias práticas de conservação de solo e vegetação nas áreas circundantes para proteger a qualidade e quantidade da água da nascente.

Diante do exposto, o Mapa 1 mostra as nascentes localizadas nos limites territoriais do município de Pindamonhangaba.

Fonte: TOPODATA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

1.1.2 Mananciais Subterrâneos

A captação de água por poços no Brasil é uma prática comum e fundamental para o suprimento de água em diversas regiões do país, especialmente em áreas onde o acesso a fontes superficiais de água, como rios e lagos, é limitado ou insuficiente. A exploração de água subterrânea através de poços é uma solução essencial para a garantia do abastecimento de água potável.

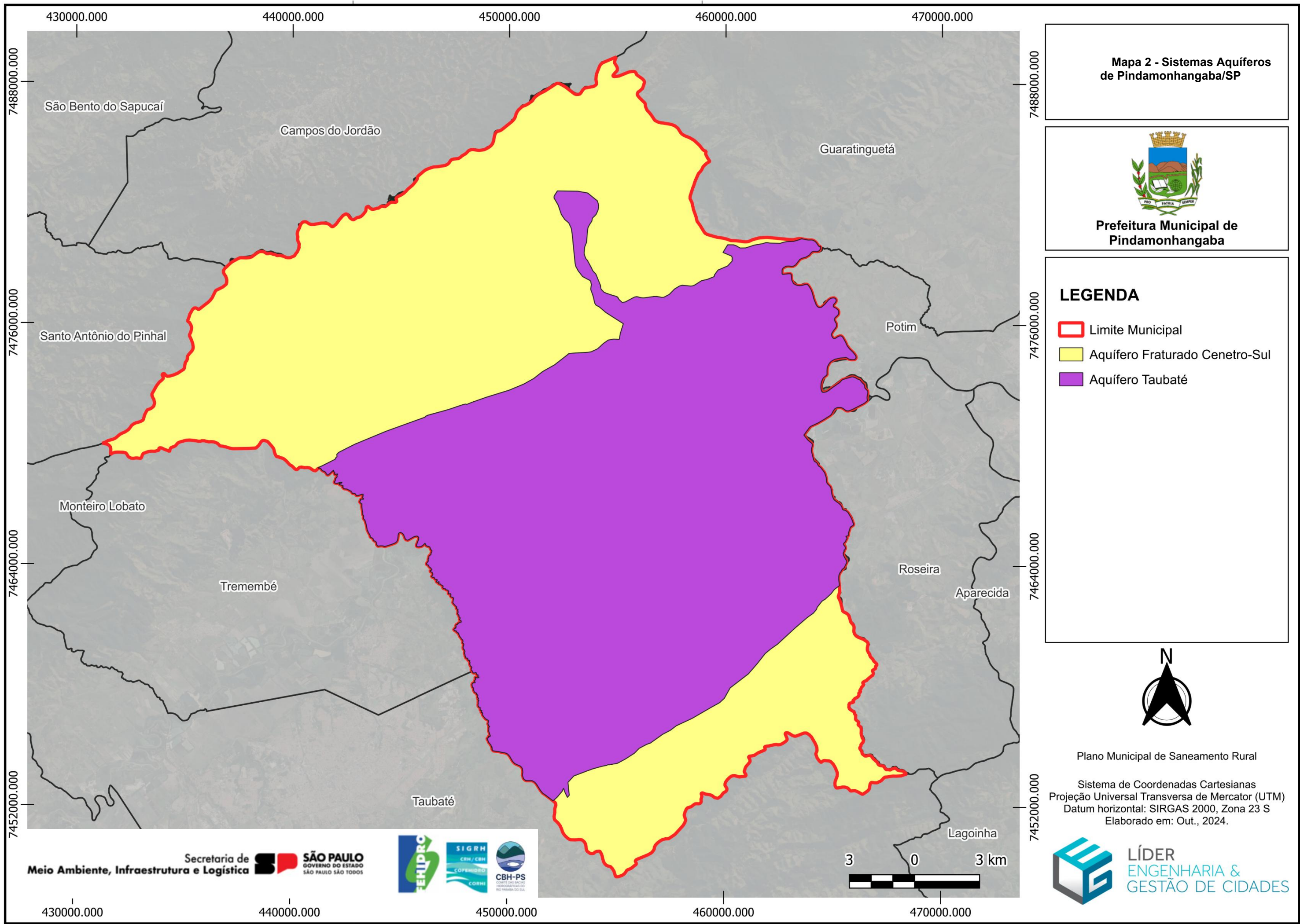
Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil possuía aproximadamente 800 mil poços tubulares profundos em operação em 2019. A água retirada de poços é usada para uma variedade de finalidades, incluindo agricultura, indústria, irrigação, e uso doméstico.

A locação de poços profundos para a obtenção de água subterrânea pode ser dificultada pela natureza fissurada encontrada em aquíferos de determinadas regiões. Nesses casos, é necessário o uso de técnicas de perfuração especializadas para a obtenção de água em quantidade suficiente para atender às demandas da população.

O cenário de escassez de recursos superficiais, tanto em grandes cidades como em pequenas comunidades rurais e propriedades rurais isoladas, desencadeou a necessidade de melhoria do arcabouço legal para o controle da exploração do recurso. Em função da demanda por água subterrânea, pode acontecer a superexploração, ou seja, a extração de água em volume maior do que a recarga natural, alterando a dinâmica do ciclo hidrológico.

A quantidade, a qualidade e o fluxo das águas subterrâneas são determinados pelas características geotécnicas das rochas e dos sedimentos. Essas características devem ser avaliadas de forma criteriosa para garantir a viabilidade do aproveitamento da água subterrânea para abastecimento da população rural.

Sendo assim, a partir do Mapa 2, obtido pela base cartográfica disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA), pode-se observar que o território do perímetro municipal de Pindamonhangaba apresenta os aquíferos Fraturado Centro-Sul e Taubaté.



Fonte: IBGE. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Contextualizando com as informações obtidas através do mapa de sistema aquífero de Pindamonhangaba, os aquíferos fraturados, também conhecidos como aquíferos fissurados, têm características distintas em comparação com aquíferos porosos. Eles são definidos por sua geologia, que envolve a presença de fraturas, falhas e fissuras nas rochas que permitem a armazenagem e o fluxo de água subterrânea (Fernandes, 2008).

A heterogeneidade é uma característica marcante dos aquíferos fraturados. As fraturas podem variar em tamanho, forma e conectividade, criando uma complexa rede de canais de água subterrânea. Embora a água seja armazenada nas fraturas, a capacidade de armazenamento é geralmente menor em comparação com aquíferos porosos. Isso significa que os aquíferos fraturados podem ser sensíveis a mudanças sazonais na recarga e descarga (Fernandes, 2008).

O aquífero Taubaté, situado na Bacia de Taubaté, destaca-se por suas características geológicas únicas, moldadas pelo histórico deposicional da região. Ele é considerado heterogêneo, combinando porosidade primária, típica de sedimentos granulares, com porosidade secundária associada a fissuras. Sua composição litológica é variada, com alternância de camadas arenosas e argilosas, o que influencia diretamente tanto a dinâmica quanto a qualidade das águas subterrâneas.

1.1.3 Regulação de Uso dos Recursos Hídricos

A outorga é o instrumento de gestão das águas que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos. Este instrumento deve assegurar o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, bem como garantir que existam múltiplos usos nas bacias hidrográficas (Carolo, 2007).

A correta aplicação do instrumento da outorga, mais do que um ato de regulamentação ambiental, se destina a disciplinar a demanda crescente das águas superficiais e subterrâneas. Existem dois tipos de outorga:

- Autorização – Obras, serviços ou atividades que forem desenvolvidas por pessoa física ou jurídica de direito privado, quando não se destinarem a finalidade de utilidade pública. Validade de até cinco anos.
- Concessão – Obras, serviços ou atividades que forem desenvolvidas por pessoa jurídica ou direito público ou quando se destinarem a finalidade de utilidade pública. Validade de até trinta e cinco anos.

No estado de São Paulo, a Lei Estadual nº 7.663/1991 atribui ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) a responsabilidade de conceder a outorga para o uso dos recursos hídricos. Através da Portaria nº 1.630/2017, o DAEE estabelece as condições para obtenção dessa outorga, conforme descrito no Artigo 12º.

De acordo com o Artigo 12º da referida portaria, a obtenção da outorga é necessária nos seguintes casos:

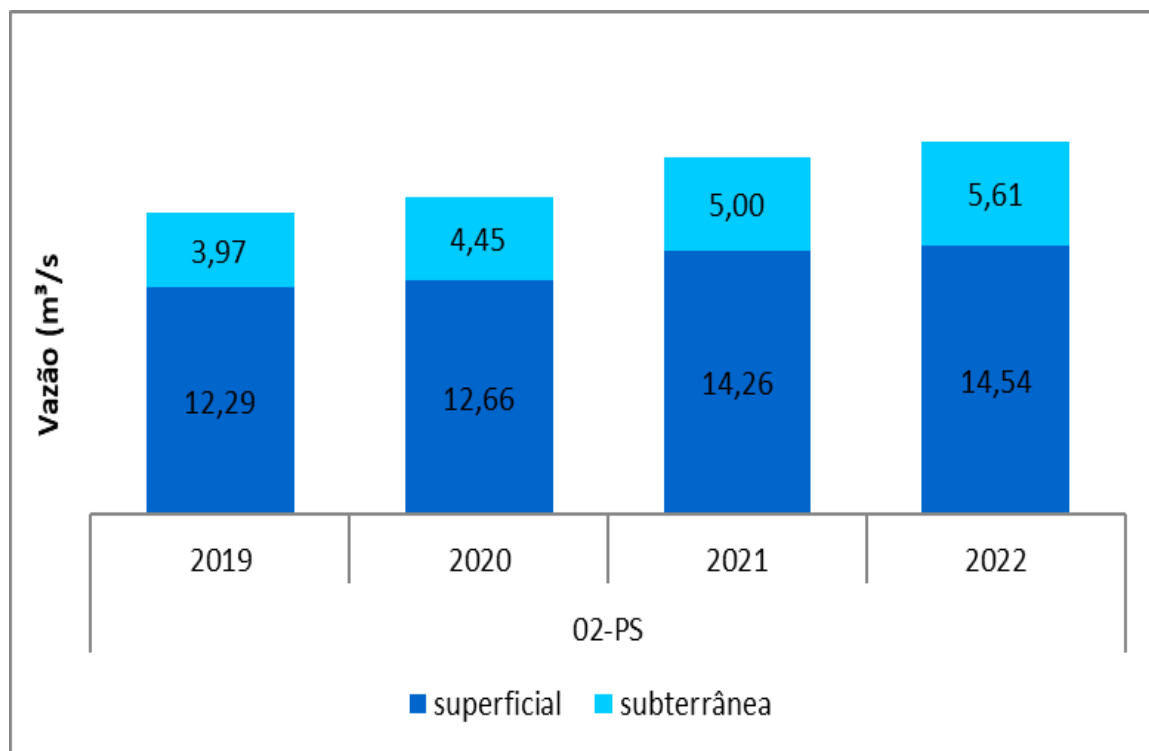
- I. A execução de obras ou serviços que possam alterar o regime, a quantidade e a qualidade de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos;
- II. A execução de obras para extração de águas subterrâneas;
- III. A derivação de água do seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para fins de abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros;
- IV. O lançamento de efluentes nos corpos d'água, como esgotos e demais resíduos líquidos tratados, nos termos da legislação pertinente, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final.

No artigo 6º da portaria, é estabelecido que os usos e interferências que são dispensados de outorgas estão sujeitos a um cadastro correspondente, exceto para os casos previstos na portaria e em outras normas e portarias do DAEE.

Os processos técnicos e administrativos para obtenção de manifestação e outorga no Estado de São Paulo são regulamentados pela Portaria nº 1.630/2017 do DAEE, juntamente com as instruções técnicas nº 08 a nº 13, elaboradas pela Diretoria de Procedimentos de Outorga (DPO). Essas normas estabelecem as diretrizes e critérios para a solicitação e análise dos pedidos de outorga, garantindo uma gestão adequada e sustentável dos recursos hídricos no Estado.

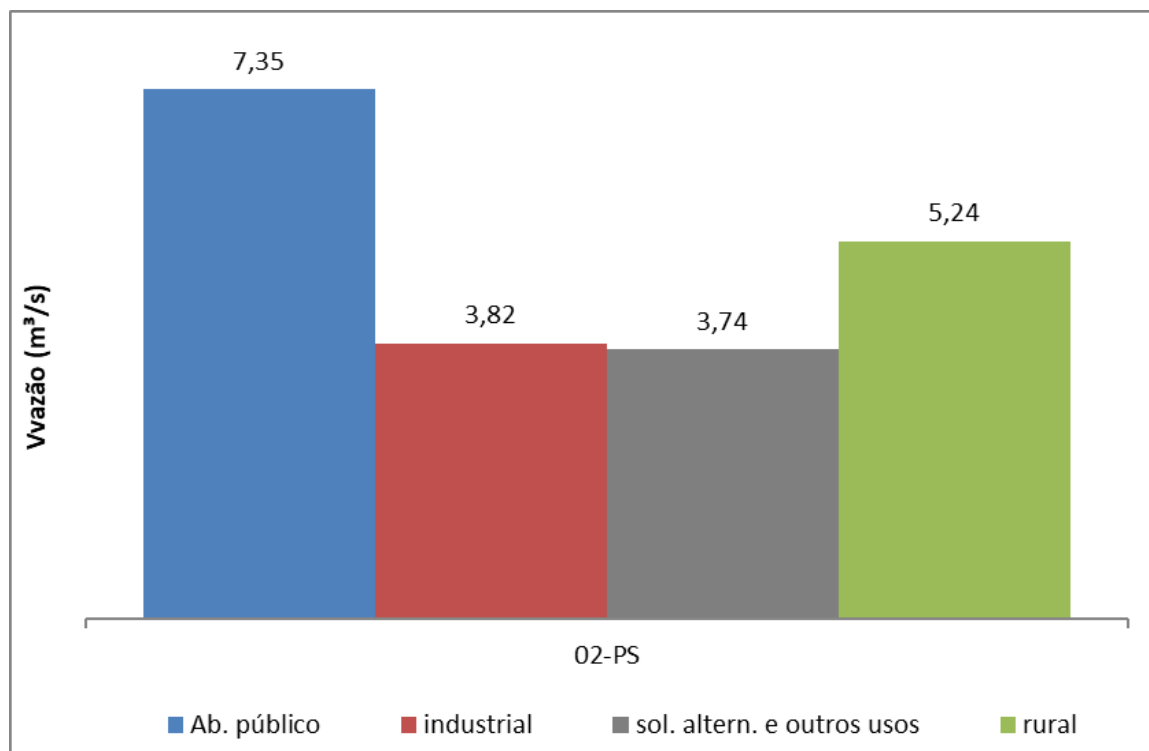
Conforme os registros do banco de outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2022), abaixo seguem os gráficos que expõem as demandas outorgadas por tipo e por finalidade, respectivamente na Região Hidrográfica da Vertente Paulista do Rio Paraíba do Sul.

Gráfico 2 - Tendência das demandas outorgadas por tipo.



Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, 2022, ano base 2021. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

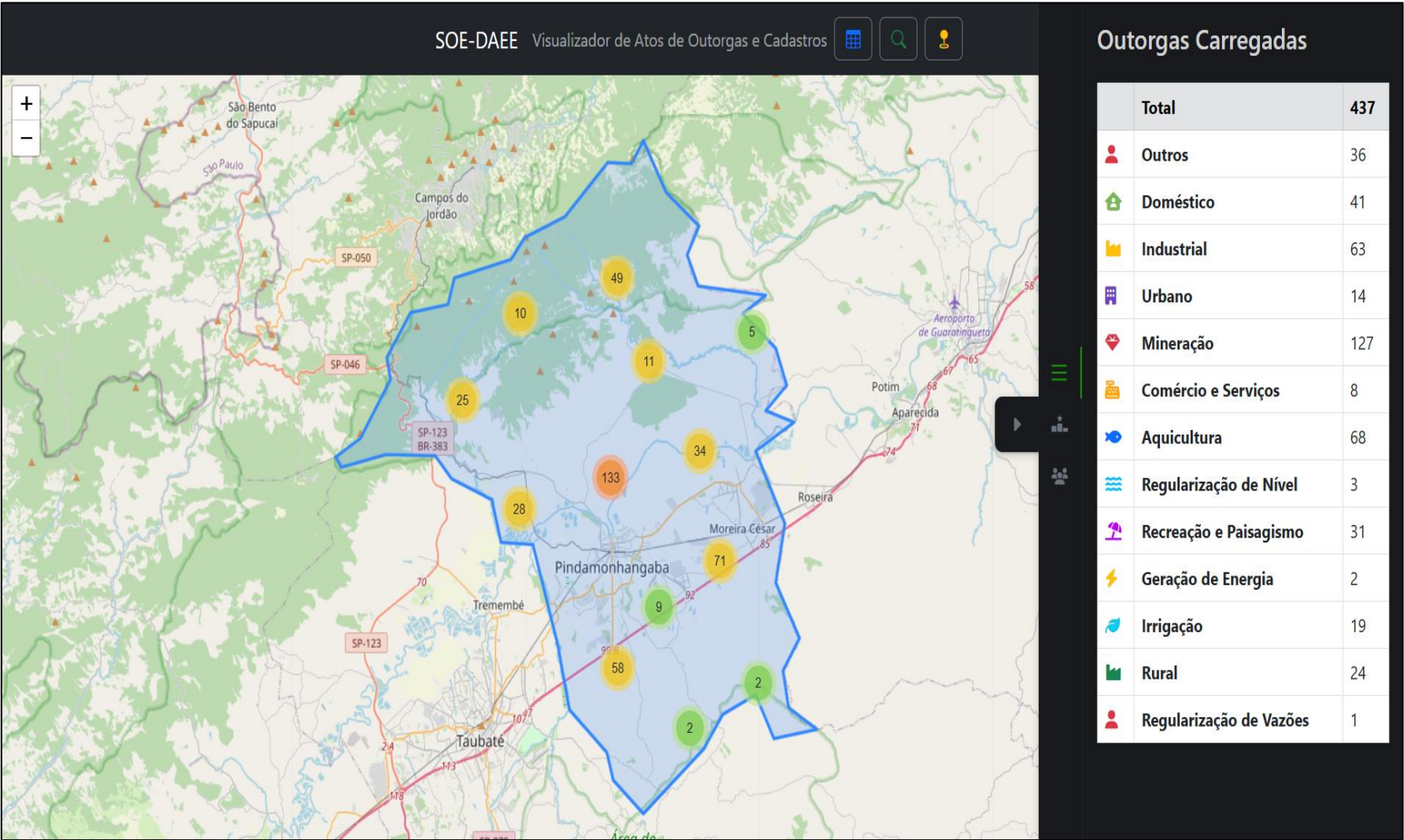
Gráfico 3 - Tendência das demandas outorgadas por finalidade.



Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, 2022, ano base 2021. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com os gráficos acima, infere-se que a vazão outorgada classificada como Uso Rural para o município de Pindamonhangaba, no ano de 2022 correspondia a 5,24 m³/s. Com relação ao uso da água superficial e subterrânea, houve um aumento significativo na demanda em comparação entre os anos de 2019 e 2022. Abaixo segue as outorgas catalogadas pelo DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica correspondente ao município de Pindamonhangaba para o ano de 2024, totalizando 437 outorgas.

Figura 1 - Outorgas catalogadas pelo DAEE (ano base 2024).



Fonte: DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2024. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.4 Segurança Hídrica

O conceito de segurança hídrica, segundo a Organização das Nações Unidas – ONU/2014, é dado como a capacidade da população de ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade adequadas para a manutenção da vida e do bem-estar humano, garantindo o desenvolvimento das atividades econômicas, a proteção contra doenças de veiculação hídrica e desastres associados à água, bem como a preservação dos ecossistemas.

A relação entre segurança hídrica e saúde pública é direta, sobretudo em áreas rurais, onde a carência de infraestrutura de saneamento básico amplifica a vulnerabilidade das populações. As doenças de veiculação hídrica, transmitidas pelo consumo de água contaminada ou contato com ambientes insalubres, representam um dos principais impactos sobre a saúde. No Brasil, em 2019, foram registradas 273.403 interações por esses agravos, correspondendo a uma incidência de 13,01 casos por 10 mil habitantes, com custo estimado de R\$ 108 milhões ao sistema de saúde (BOLETIM DO SANEAMENTO, 2020). Além disso, entre 2016 e 2020, foram contabilizados 64.049 óbitos por doença de veiculação hídrica, especialmente concentrados em microrregiões do Norte e Nordeste, regiões que abrigam cerca de 32 milhões de pessoas (ABEP, 2022).

Essas doenças afetam severamente crianças menores de cinco anos, elevando a mortalidade infantil e comprometendo o bem-estar e a produtividade das comunidades rurais. Estratégias de prevenção passam obrigatoriamente pelo acesso à água potável, coleta e tratamento de esgoto adequados, além da educação em saúde ambiental.

A concepção de segurança hídrica é o objetivo central da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei n.º 9.433/1997. O conceito de segurança hídrica também se alinha com os objetivos da ONU, cujas metas visam erradicar a pobreza, proteger o planeta, garantir a paz e a prosperidade.

Dentro dessa perspectiva, foram elaborados os dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável - ODS, e dentre estes, pode-se destacar as ações para ampliar a segurança hídrica brasileira em vista do objetivo seis. O objetivo 6 do Desenvolvimento Sustentável estabelece que é preciso:

- Melhorar a qualidade da água;
- Reduzir a poluição;
- Eliminar despejos;
- Minimizar a liberação de produtos químicos e materiais perigosos;
- Reduzir à metade a proporção de água residuais não tratadas;
- Aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores;
- Assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água;
- Apoiar e fortalecer a participação das Comunidades locais para melhorar a gestão da água e do saneamento;
- Reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;
- Aumentar substancialmente a reciclagem e reutilização de água entre outras.

Deve-se ainda considerar a Lei Estadual nº 16.337/2016, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, responsável por regulamentar o regime de outorga de águas no Estado de São Paulo.

No que se refere ao eixo de abastecimento de água, não existem séries históricas de dados no SINISA relacionadas especificamente ao município de Pindamonhangaba. Essa ausência de informações inviabiliza a análise evolutiva de indicadores, impossibilitando a identificação de melhorias ou retrocessos no setor ao longo dos últimos anos. Diante desse cenário, a avaliação apresentada neste Plano apoia-se nos dados primários levantados em campo e em fontes complementares, os quais, embora não permitam a construção de séries temporais, constituem subsídio técnico adequado para o diagnóstico atual da situação e para o direcionamento das ações de planejamento propostas.

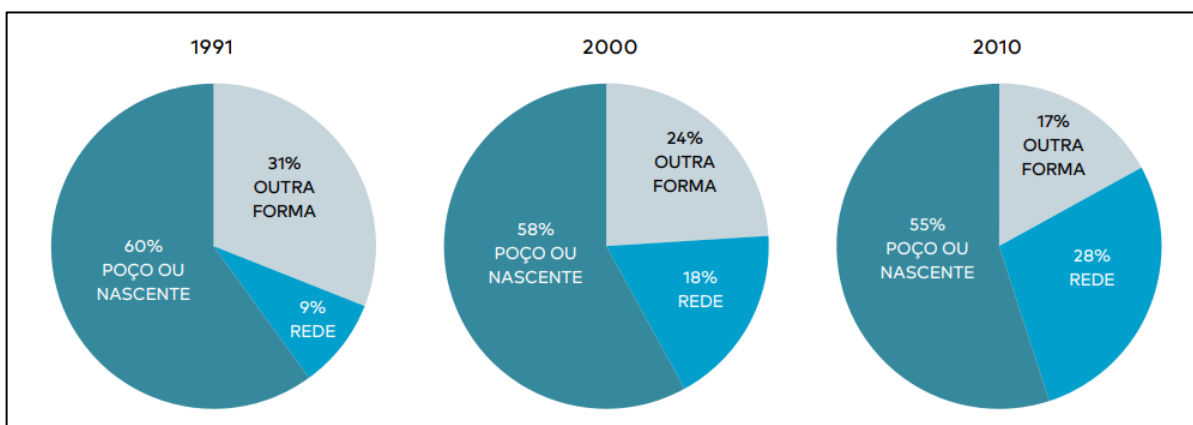
1.1.5 Descrição dos Sistemas de Abastecimento de Águas Atuais

O cenário do fornecimento de água nas residências rurais no Brasil tem experimentado mudanças no que diz respeito à disponibilidade de redes de distribuição de água. Houve um aumento constante ao longo das duas últimas décadas, indo de 9% em 1991 para 28% em 2010. A proporção de residências que recebem água de outras

fontes de abastecimento, como caminhões-pipa, cisternas para coleta de água da chuva, rios, açudes, lagos e igarapés, registrou uma diminuição durante esse período.

Em 1991, 31% das residências se encontravam nessa situação, em contraste com 17% em 2010. A menor variação foi observada no fornecimento de água por meio de poços ou nascentes, tanto dentro como fora das propriedades, caindo de 60% em 1991 para 55% em 2010, ainda prevalecendo como a opção predominante (PNSR, 2019). Abaixo segue o gráfico que melhor demonstra as informações citadas.

Gráfico 4 - Evolução das formas de abastecimento de água nas propriedades rurais brasileiras.



Fonte: Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Na zona rural do município de Pindamonhangaba, assim como na maior parte dos municípios brasileiros, o abastecimento de água na zona rural ocorre com a utilização de sistema individuais de captação e armazenamento de água.

A falta de rede de distribuição de água na zona rural, em muitos casos, pode ser explicada por uma série de fatores, embora as razões específicas possam variar de município para município e de estado para estado, sendo estes expostos abaixo:

- **Custo Elevado:** A extensão da rede de água para áreas rurais, frequentemente com baixa densidade populacional e infraestrutura dispersa, pode ser economicamente desafiadora. A construção de redes de distribuição de água envolve custos significativos em termos de mão de obra, material e manutenção;
- **Logística Complexa:** Em áreas rurais, a topografia, os solos e outros fatores geográficos podem tornar a instalação de redes de distribuição de água mais complexa e dispendiosa;

- **Desafios Técnicos:** Nas áreas rurais, as características do solo, a qualidade da água subterrânea e outros desafios técnicos podem dificultar a instalação de redes de distribuição de água.

As principais soluções individuais para o abastecimento de água encontradas no município de Pindamonhangaba, divide-se em: poços rasos, poços profundos, nascentes ou minas, captação em represas/riachos e reservatório de água da chuva. A seguir será descrita as principais características de cada sistema individual citado.

1.1.6 Poços Rasos

Os poços rasos são sistemas de captação de água subterrânea que alcançam profundidades limitadas, geralmente situando-se a uma média de 15 a 20 metros abaixo da superfície. Eles acessam lençóis freáticos superficiais que, devido à sua proximidade com a superfície, são recarregados pelas águas da chuva que se infiltram no solo, tornando-os suscetíveis a variações sazonais. A extração da água de um poço raso pode ser realizada manualmente com o uso de bombas manuais ou por meio de bombas elétricas, dependendo da profundidade do poço e da vazão de água necessária (Santos Valias *et al.*, 2000).

No entanto, é importante notar que poços rasos tendem a ser mais vulneráveis à contaminação da água subterrânea, uma vez que estão mais próximos da superfície, ficando assim mais expostos a poluentes, como produtos químicos agrícolas e resíduos provenientes da cobertura do solo. Portanto, a manutenção adequada desses poços é crucial para garantir a qualidade da água e o funcionamento contínuo (Santos Valias *et al.*, 2000).

Essa manutenção pode incluir a limpeza do poço, a substituição das bombas e o monitoramento constante do nível de água (Santos Valias *et al.*, 2000). Abaixo, seguem imagens que ilustram exemplos de poço raso identificados durante o levantamento de campo.

Figura 2 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 3 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 4 - Poço raso em propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.7 Poços Profundos

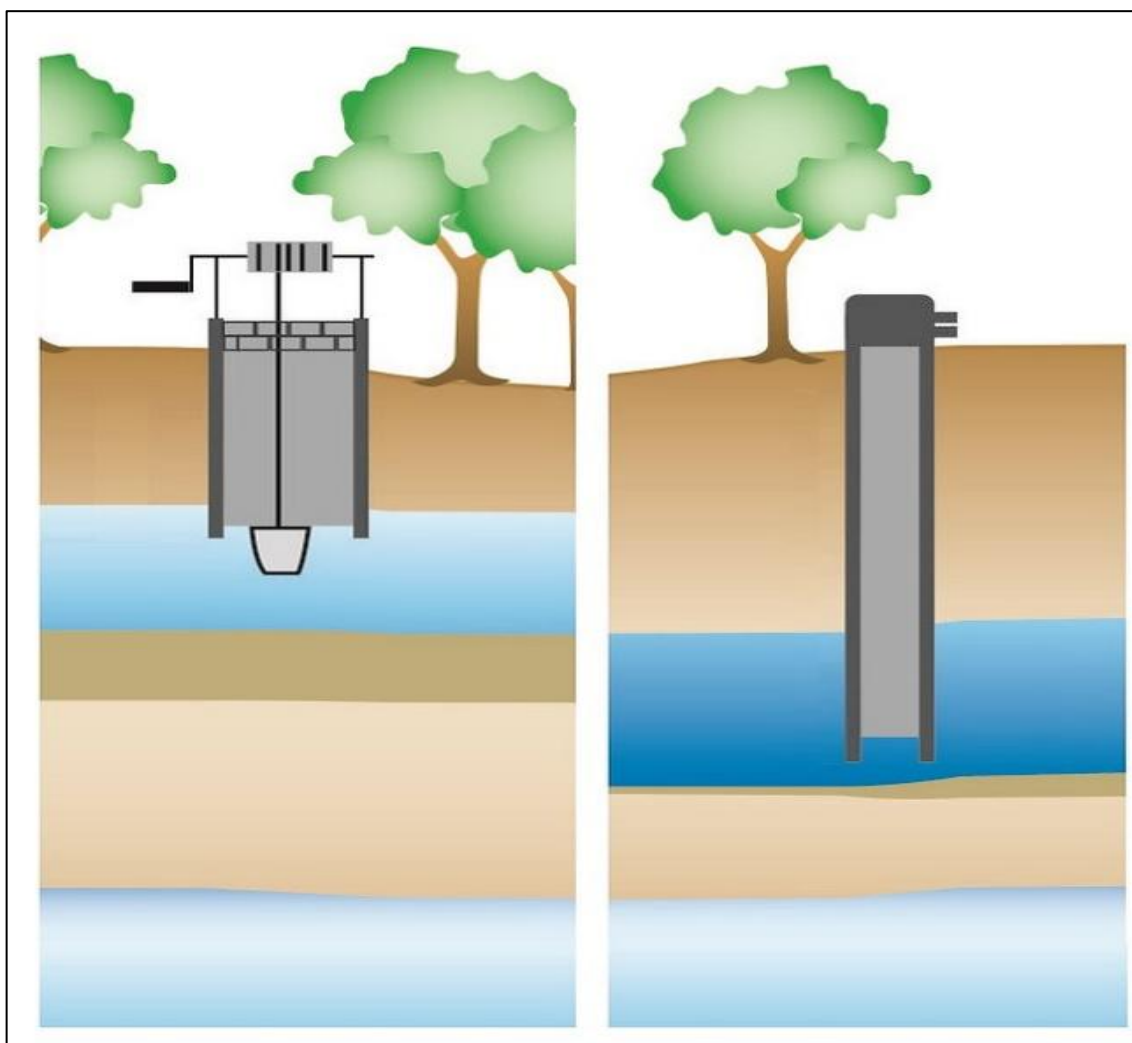
A principal diferença entre um poço raso e um poço profundo está relacionada à profundidade em que cada um é perfurado e à camada de água subterrânea que acessam. Em relação a profundidade, enquanto poços rasos perfuram no máximo 20m, poços profundos tendem a ir além de 20 metros ou até centenas de metros abaixo da superfície. Isso permite acessar camadas mais profundas de água subterrânea (Vasconcelos, 2014).

Poços profundos são frequentemente usados quando a demanda de água é maior, como para abastecer cidades, indústrias ou irrigação de grandes áreas agrícolas, sendo capaz de fornecer uma vazão maior de água (Vasconcelos, 2014).

A escolha entre um poço raso e um poço profundo depende das condições locais, das necessidades de água, do orçamento disponível e das regulamentações específicas da região. Ambos têm suas vantagens e desvantagens, e é importante garantir que sejam projetados, construídos e mantidos de forma adequada para fornecer água potável segura (Vasconcelos, 2014).

A seguir, um esquema que demonstra a diferença a nível de profundidade do poço raso para o poço profundo e o registro fotográfico de alguns poços profundos na zona rural de Pindamonhangaba.

Figura 5 - Diferença de poço raso para poço profundo.



Fonte: Foto de divulgação, 2023. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

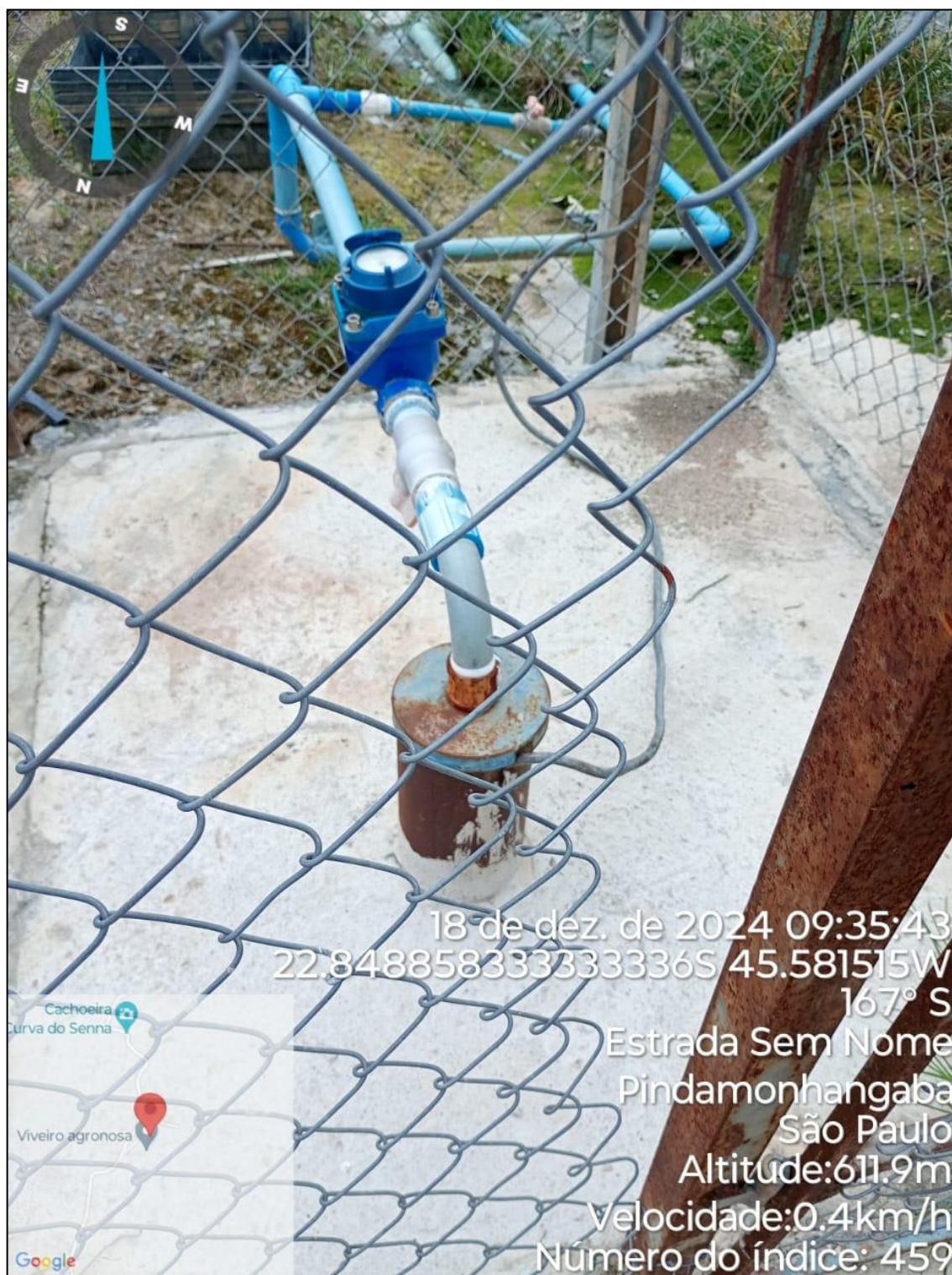
Abaixo seguem imagens de poços profundos na área rural de Pindamonhangaba.

Figura 6 - Poço profundo em propriedade rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 7 - Poço profundo em propriedade rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.8 Nascentes ou Minas

O abastecimento de água por meio de captação em nascentes ou minas é um processo que envolve a coleta de água diretamente de fontes naturais subterrâneas ou superficiais, onde a água brota de forma natural. Nascentes são pontos onde a água emerge do solo de maneira espontânea, enquanto as minas são cavidades subterrâneas que acumulam água (Calheiros et al., 2004).

Esse método de captação é especialmente vantajoso porque a água costuma ser de alta qualidade, geralmente livre de poluentes, tornando-a uma fonte confiável e sustentável para abastecimento humano, desde que seja adequadamente protegida contra contaminações e regulamentada para garantir a preservação da fonte (Calheiros et al., 2004). Abaixo segue uma imagem que representa um exemplo de captação em nascente e outra localizada em propriedade visitada do município.

Vale ressaltar que, durante as visitas técnicas realizadas, houve significativa dificuldade no registro fotográfico das captações de água em nascentes. Isso se deveu, em grande parte, à resistência dos moradores em permitir a entrada dos técnicos em suas propriedades e pelo fato de que muitos dos pontos de captação se encontram em áreas de difícil acesso ou distantes das residências, o que exigiu maior tempo de deslocamento e, em muitos casos, inviabilizou o registro visual dessas estruturas de captação.

Figura 8 - Exemplo de nascente.



Fonte: Foto de Divulgação, 2023. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 9 - Captação de água em nascente em propriedade de Pindamonhangaba.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

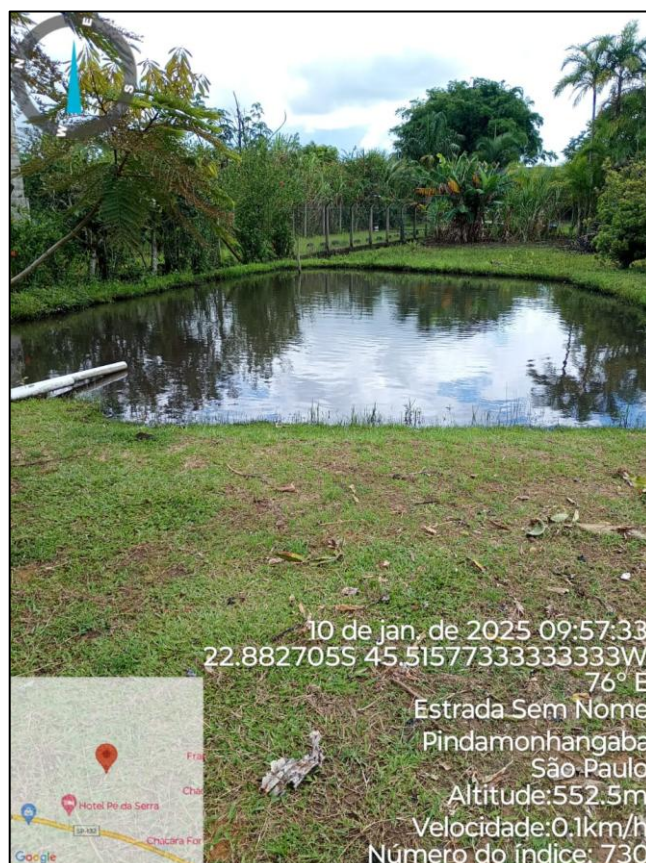
1.1.9 Represas ou Riachos

O abastecimento de água em áreas rurais por meio da captação em represas e riachos é uma prática comum para atender às necessidades das comunidades rurais e propriedades isoladas. Geralmente, pequenas represas são construídas para coletar água de riachos locais, criando um reservatório que armazena a água (Ferreira e Ferreira, 2016).

Essa água é então utilizada para abastecer as residências, a agricultura e o gado durante os períodos de estiagem. Em muitos casos, sistemas de canais ou tubulações simples são usados para transportar a água das represas até os locais de uso, garantindo um suprimento contínuo para as atividades rurais e abastecimento humano (Neto, 2011).

Abaixo um registro fotográfico de represa localizada na zona rural do município de Pindamonhangaba utilizada para abastecimento de água.

Figura 10 - Represa utilizada para abastecimento de água na zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

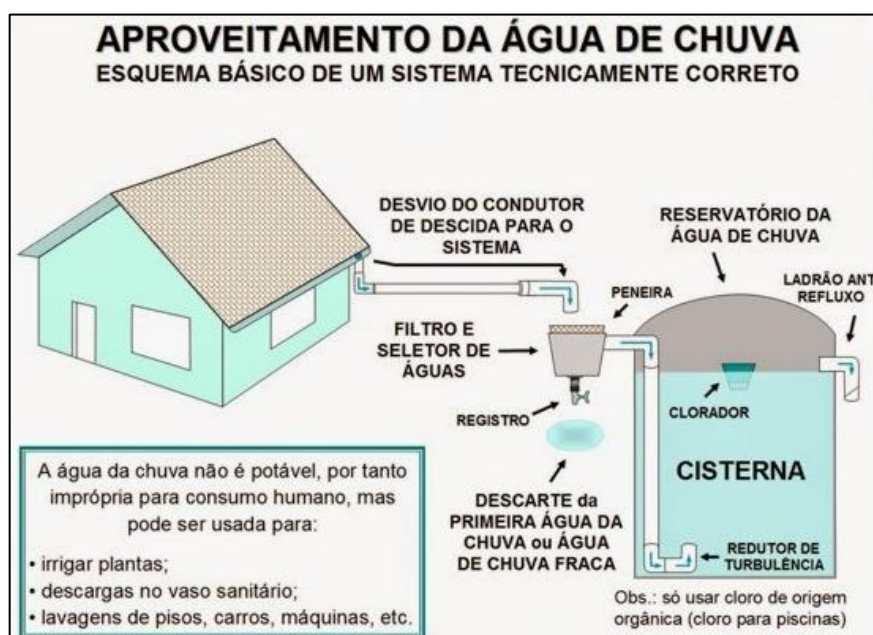
1.1.10 Reservatório de água da chuva

Os reservatórios de águas pluviais são estruturas vitais na gestão hídrica das áreas rurais, proporcionando uma série de benefícios essenciais. Além de abastecerem as comunidades rurais com água potável para uso doméstico e agrícola, esses reservatórios desempenham um papel fundamental na mitigação de inundações e na redução da erosão do solo, ao capturar e armazenar a água da chuva (Martins e Nogueira, 2015).

Essa prática não apenas garante uma fonte estável de água para irrigação agrícola, mas também contribui para a conservação da biodiversidade e a recarga de aquíferos, promovendo assim a sustentabilidade dos recursos hídricos e o desenvolvimento rural sustentável. Em resumo, os reservatórios de águas pluviais são componentes essenciais da infraestrutura hídrica rural, desempenhando um papel crucial na garantia de segurança hídrica e resiliência às mudanças climáticas nessas áreas (Oliveira, 2014).

O projeto e infraestrutura necessária para estes reservatórios variam de acordo com as especificações da propriedade, apresentando diferentes configurações considerando as peculiaridades presentes (Oliveira, 2014). Segue um exemplo de projeto para captação e armazenamento de águas pluviais.

Figura 11 - Exemplo de aproveitamento de água das chuvas.



Fonte: Fürst, 2014. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Abaixo um registro fotográfico de reservatório de água da chuva localizada na zona rural do município de Pindamonhangaba utilizada para abastecimento de água.

Figura 12 - Reservatório de água da chuva utilizado para abastecimento de água na zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.11 Panorama da Situação Atual dos Sistemas Existentes

Os tópicos a seguir irão demonstrar a situação atual dos sistemas individuais existentes na zona rural do município de Pindamonhangaba, baseando-se nos resultados obtidos através dos questionários presenciais aplicados durante as visitas técnicas às propriedades rurais. Esses dados fornecem uma visão detalhada das fontes de abastecimento utilizadas pelos moradores locais.

Para uma compreensão mais abrangente do cenário, os resultados serão extrapolados para a totalidade da área rural. Vale ressaltar, que em uma propriedade rural pode-se ter mais de uma moradia, ou até mesmo nenhuma moradia, visto que algumas localidades são totalmente voltadas para a produção agrícola ou agroindustrial, sem a presença de moradores.

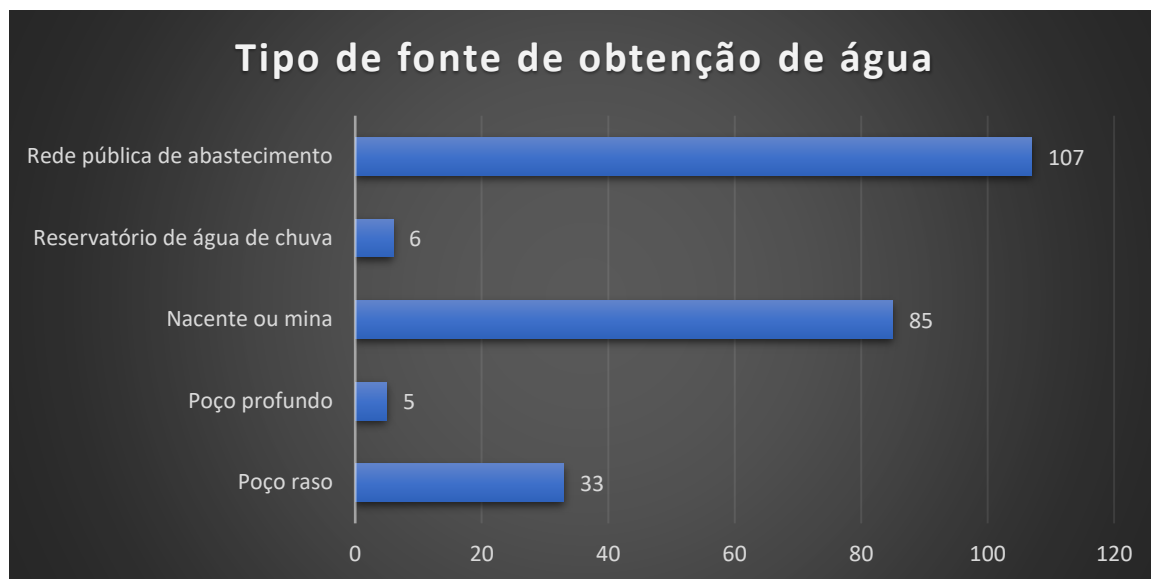
Este processo visa oferecer uma estimativa consistente da abrangência e das condições de abastecimento de água em toda a zona rural de Pindamonhangaba.

1.1.12 Abastecimento de Água

Como informado em tópicos anteriores, as formas de obtenção de água da zona rural do município de Pindamonhangaba dividem-se em: poços rasos, poços profundos, nascentes ou minas, reservatórios de água da chuva, captação em represas ou riachos, e em alguns casos a rede pública.

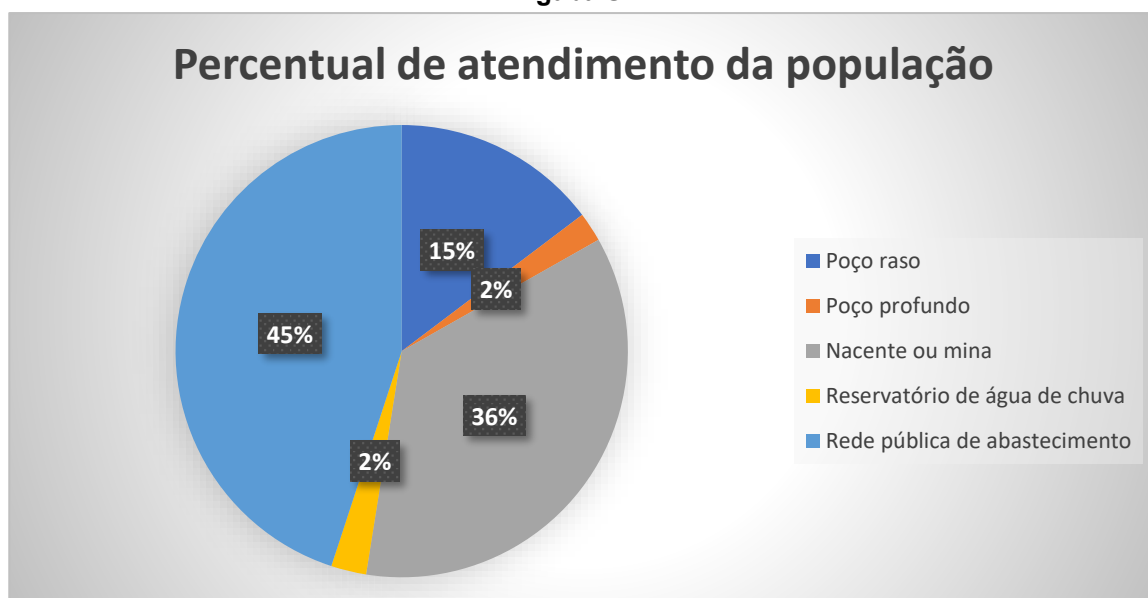
O Gráfico 5 demonstra a informação citada e quantifica em relação aos dados do levantamento de campo referente a aplicação do questionário na área rural.

Gráfico 5 - Formas de obtenção de água da zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 6 - Percentual de atendimento da população na zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A análise dos dados demonstra que a quantidade de propriedades atendidas pela rede pública é superior àquelas que utilizam sistemas individuais de captação, evidenciando a expansão da infraestrutura urbana para as áreas rurais. Isso pode ser explicado em parte, nos casos em que os bairros rurais, se encontrem próximas à zona urbana, onde o acesso à infraestrutura de saneamento costuma ser mais frequente.

A captação de água por nascente é a segunda forma mais predominante de obtenção na zona rural de Pindamonhangaba, com 85 propriedades adotando essa prática, seguida pela captação em poço raso, presente em 33 das propriedades. Esses dados refletem as respostas obtidas através dos questionários aplicados presencialmente nos bairros rurais do município.

É importante ressaltar que uma propriedade pode apresentar mais de uma forma de obtenção de água. Por exemplo, uma propriedade pode ter um poço raso para irrigação e um poço profundo para consumo humano.

A Tabela 2 apresenta as vantagens e desvantagens para cada fonte de obtenção de água existente na área rural.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens para as fontes de obtenção de água.

Fonte de obtenção de água	Vantagens	Desvantagens	Observação
Reservatório de água de chuva	Diminuição dos custos com abastecimento, fonte de água renovável e local e menor impacto ambiental.	Dependência do clima local, instalação de múltiplos dispositivos e manutenção frequente.	Em geral, a obtenção de água por esse reservatório de água da chuva é uma opção sustentável e que pode ajudar a reduzir o consumo de água tratada. Entretanto, o custo de implantação destes reservatórios pode ser relativamente alto, além da necessidade de manutenções.
Represas ou Riachos	Fácil acesso à água, custo inicial geralmente menor, fornecimento contínuo de água, versatilidade de uso.	Vulnerabilidade à contaminação por poluentes e esgotos, alta dependência de chuvas.	A captação em represas ou riachos é prática e de baixo custo inicial, mas está sujeita a variabilidade climática e riscos de contaminação, exigindo gestão cuidadosa para garantir qualidade e disponibilidade da água.
Nascente ou mina	Água de alta qualidade, custo baixo na captação e fornecimento contínuo de água.	Limitação às grandes demandas, vulnerabilidade à contaminação e risco de secagem.	A obtenção de água por nascente ou mina pode ser uma alternativa sustentável e econômica para o abastecimento de água em áreas rurais. No entanto, é importante tomar as medidas necessárias para garantir a qualidade e a segurança da água.

Fonte de obtenção de água	Vantagens	Desvantagens	Observação
Poço Profundo	Melhor qualidade da água, maior vazão e disponibilidade e vida útil mais longa.	Custo elevado, mais complexidade na construção e manutenção e necessidade de equipamentos específicos.	Se a disponibilidade de água subterrânea for adequada e a qualidade da água for satisfatória, a obtenção de água por poço profundo pode ser uma opção viável para o abastecimento de água em áreas rurais. No entanto, é importante considerar o custo de perfuração e manutenção do poço, bem como as necessidades de consumo de água.
Poço Raso	Custo mais baixo de perfuração e manutenção, simplicidade na construção e operação e adequado para uso doméstico em baixas demandas.	Vulnerável à contaminação superficial, baixa vazão e vida útil limitada.	Se a disponibilidade de água subterrânea em profundidade rasa for adequada e a qualidade da água for satisfatória, obtenção de água por poço raso pode ser uma opção viável para o abastecimento de água em áreas rurais. No entanto, é importante considerar o custo de perfuração e manutenção do poço, bem como as necessidades de consumo e qualidade de água.

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

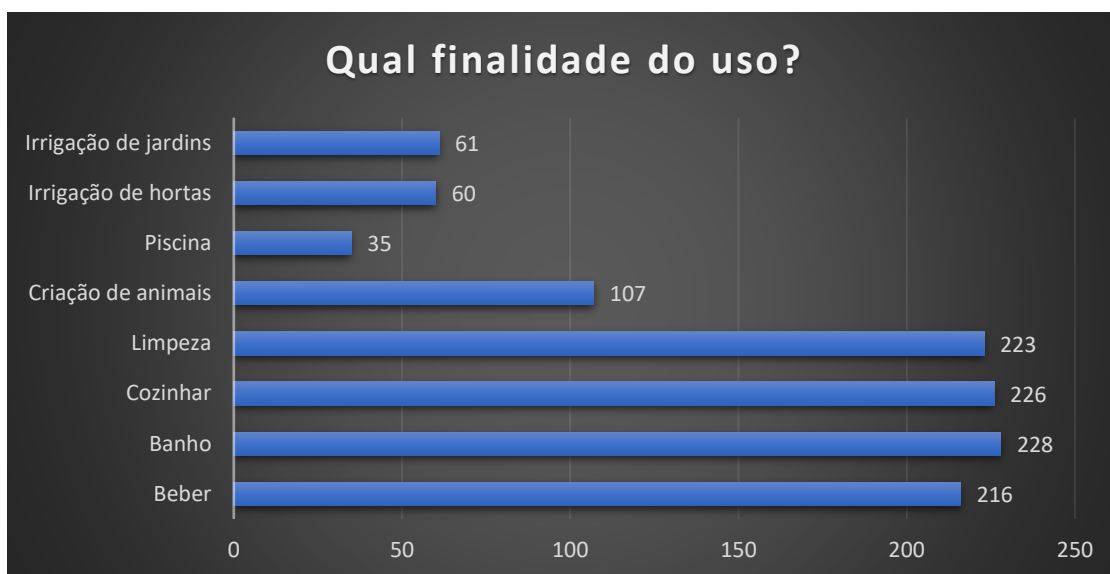
Embora seja possível listar as vantagens e desvantagens de cada método de captação de água, é fundamental considerar a realidade específica do ambiente onde será implantado e os usos previstos para o recurso hídrico.

Fatores como características geológicas, disponibilidade hídrica local, vulnerabilidade à contaminação, demanda da população, e exigências de qualidade para o uso final devem orientar a escolha do método mais adequado.

A avaliação integrada desses aspectos garante a sustentabilidade da captação, maximiza a eficiência do uso da água, e minimiza os impactos ambientais e socioeconômicos associados.

O Gráfico 7 apresenta a finalidade do uso da água para as fontes de obtenção de água existentes na área rural do município.

Gráfico 7 - Finalidade do uso de água da zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme observado, o uso doméstico da água é o mais frequente na zona rural de Pindamonhangaba, sendo utilizado para limpeza, preparo de alimentos, banho e consumo humano. Em seguida, tem-se o grande uso de água para a criação de animais e no desenvolvimento de hortas e jardins.

1.1.13 Poços Rasos ou Profundos

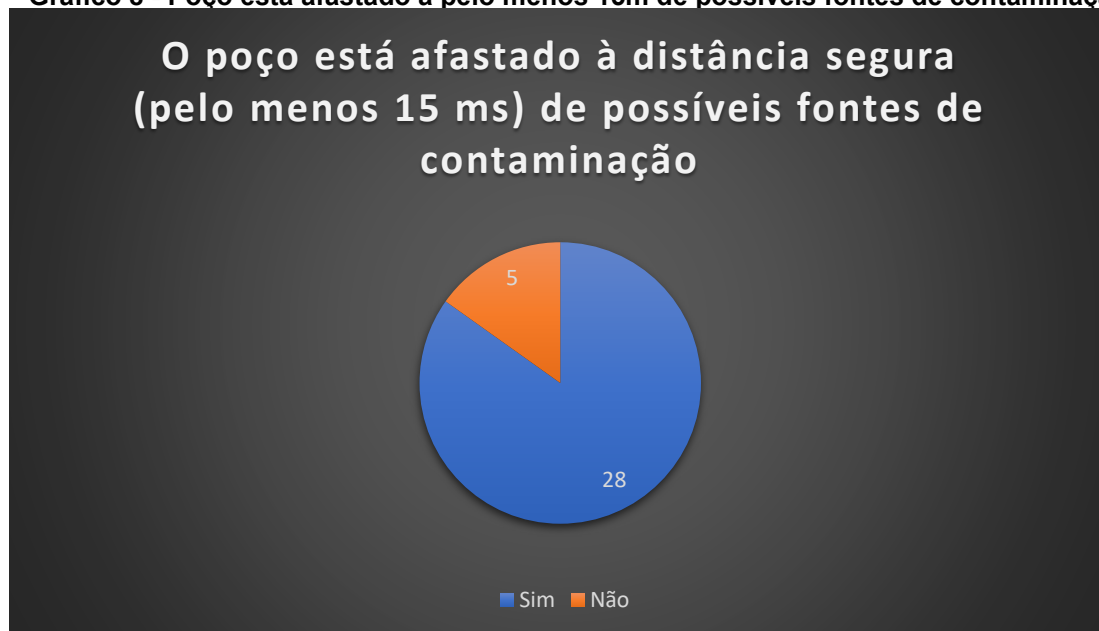
A área rural de Pindamonhangaba conta com uma grande quantidade de poços, tanto rasos quanto profundos, que são utilizados majoritariamente para o abastecimento de água da população.

É essencial garantir que esses poços estejam devidamente protegidos e sigam os parâmetros técnicos necessários para evitar contaminações, principalmente em relação aos poços rasos, que são mais vulneráveis a fontes de poluição superficial.

A análise da atual situação desses poços foi baseada nas informações coletadas durante os questionários aplicados nas visitas de campo.

O Gráfico 8 apresenta dados sobre a conformidade dos poços em relação à distância segura, que deve ser de pelo menos 15 metros de possíveis fontes de contaminação, como fossas rudimentares, local de criação de animais ou de aplicação de defensivos agrícolas, dentre outras.

Gráfico 8 - Poço está afastado a pelo menos 15m de possíveis fontes de contaminação.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme o gráfico, a maioria dos poços se encontra a uma distância mínima de 15 metros de possíveis fontes de contaminação. No entanto, aproximadamente 15% dos poços estão localizados em áreas que não atendem a esse critério de afastamento, o que aumenta o risco de contaminação. Essa proximidade pode resultar na infiltração de poluentes, como esgoto doméstico e resíduos agropecuários, comprometendo a qualidade da água consumida.

Ao extrapolar esses dados para a totalidade das 1.470 propriedades rurais habitadas, estima-se que cerca de 179 propriedades possuem poços localizados a uma distância segura de fontes de contaminação, enquanto 32 propriedades estão em situação de risco, com poços a menos de 15 metros dessas fontes.

Esta estimativa é fundamental para direcionar políticas de intervenção e conscientização, visto que poços mal localizados representam um perigo potencial de contaminação por substâncias químicas ou microrganismos patogênicos, como coliformes fecais, que podem comprometer a saúde pública e a segurança hídrica dessas áreas, principalmente se a fonte de água for compartilhada para duas ou mais famílias.

Já no Gráfico 9 é questionado se o poço se localiza em um nível superior ao da fossa.

Gráfico 9 - O Poço está localizado em um nível superior ao da fossa?



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

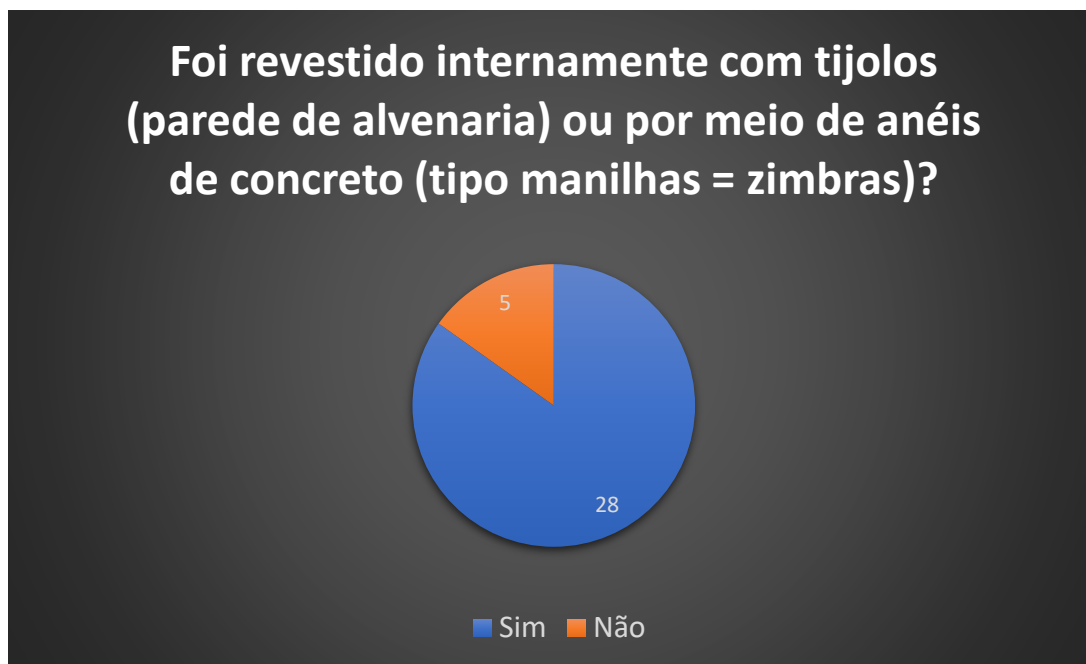
Verifica-se que a maioria dos poços se encontra em um nível superior ao da fossa, entretanto, ainda assim, 7 dos 33 poços estão posicionados abaixo do nível da fossa. A relevância de manter o poço em uma elevação superior à fossa reside na prevenção da contaminação da água do poço pelos efluentes provenientes da fossa. Extrapolando para a área rural total, estima-se que 166 propriedades mantêm o poço com a elevação à fossa, enquanto 45 propriedades não seguem esta recomendação.

Quando um poço é situado em uma cota inferior à fossa, surge o risco de que os efluentes da fossa contaminem a água do poço por meio do processo de infiltração.

Tal disposição inadequada aumenta a probabilidade de comprometimento da qualidade da água no poço, representando uma ameaça potencial à saúde pública e ressaltando a necessidade de práticas de localização e construção adequadas para infraestruturas de abastecimento de água.

O Gráfico 10 mostra se os poços são revestidos internamente ou não.

Gráfico 10 - Poço revestido internamente com tijolos ou por meio de anéis de concreto.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

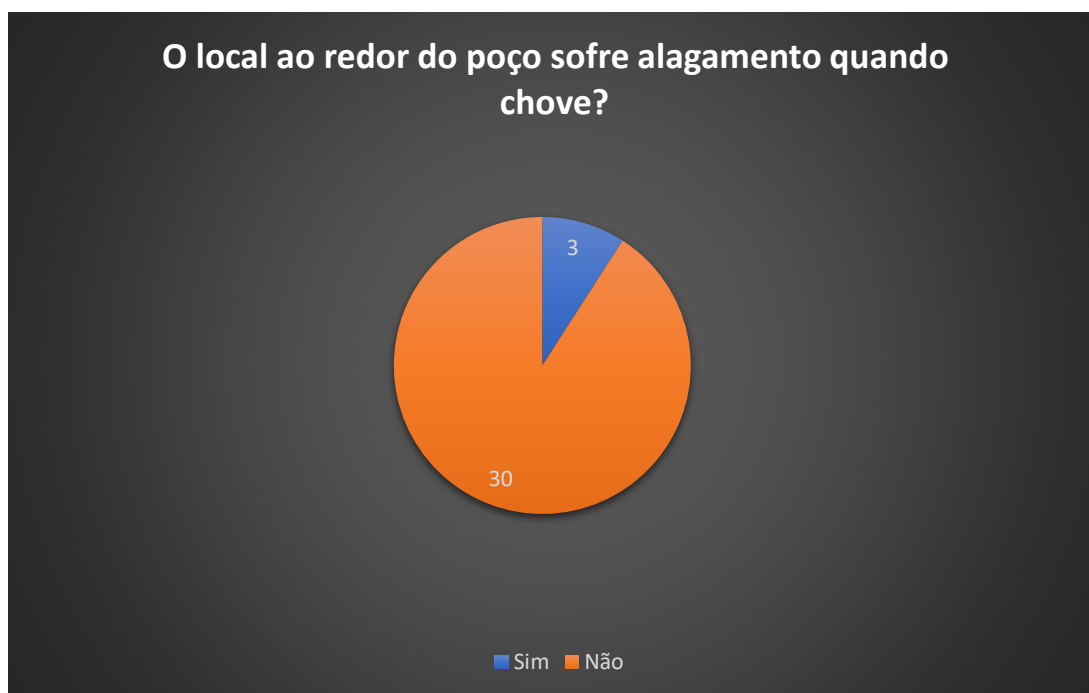
Observa-se que apenas 15% das propriedades entrevistadas encontram-se com o revestimento inadequado dos poços. Extrapolando este dado para a área rural total de Pindamonhangaba, estima-se que 32 propriedades não apresentam revestimentos em seus poços, enquanto 179 possuem tal adequação.

Os poços demandam proteção a fim de prevenir contaminações externas. Para tanto, é recomendado revestir e impermeabilizar os primeiros 3 metros a partir da superfície do terreno.

O material usualmente empregado para esse fim inclui alvenaria de tijolos ou concreto, sendo que anéis de concreto podem facilitar o processo construtivo. O revestimento deve estender-se para o exterior em uma faixa de 50 a 80 cm, onde é crucial ser resguardado por uma tampa, que pode ser confeccionada em concreto, madeira, fibra de vidro ou outro material apropriado. Essa configuração permite a abertura da tampa, viabilizando a inspeção quando necessária (Vasconcelos, 2014).

Além disso, é fundamental a construção de uma calçada de 1 metro ao redor da boca do poço, com o objetivo de proteger o poço contra a entrada de enxurrada ou infiltração pelas paredes. O Gráfico 11 apresenta os dados levantados a respeito do alagamento ao redor dos poços.

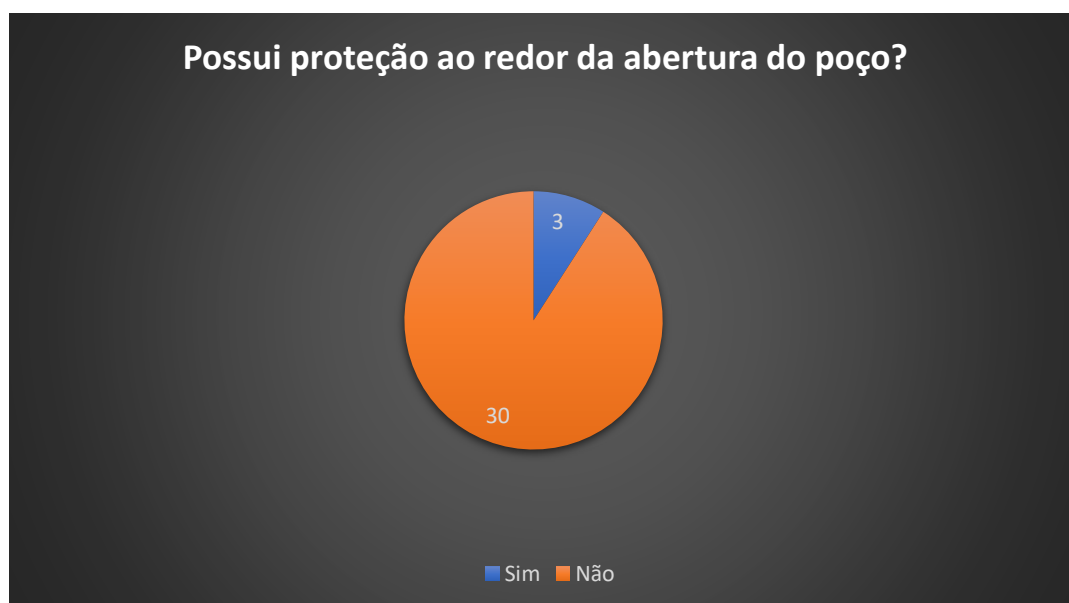
Gráfico 11 - Ao redor do poço sofre alagamento quando chove.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Em relação as ocorrências de alagamentos ao redor dos poços em dias de chuva, cerca de 10% das propriedades afirmaram ter este tipo de problema, representando aproximadamente 21 propriedades. O Gráfico 12 indica se os poços possuem proteção ao redor da abertura.

Gráfico 12 - Possui proteção ao redor da abertura do poço.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme os dados, cerca de 90% possuem proteção, evitando assim o escoamento da chuva para o interior dos poços. Extrapolando o valor para o total de propriedades na zona rural de Pindamonhangaba, estima-se que 190 propriedades possuem tal proteção, enquanto 21 afirmaram não possuir.

Na Figura 13 é mostrado um poço com proteção ao redor da abertura, impedindo o escoamento de águas pluviais.

Figura 13 - Poço com altura na abertura visando impedir entrada de águas pluviais.



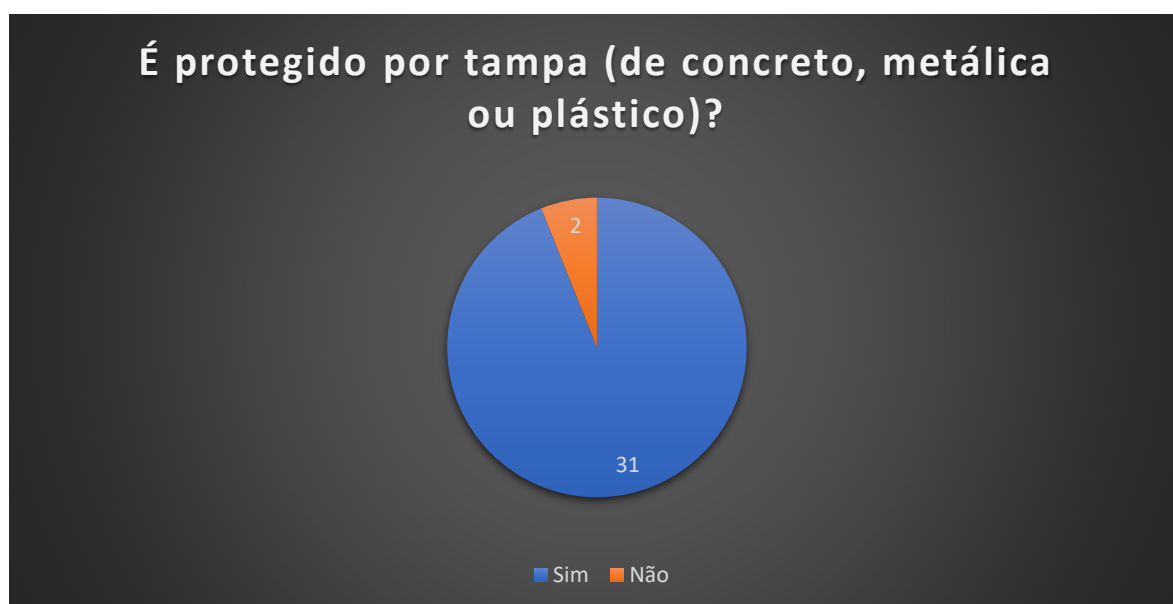
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Os Gráficos a seguir, indicam a situação em que se encontra a tampa dos poços nas propriedades rurais visitadas. A tampa de um poço de captação de água subterrânea é uma peça fundamental para a proteção da qualidade da água. Ela impede

que a chuva, animais, detritos e outros contaminantes entrem no poço, contaminando a água que é extraída.

A tampa deve ser totalmente íntegra e vedada para garantir a sua eficiência. Qualquer abertura ou rachadura pode permitir a entrada de contaminantes. A tampa também deve estar em boas condições, sem ferrugem, corrosão ou outros danos. No Gráfico 13 é indicado que apenas 2, das 33 propriedades que afirmaram possuir poços para a captação de água, não possuem tal proteção, representando cerca de 211 propriedades totais.

Gráfico 13 - Poço é protegido por tampa.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 14 indica se as tampas de proteção dos poços estão íntegras e vedam totalmente a abertura do poço.

Entre as propriedades que possuem proteção nas aberturas dos poços, 10%, que representa aproximadamente 21 propriedades, relataram que as tampas não estão completamente vedadas, o que pode comprometer a qualidade da água captada.

Gráfico 14 - A tampa está íntegra e veda totalmente o poço.



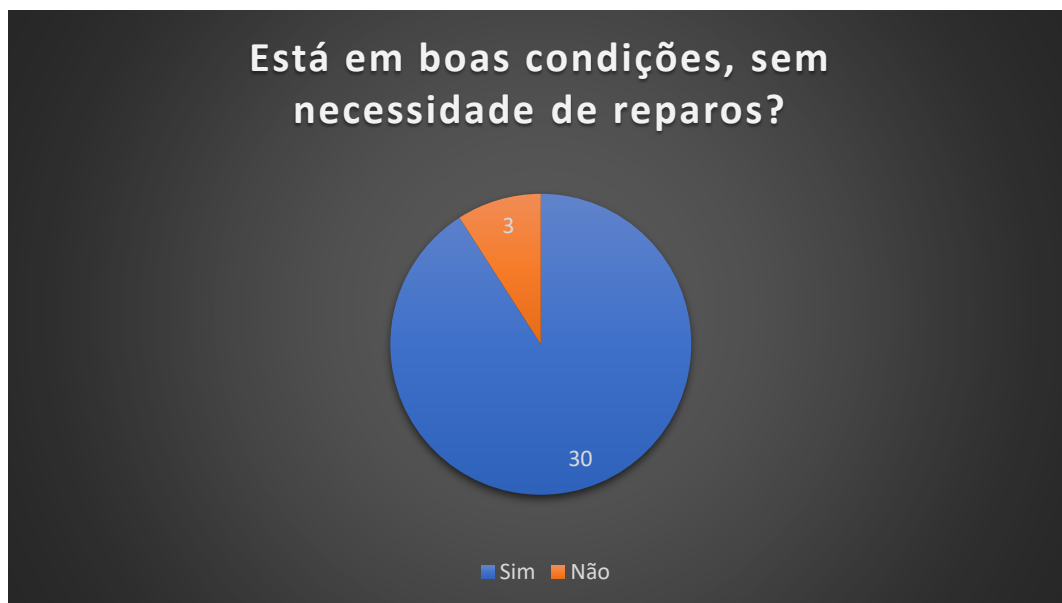
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 15 apresenta dados sobre as condições das tampas de proteção dos poços de captação de água nas propriedades rurais, sendo um fator crítico tanto para a qualidade da água quanto para a segurança das pessoas. Poços com tampas inadequadas podem facilitar a entrada de contaminantes e sujeira, comprometendo a potabilidade da água e expondo os usuários a riscos à saúde.

Com base nas respostas dos questionários, 3 das 30 propriedades avaliadas apresentaram tampas de proteção em condições inadequadas. Ao extrapolar esses dados para a totalidade das propriedades rurais habitadas, estima-se que aproximadamente 21 propriedades necessitam de melhorias nas tampas de proteção de seus poços. Por outro lado, 190 propriedades estão em conformidade com as boas práticas de proteção, apresentando tampas em boas condições.

Estes resultados destacam a importância de programas de fiscalização e melhorias estruturais, garantindo que todas as propriedades mantenham seus poços seguros e livres de potenciais contaminantes.

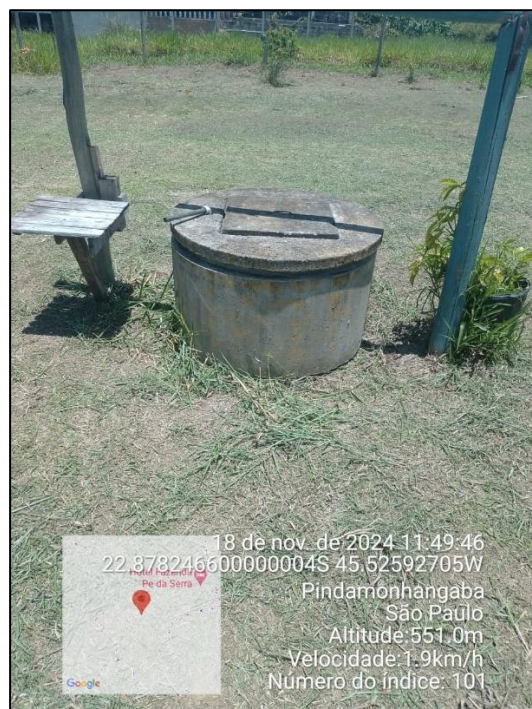
Gráfico 15 - A tampa está em boas condições.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Na Figura 14 são apresentados dois poços em conformidade, com proteção na abertura e em boas condições, registradas durante aplicações dos questionários em Pindamonhangaba.

Figura 14 - Poços com a tampa devidamente vedada e em boas condições.



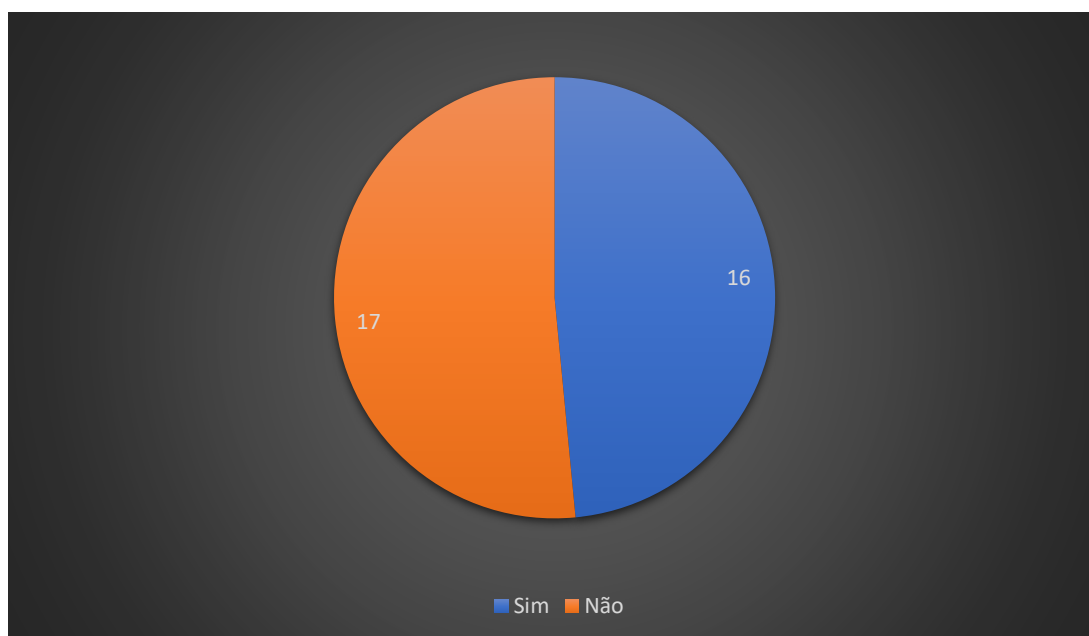
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Verifica-se no Gráfico 16 que a maioria das residências não realiza o tratamento para a desinfecção da água dentro do poço, seja com a aplicação de cal hidratada ou cloro.

De acordo com os questionários aplicados, 17 propriedades afirmaram não realizar o tratamento, enquanto 16 tratam a água dentro dos poços, representando, em relação às propriedades totais, cerca de 110 e 101 propriedades, respectivamente.

A desinfecção da água dentro do poço é importante para eliminar os microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, que podem causar doenças graves à saúde humana. A desinfecção da água dentro do poço é uma medida eficaz para eliminar esses microrganismos patogênicos e garantir a segurança da água para consumo humano.

Gráfico 16 - É feito algum tratamento para desinfecção da água dentro do poço.



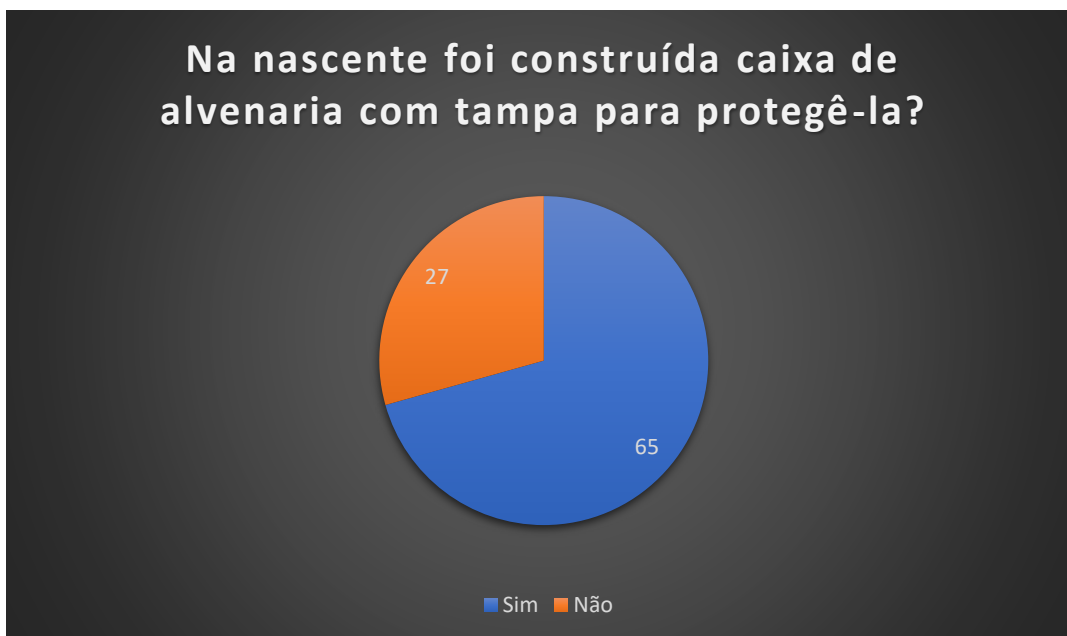
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.14 Nascente ou mina

As nascentes e minas são fontes de água importantes para algumas propriedades rurais. A água captada dessas fontes pode apresentar qualidade superior à da água de poço, mas é mais suscetível à contaminação.

Adiante serão apresentados os resultados obtidos sobre a atual condição que se encontram as propriedades que utilizam as nascentes ou minas como captação de água.

Gráfico 17 - Foi construída na nascente caixa com alvenaria com tampa.



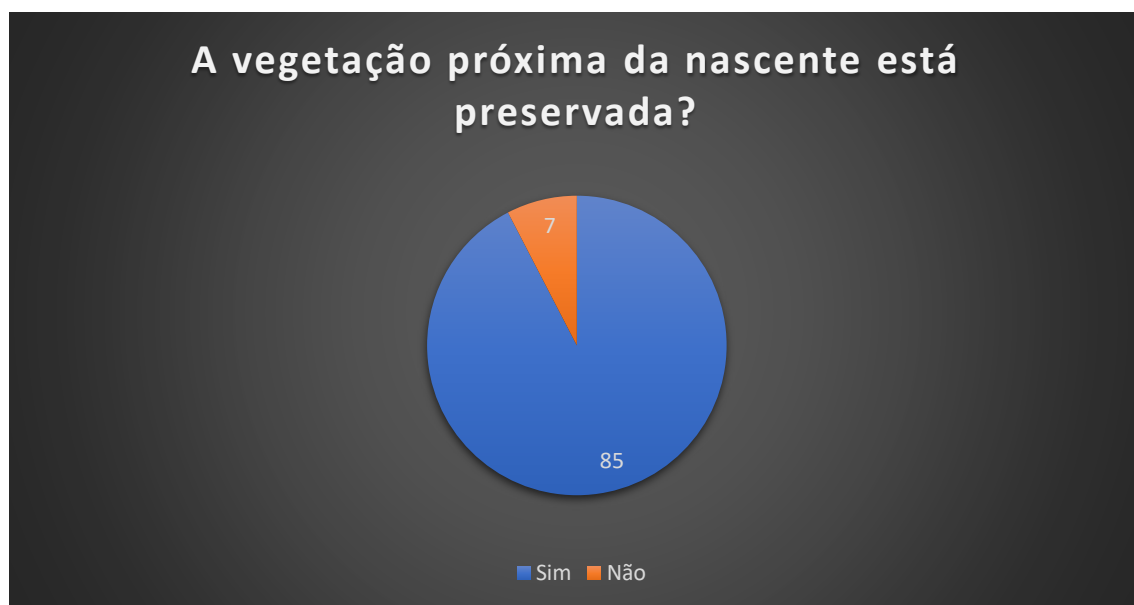
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com o questionário, 65 das 92 propriedades que usam a nascente como fonte de abastecimento afirmaram ter construído caixa com alvenaria e tampa para captação de água de nascente, extrapolando para a área rural total do município, estima-se o número de 406 propriedades.

As demais propriedades não construíram, representando, em relação ao total, cerca de 169 propriedades. A construção de uma caixa com alvenaria e tampa é uma medida simples e eficaz para proteger a qualidade da água e garantir sua disponibilidade.

O Gráfico 18 apresenta a situação da vegetação no entorno das nascentes. Constata-se que 85 das 92 propriedades afirmaram que a vegetação está preservada, extrapolando para a totalidade da área rural do município, 532 estão com a mata ciliar preservada. Apenas 7 propriedades afirmaram que a vegetação não está preservada, representando aproximadamente 43 propriedades em relação ao total do município.

Gráfico 18 - A vegetação próxima da nascente está preservada.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A vegetação no entorno de nascentes desempenha uma função crucial na preservação e proteção. Além de contribuir para a estabilidade do solo e prevenir a erosão, a vegetação atua como um filtro natural, ajudando a purificar a água que emerge da nascente, removendo sedimentos e poluentes. A presença de uma vegetação densa e diversificada ao redor das nascentes também contribui para a manutenção da umidade do solo e regulação da vazão (Ferreira, Ferreira e Botelho, 2007).

1.1.15 Armazenamento

O armazenamento de água para sistemas individuais de captação de água é o processo de coleta e armazenamento de água para uso humano, animal ou irrigação. O armazenamento é uma parte essencial de qualquer sistema de captação de água, pois possibilita a reserva de água para uso futuro, garantindo o fornecimento de água mesmo em períodos de escassez.

O Gráfico 19 mostra, conforme as residências rurais onde foram aplicados os questionários, se existe armazenamento de água nas propriedades.

Gráfico 19 - Existe armazenamento de água na propriedade.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Das 230 respostas obtidas, 22 (cerca de 9,57%) indicaram que não há sistema de armazenamento de água no imóvel. Esta taxa pode ser explicada por diversos fatores. Primeiramente, há a possibilidade de que alguns moradores tenham interpretado incorretamente a pergunta, associando "armazenamento de água" apenas a sistemas mais complexos, como grandes cisternas ou reservatórios visíveis, sem considerar outras formas mais simples e comuns de armazenar água, como caixas d'água domésticas.

Outro fator relevante pode ser a falta de conhecimento técnico dos moradores sobre o sistema existente na propriedade, especialmente se o entrevistado não for o proprietário, mas sim um empregado, caseiro ou arrendatário, que pode não estar ciente de todos os aspectos infraestruturais da propriedade.

A ausência de informações claras também pode se relacionar à transitoriedade de alguns moradores, como trabalhadores rurais temporários, que podem não estar familiarizados com os detalhes do sistema de abastecimento.

No Gráfico 20, o questionamento acerca do armazenamento de água nos imóveis está relacionado se o mesmo é devidamente composto de caixa d'água com tampa.

Apesar dos benefícios, as caixas d'água são locais potenciais de contaminação da água, podendo causar prejuízos à saúde dos seus usuários. Assim, é fundamental

que sejam instaladas e mantidas corretamente, com proteção e limpezas periódicas adequadas.

Gráfico 20 - A água é armazenada em caixa d'água com tampa.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Os resultados indicam que, dos 208 imóveis que informaram possuir algum sistema de armazenamento de água, 100% utilizam caixas d'água com tampa, demonstrando uma prática amplamente adotada e eficiente para proteger a qualidade da água.

Quando extrapolado para toda a área rural do município, este número representa cerca de 1330 propriedades. No entanto, aproximadamente 3% da amostra apontou vulnerabilidades no sistema de armazenamento de água, sugerindo uma necessidade de melhoria nas condições de segurança hídrica em algumas propriedades.

O Gráfico 21 mostra se os reservatórios das propriedades são elevados e ligados a encanamentos e torneiras, onde cerca de 91% possuem a adequação, representando em relação à população total cerca de 1.337 propriedades.

Além de garantir a distribuição da água, o reservatório elevado e ligado a encanamento e torneiras também pode ajudar a proteger a qualidade da água. A elevação do reservatório dificulta a entrada de contaminantes, como insetos, animais e sujeira.

Gráfico 21 - Reservatório é elevado e ligado a encanamento e torneiras.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A Figura 15 apresenta tal dispositivo em conformidade.

Figura 15 - Reservatório elevado ligado a encanamentos na área rural de Pindamonhangaba.

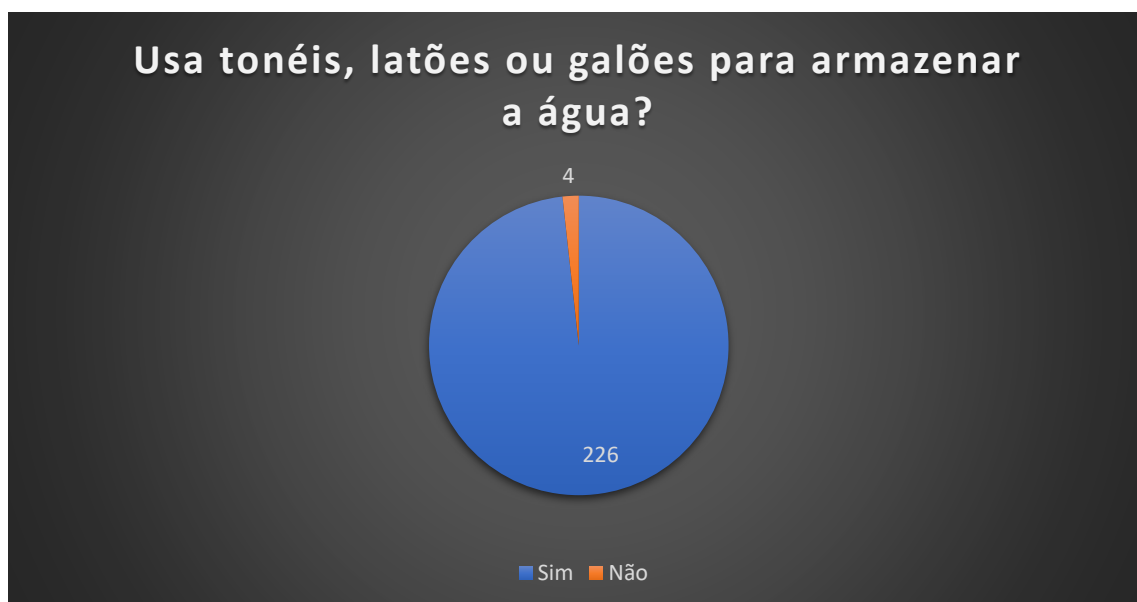


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme os dados apresentados no Gráfico 22, 226 das 230 propriedades não utilizam tonéis, latões ou galões para o armazenamento de água. Contudo, aproximadamente 2% das propriedades fazem uso desses recipientes, o que destaca a importância de medidas de precaução, especialmente no que diz respeito à vedação adequada com tampas.

Estes recipientes podem representar uma potencial fonte de contaminação da água se não forem devidamente manuseados e mantidos, colocando em risco a qualidade da água armazenada e, consequentemente, a saúde dos moradores.

Gráfico 22 - Usa tonéis, latões ou galões para armazenar a água.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

No Gráfico 23, é apresentada a proporção das propriedades que utilizam recipientes, como jarras, canecas ou baldes, para a captação de água em reservatórios baixos, sendo que a grande maioria (cerca de 99%) não faz uso desses dispositivos. Entretanto, o restante da amostra, que representa aproximadamente 147 propriedades, utiliza jarras ou canecas para a coleta da água.

É fundamental que esses recipientes sejam mantidos higienizados para garantir a segurança hídrica e prevenir possíveis contaminações, assegurando a qualidade da água destinada ao consumo.

Gráfico 23 - Usam recipientes para a coleta de água dos reservatórios baixos.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Da mesma forma que os recipientes que forem utilizados para a captação em reservatórios baixos, devem estar higienizados, também devem estar em conformidade os dispositivos utilizados para a coleta em poços rasos, evitando assim a contaminação da água.

1.1.16 Tratamento e Qualidade da Água

O tratamento da água é um processo essencial para remover contaminantes e garantir a segurança da água para consumo humano. A qualidade da água também é importante para a saúde da população, pois a água contaminada pode causar uma série de doenças, como diarreia, cólera, hepatite A e outras (Cordeiro, 2008).

Na área rural, as fontes de água potável são mais variadas do que nas áreas urbanas, incluindo poços, nascentes, rios e córregos. No entanto, essas fontes podem estar sujeitas a uma série de contaminantes, como esgotos, agrotóxicos, resíduos sólidos e outros poluentes (Cordeiro, 2008).

O tratamento da água pode ser realizado de diversas formas, incluindo filtração, cloração, fluoretação e outros processos. A escolha do método de tratamento mais adequado depende da água bruta e dos objetivos de tratamento (Cordeiro, 2008).

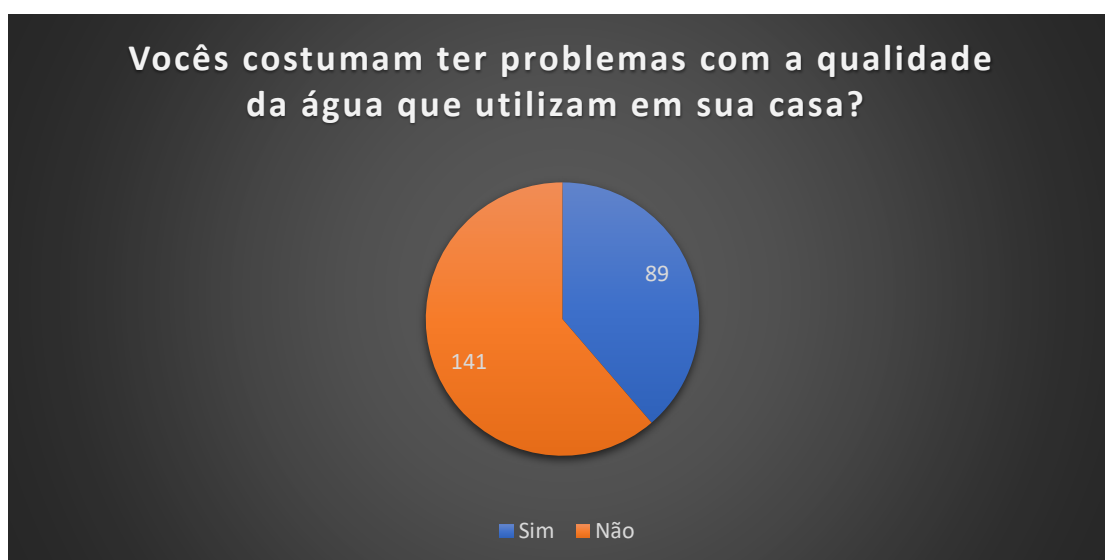
No Brasil, a lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determina que as áreas rurais devem ter acesso à água potável tratada.

Para garantir o tratamento e a qualidade da água na área rural, é importante que sejam realizados os seguintes investimentos:

- Educação sanitária: A população deve ser conscientizada sobre a importância da água tratada e sobre os riscos da água contaminada;
- Monitoramento da qualidade da água: É importante monitorar regularmente a qualidade da água para garantir que ela esteja dentro dos padrões exigidos.

A seguir, será apresentado o panorama da atual situação do tratamento e qualidade da água dos sistemas existentes em propriedades rurais do município de Pin-damonhangaba.

Gráfico 24 - Costuma ter problemas com a qualidade da água que utilizam.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Com base no Gráfico 24, 89 das 230 propriedades afirmaram ter problemas com a qualidade da água que utilizam, extrapolando para a totalidade da área rural do município, estima-se o número de 569 propriedades com este problema.

Também foi perguntado, se a água consumida possuía alguma característica relacionada à presença de cor, sabor, odor ou transparência, onde boa parte das

propriedades entrevistadas afirmaram ter este tipo de problema. De acordo com Gráfico 25, cerca de 41% das residências notaram características atípicas na água, extrapolando para toda a área rural, tem-se o número de 601 propriedades, enquanto 869 não notaram nenhum tipo de alteração na água consumida.

Gráfico 25 - Percebeu alteração na cor, odor, sabor ou na transparência da água.

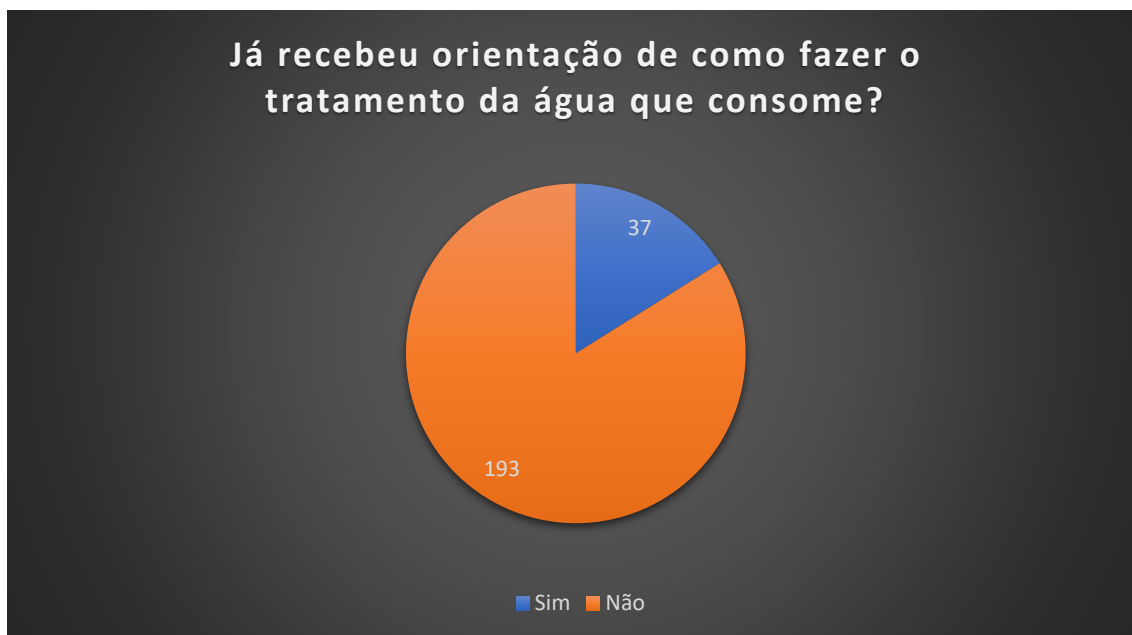


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme o Gráfico 26, relativo às orientações sobre como realizar o tratamento da água consumida, cerca de 84% das propriedades afirmaram não ter recebido nenhum tipo de recomendação, extrapolando para a área rural do município de Pindamonhangaba, tem-se o número de 1.235 propriedades.

Este número é relevante, pois aponta para a existência de um público-alvo potencial para ações de educação e conscientização sobre o tema.

Gráfico 26 - Recebeu orientação de como fazer o tratamento da água que consome.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 27 mostra se a água para consumo doméstico na propriedade é tratada com cloro ou fervendo a água. A ingestão de água contaminada pode causar diarreias e doenças parasitárias. De acordo com os questionários, a maioria das propriedades rurais não realiza tal tratamento, apresentando o resultado de cerca de 73% dos entrevistados, onde estima-se cerca de 1.073 propriedades totais.

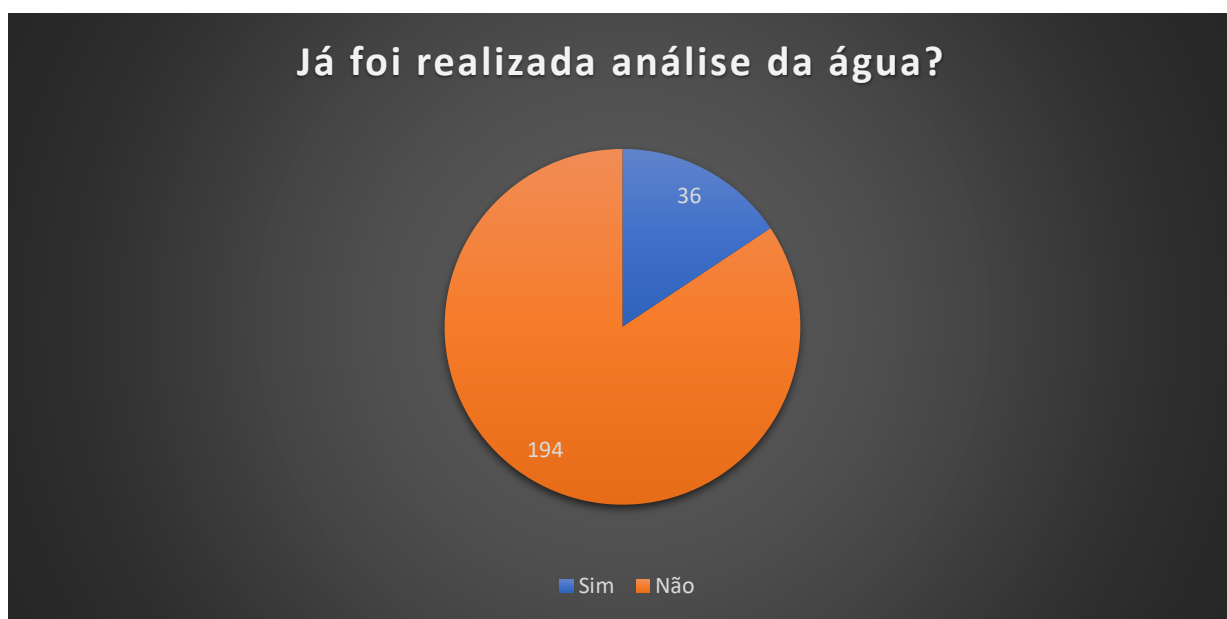
Gráfico 27 - A água para consumo doméstico é devidamente tratada com cloro ou fervida.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com o Gráfico 28, percebe-se o número majoritário de propriedades que nunca realizaram a análise das águas consumidas, representando cerca de 84% dos entrevistados, enquanto o restante já teve a qualidade da água analisada pelo menos uma vez, o que é um fator importante para garantir a segurança e a saúde dos moradores, diminuindo o risco de consumo de água imprópria.

Gráfico 28 - Já foi realizada análise da água.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.1.17 Análise Crítica do Sistema de Abastecimento de Água de Pindamonhangaba

Para compreender melhor a situação local e embasar as ações propostas, foi realizada uma pesquisa de opinião com duas pessoas de referência na comunidade, cujas percepções refletem os desafios enfrentados pela população rural. As questões levantadas durante essas consultas são fundamentais para a formulação de estratégias eficazes de gestão de abastecimento de água na área rural:

As principais deficiências que podem ser citadas no abastecimento de água na zona rural de Pindamonhangaba são:

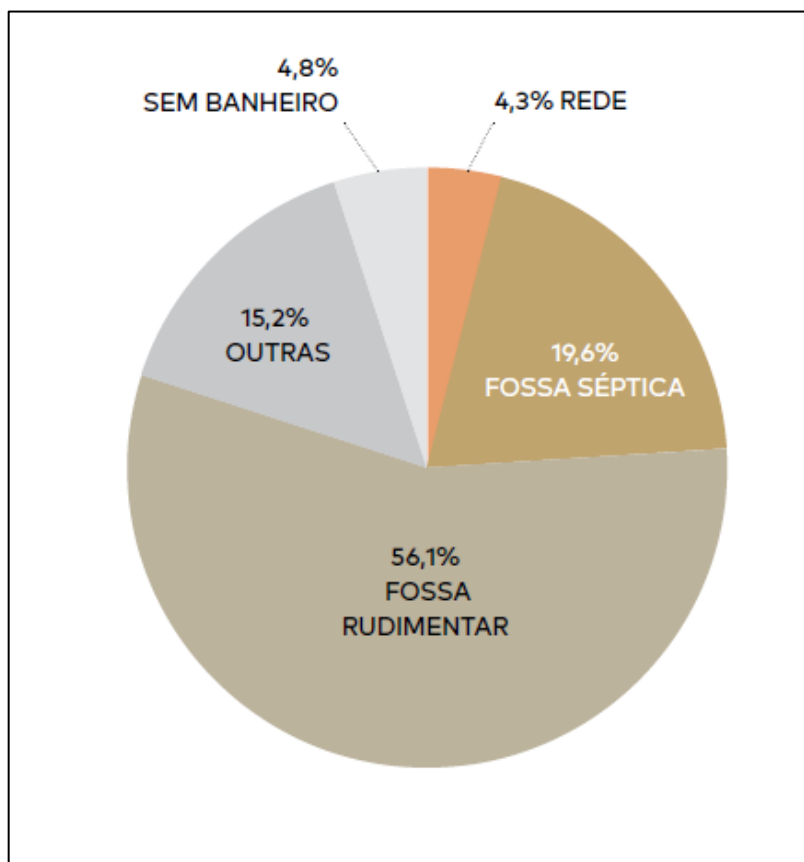
- Propriedades rurais que não realizam nenhum tipo de tratamento da água dentro do poço;
- Propriedades rurais que captam água de nascentes sem caixa com alvenaria ou tampa;
- Falta de orientação do Poder Público em relação ao tratamento da água que consome;
- Propriedades rurais que não fervem ou tratam com cloro a água consumida;
- Propriedades rurais que nunca fizeram análise da água.

A partir das deficiências levantadas serão apresentadas propostas mitigatórias na etapa de Prognóstico.

1.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), o Bioma Mata Atlântica, o qual faz parte o município de Pindamonhangaba, no que diz respeito ao esgotamento sanitário, as fossas rudimentares são a solução mais utilizada no meio rural, abrangendo cerca de 60% do total de domicílios rurais residentes do Bioma. O Gráfico 29 expõe tal informação.

Gráfico 29 – Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Mata Atlântica.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) no perímetro rural e nas macrozonas rurais do município de Pindamonhangaba é composto por sistemas individuais de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) nas propriedades.

Os sistemas individuais de esgotamento sanitário, também conhecidos como sistemas descentralizados, são recomendados para atender residências unifamiliares ou pequenos grupos de contribuintes, em áreas com baixa densidade populacional e nível de lençol freático adequado (Silva, 2017). Isso porque, normalmente, a disposição final do efluente tratado envolve a infiltração no solo.

É evidente que o despejo de esgoto sanitário sem tratamento nos mananciais piora a qualidade da água, sendo de extrema importância tratar e dispor adequadamente o esgoto (Costa e Guilhoto, 2014).

Em algumas áreas, essa questão é complicada devido ao afastamento em relação às estações de tratamento de esgoto, à geografia local, ou mesmo, à falta de infraestrutura. Neste contexto, uma solução é a descentralização do tratamento do

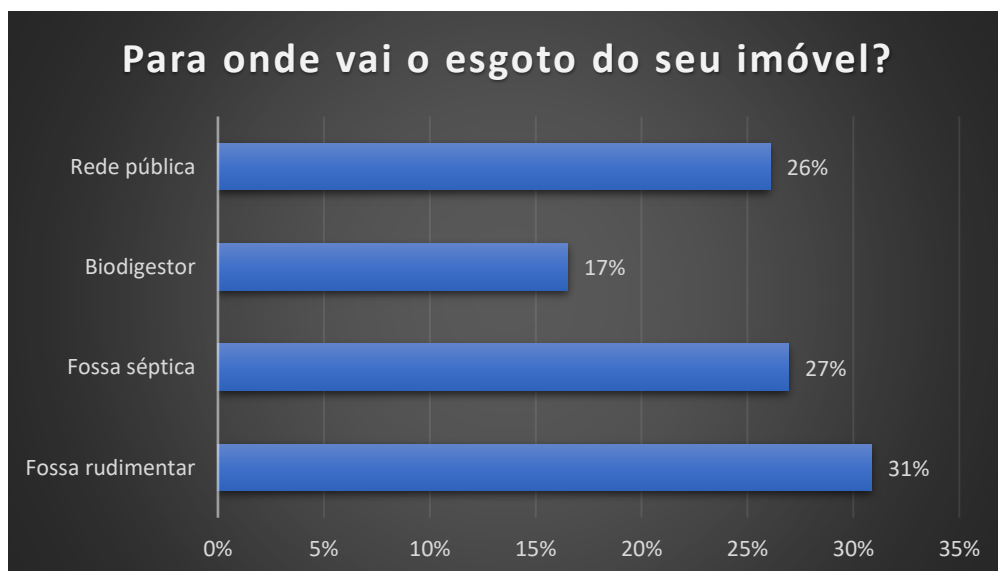
esgoto doméstico, com a implantação de sistemas individuais, como fossas sépticas, filtros e sumidouros (Costa e Guilhoto, 2014).

Os sistemas individuais de esgotamento sanitário, desenvolvidos para atender comunidades mais isoladas, são uma opção efetiva como solução sanitária para o tratamento dos efluentes domésticos, quando bem executados e operados (Gazal, 2022). São um dos mais simples, porém eficientes, sistemas de tratamento de esgoto doméstico previstos nas normas NBR 7.229 e 13.969, indicados para residências ou instalações localizadas em áreas não providas de rede coletora de esgoto.

Na área rural de Pindamonhangaba, o esgoto é coletado, em sua maioria, por fossas rudimentares, representando cerca de 31% do total dos questionários aplicados, seguido de fossas sépticas (27%), conforme apresentado no Gráfico 30.

Extrapolando este índice para toda a área rural de Pindamonhangaba, aproximadamente 454 propriedades utilizam de fossas rudimentares em suas residências, indicando um valor expressivo, já que estes dispositivos são mais susceptíveis a contaminação do solo ou de águas subterrâneas.

Gráfico 30 – Onde vai o esgoto do imóvel na área rural do município.



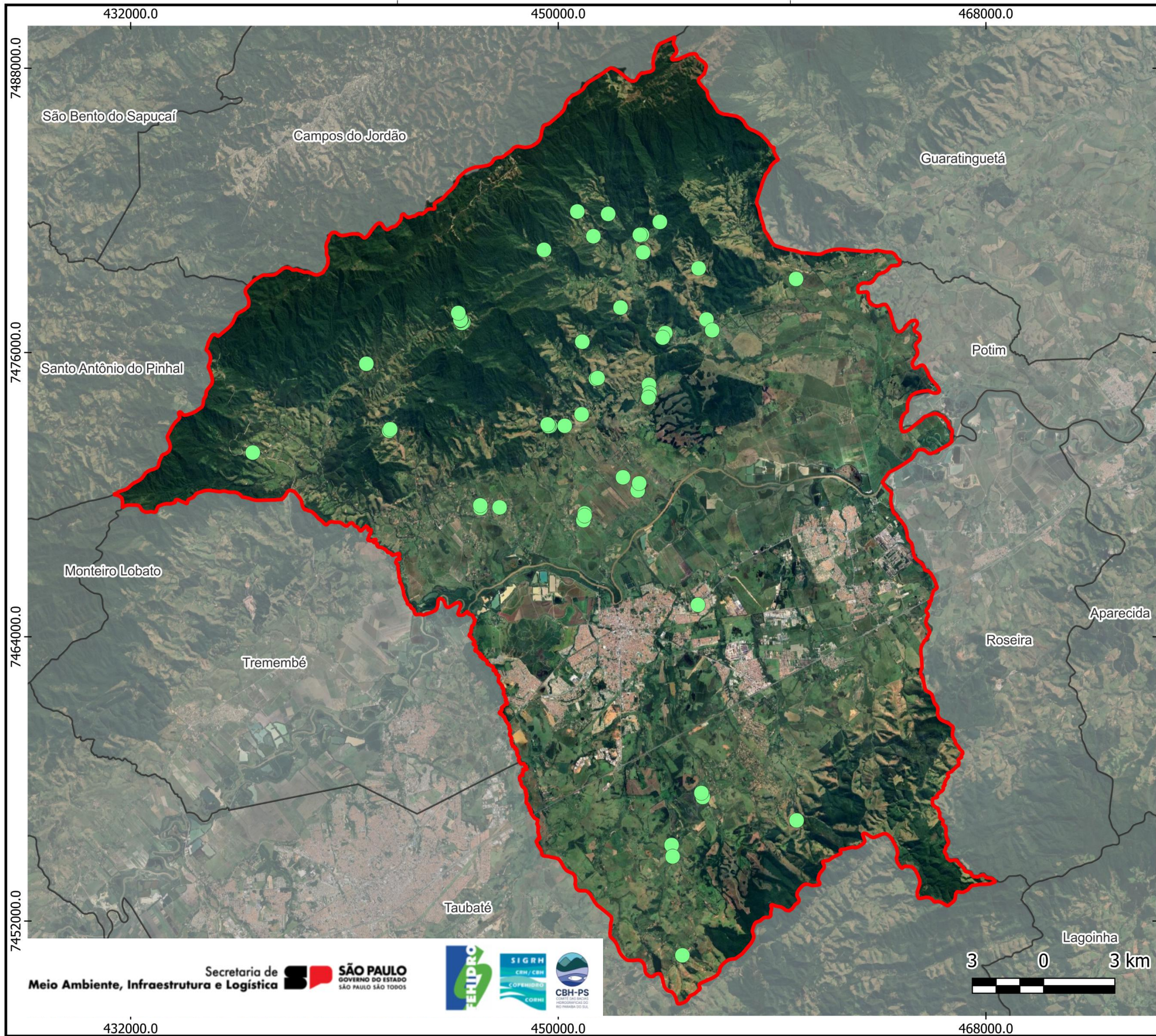
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Ainda em conformidade com as informações apresentadas no Gráfico 30, foi elaborado um mapa com a localização das propriedades em que os moradores afirmaram a utilização de fossas rudimentares. A criação deste mapa tem o objetivo de identificar visualmente as áreas mais críticas no que se refere ao tratamento de esgoto

na área rural, permitindo uma análise mais precisa da distribuição dessas infraestruturas inadequadas.

Vale ressaltar que este tipo de destinação ao esgoto doméstico, por não apresentar tratamento ou sistema de impermeabilização adequado, pode ocasionar a contaminação do solo ou da água, além da emissão de gases poluentes e mau cheiro.

No que se refere ao eixo de esgotamento sanitário, não existem séries históricas de dados no SINISA relacionadas especificamente ao município de Pindamonhangaba. Essa ausência de informações inviabiliza a análise evolutiva de indicadores, impossibilitando a identificação de melhorias ou retrocessos no setor ao longo dos últimos anos. Diante desse cenário, a avaliação apresentada neste Plano apoia-se nos dados primários levantados em campo e em fontes complementares, os quais, embora não permitam a construção de séries temporais, constituem subsídio técnico adequado para o diagnóstico atual da situação e para o direcionamento das ações de planejamento propostas.



Mapa 3 - Localização das propriedades que utilizam de fossas rudimentares, conforme as respostas obtidas.



Prefeitura Municipal de Piindamonhangaba - SP

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limítrofes
- Fossas rudimentares



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Out., 2024.



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística
SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS

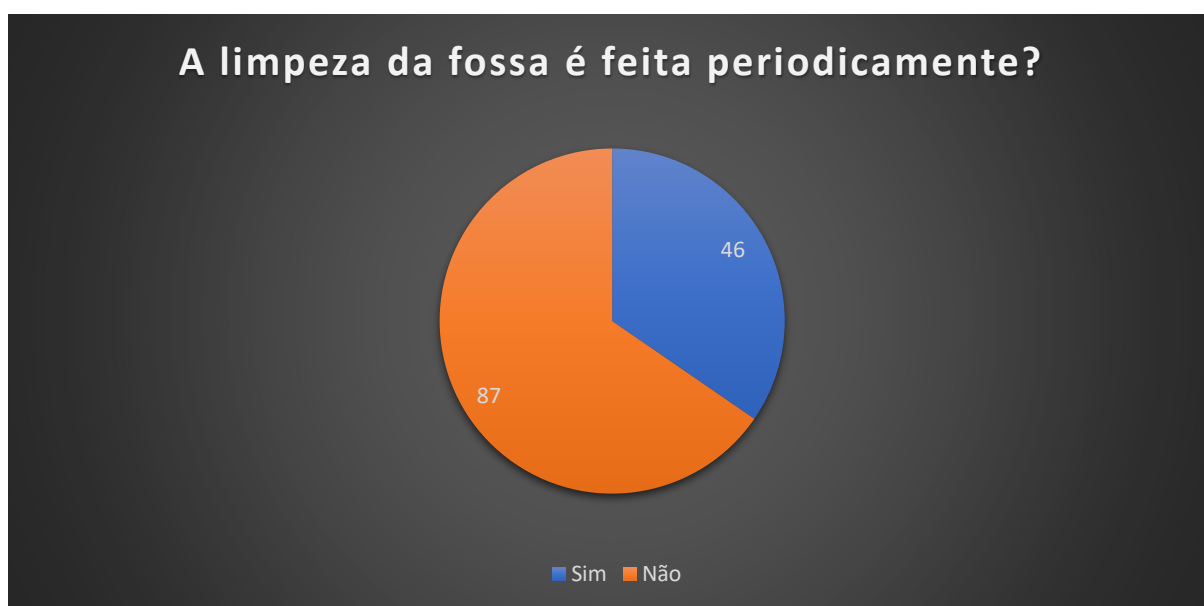


Fonte: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

O Gráfico 31 mostra a proporção das propriedades que utilizam das fossas e realizam a limpeza periodicamente, apresentando um valor expressivo de casos em que não são efetuadas. A limpeza periódica das fossas é importante pois evita o transbordamento e o acúmulo de efluentes nos sistemas.

De acordo com os dados obtidos, aproximadamente 65% das respostas indicam uma falta de conscientização sobre a importância da limpeza periódica das fossas, um procedimento fundamental para prevenir o acúmulo excessivo de resíduos sólidos e líquidos. A ausência dessa manutenção regular pode resultar em transbordamentos, contaminação do solo e lençóis freáticos, além de mau cheiro e problemas de saúde pública.

Gráfico 31 - A limpeza da fossa é feita periodicamente?



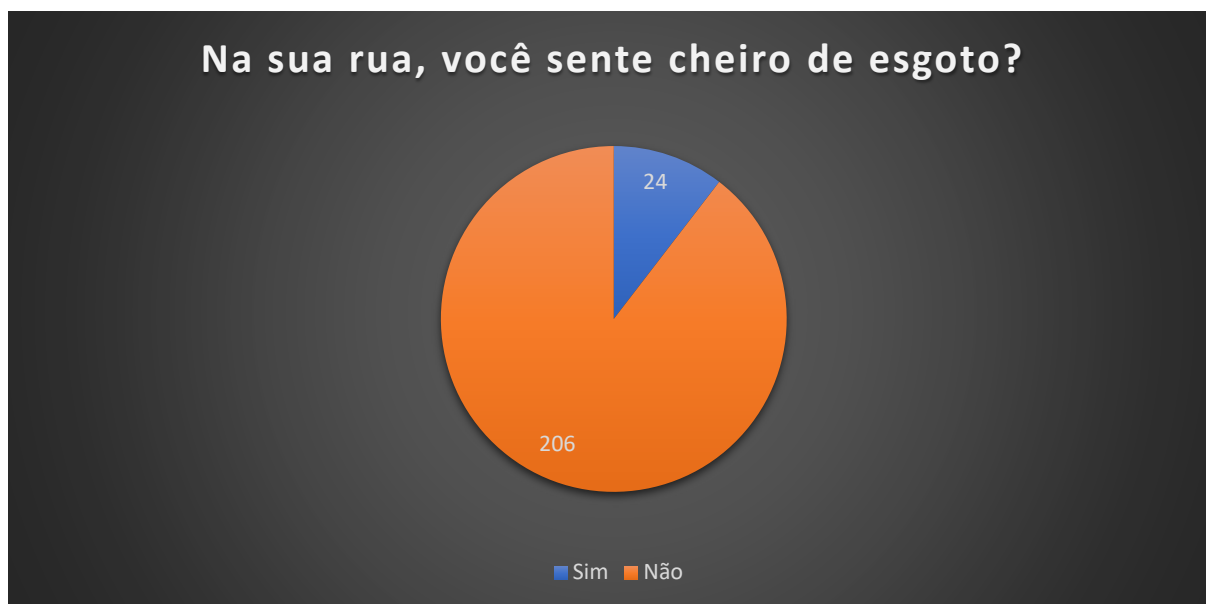
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 32, mostra que 24 das 230 propriedades afirmam sentir cheiro de esgoto na sua rua. O cheiro de esgoto na rua pode ser causado por fossas mal projetadas ou construídas, fossas mal mantidas ou vazamentos de tanques de armazenamento de resíduos.

Estimando estes valores para a área rural total do município, tem-se que cerca de 153 propriedades possuem problemas com mau odor oriundo de vazamentos ou

sistemas de esgotamento mau projetados, em alguns casos foi inclusive relatado que isto só ocorre quando há chuvas fortes que acabam por alagar a rua.

Gráfico 32 - Na sua rua, você sente cheiro de esgoto.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Em Pindamonhangaba, a ausência de um programa de acompanhamento e fiscalização para os sistemas individuais de esgotamento sanitário aumenta o risco de contaminação dos solos, águas subterrâneas e superficiais.

Além disso, os loteamentos irregulares, que não contam com sistema de coleta de esgoto devidamente apropriado, também contribuem para o risco de contaminação ambiental.

1.2.1 Características Gerais dos Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário

1.2.2 Fossa Rudimentar

Os dispositivos destinados à disposição do esgoto no solo, revestidos ou não, que permitem a infiltração do líquido no solo sem a separação da parte sólida, são conhecidos como fossas rudimentares. Utilizadas para receber, acumular e dispor esgoto provenientes de pias, vasos sanitários, chuveiros, tanques etc., as fossas

rudimentares são empregadas em locais onde não há rede de coleta de esgoto ou onde esta não é suficiente para atender à demanda (Silveira et al., 2023).

Construídas em um buraco no solo, as fossas rudimentares têm dimensões que variam de acordo com o número de pessoas que as utilizam. O fundo do buraco deve ser impermeabilizado com concreto ou argamassa, a fim de evitar que o esgoto se infiltre diretamente no lençol freático (Silveira et al., 2023).

A presença de um fundo cimentado (impermeabilizado) em uma fossa rudimentar em uma propriedade rural pode melhorar significativamente a segurança e a eficácia do sistema de esgotamento sanitário. Isso ocorre porque o fundo impermeabilizado impede a infiltração de resíduos líquidos no solo, reduzindo assim o risco de contaminação do lençol freático e de corpos d'água próximos.

No entanto, mesmo com um fundo cimentado, é importante observar que as fossas rudimentares não fornecem destinação correta. Embora possam oferecer uma opção temporária e econômica, elas não fornecem um tratamento completo do esgoto, o que pode representar riscos para a saúde humana e ambiental a longo prazo (Silveira et al., 2023).

O esgoto que chega à fossa rudimentar sofre um processo de depuração natural, por meio da ação de bactérias e outros microrganismos presentes no solo. Esses microrganismos degradam a matéria orgânica do esgoto, transformando-a em compostos inorgânicos, que podem ser absorvidos pelo solo.

Como citado anteriormente, as fossas rudimentares são dadas como a principal forma de destinação final de esgotamento sanitário na zona rural de Pindamonhangaba, uma vez que 454 propriedades afirmam seu uso, mesmo que a destinação não seja a correta.

Na Figura 16 é apresentado um exemplo de fossa rudimentar, registrado durante a aplicação dos questionários nas propriedades rurais de Pindamonhangaba.

Figura 16 - Fossa rudimentar na área rural do município de Pindamonhangaba.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

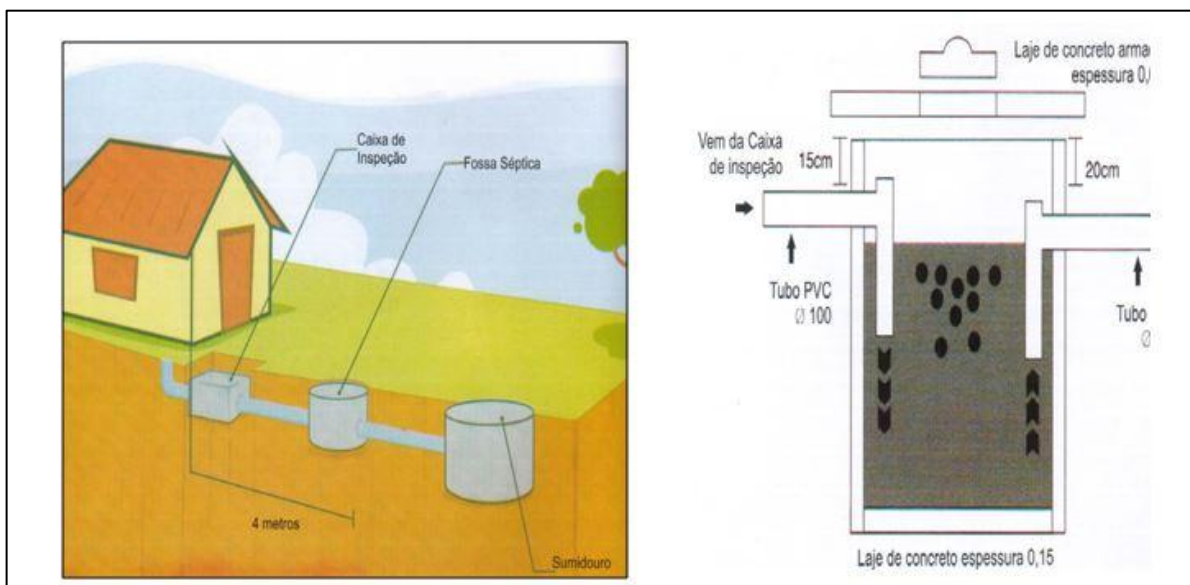
1.2.3 Fossa Séptica

A fossa séptica é um sistema de tratamento de esgoto doméstico que consiste em um tanque impermeável, geralmente feito de concreto, que recebe os efluentes do vaso sanitário, pias e chuveiros (Torres, 2019). O esgoto é tratado por um processo de decantação e decomposição biológica, que segundo Cordeiro (2011), ocorre da seguinte forma:

- **Decantação:** Os sólidos do esgoto, como partículas orgânicas, sedimentam no fundo do tanque, formando um lodo. Este lodo é composto por matéria orgânica, areia, detritos e gorduras;
- **Decomposição biológica:** As bactérias anaeróbicas, que vivem na ausência de oxigênio, decompõem a matéria orgânica do lodo. Esse processo produz gases, como metano e dióxido de carbono, que são liberados para a atmosfera.

A água que passa pela fossa séptica é limpa o suficiente para ser infiltrada no solo, sem causar poluição. Para que a fossa séptica funcione corretamente, é importante que ela seja instalada corretamente e receba manutenção periódica (Cordeiro, 2011).

Figura 17 - Sistema Individual de Tratamento – Fossas Sépticas.



Fonte: Imagem de divulgação. Adaptado por Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

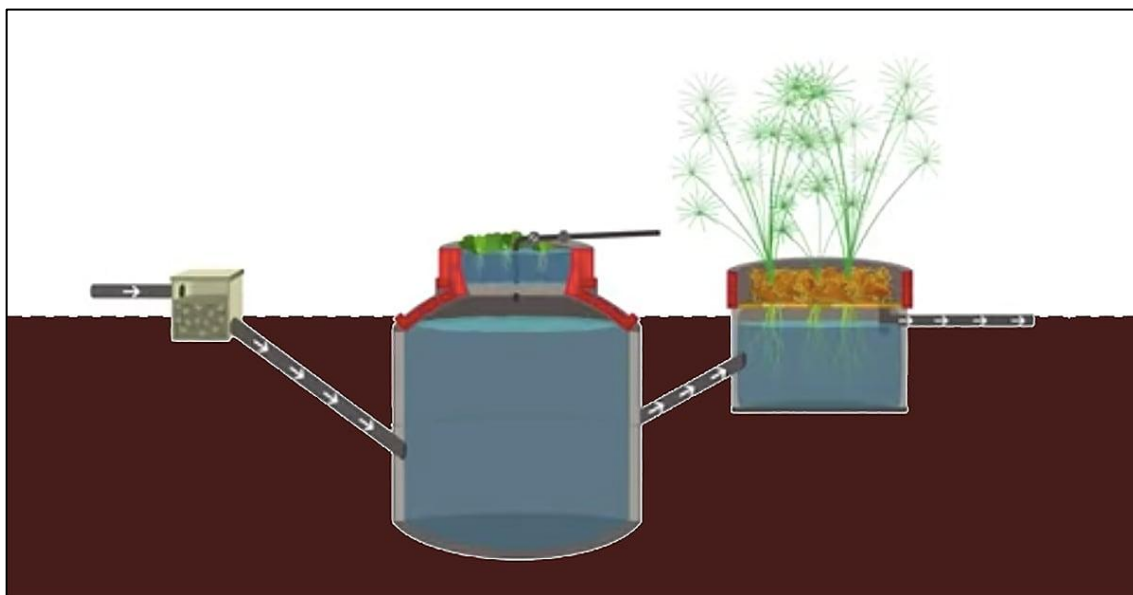
1.2.4 Biodigestor

O biodigestor é um equipamento utilizado para tratar efluentes domésticos ou industriais por meio da biodigestão, um processo de decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio (Barbosa e Langer, 2011).

A biodigestão é realizada por bactérias anaeróbicas, que vivem na ausência de oxigênio. Essas bactérias decompõem a matéria orgânica, liberando gases, como metano e dióxido de carbono, e o efluente conhecido como biofertilizante (Barbosa e Langer, 2011).

Os gases produzidos pela biodigestão podem ser utilizados como fonte de energia, como gás de cozinha ou para geração de energia elétrica (Deganutti et al., 2002). O biofertilizante, por sua vez, pode ser utilizado como fertilizante orgânico, melhorando a qualidade do solo e aumentando a produtividade agrícola.

Figura 18 - Sistema Individual de Tratamento – Biodigestor.



Fonte: Imagem de divulgação. Adaptado por Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.2.5 Análise Crítica do Sistema de Esgotamento Sanitário de Pindamonhangaba

Para compreender melhor a situação local e embasar as ações propostas, foi realizada uma pesquisa de opinião com duas pessoas de referência na comunidade, cujas percepções refletem os desafios enfrentados pela população rural. As questões levantadas durante essas consultas são fundamentais para a formulação de estratégias eficazes de gestão de esgotamento sanitário na área rural:

A principal deficiência que pode ser citada no sistema individual de esgotamento sanitário de Pindamonhangaba é:

- Alto número de propriedades rurais que utilizam fossas rudimentares.

A partir da deficiência levantada será apresentada propostas mitigatórias na etapa de Prognóstico.

1.3 SISTEMA DE MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O manejo de resíduos sólidos na área rural de um município envolve a implementação de práticas específicas para lidar com diferentes tipos de resíduos gerados nas atividades agrícolas e nas comunidades rurais. Em muitos casos, a coleta e a destinação dos resíduos são descentralizadas, com sistemas adaptados às necessidades locais.

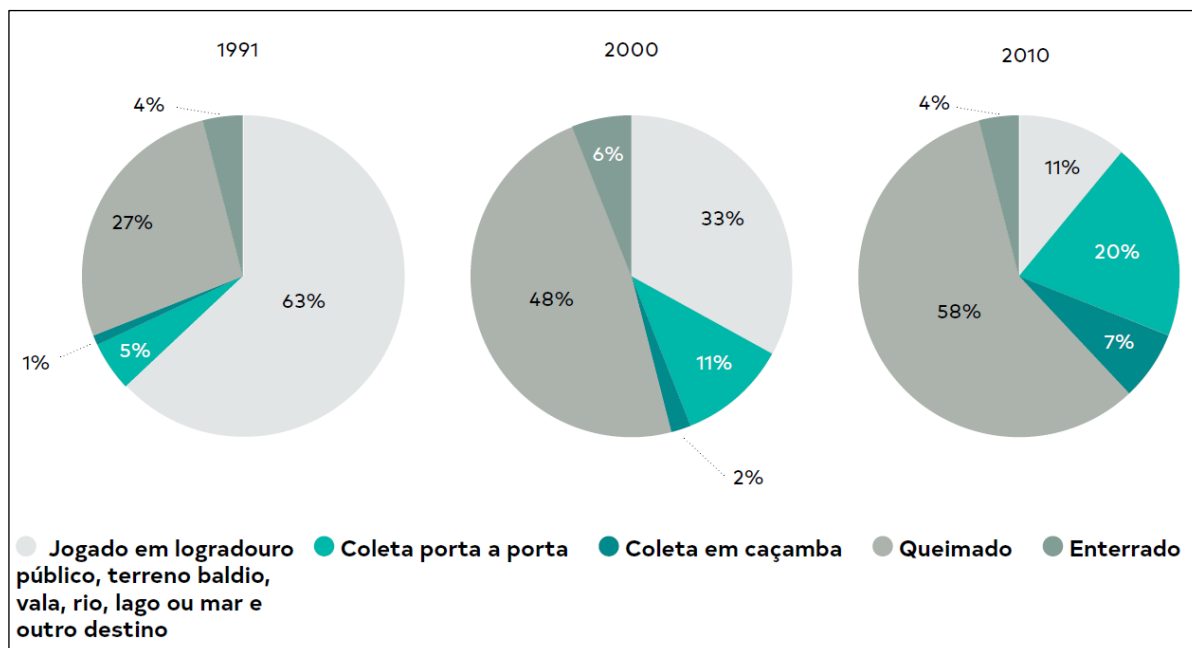
Os agricultores geralmente adotam a compostagem para os resíduos orgânicos, transformando-os em adubo para uso na agricultura. Além disso, a separação adequada dos resíduos recicláveis é incentivada, muitas vezes por meio de programas de conscientização.

Nos dados apresentados pelo Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), expõe que entre os anos de 1991 e 2010, observou-se uma significativa redução nas formas inadequadas de disposição de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros. Isso inclui práticas como destinação a logradouros públicos, terrenos baldios, vala, rio ou lago, que passaram de 90% para 69%.

No entanto, é notável um aumento considerável no percentual de domicílios rurais que optaram pela queima de resíduos durante o mesmo período, elevando-se de 27% para 58%.

Essa mudança de comportamento sugere a necessidade de abordagens mais eficazes para promover práticas sustentáveis de gestão de resíduos nas áreas rurais, visando a preservação ambiental e a saúde das comunidades. O Gráfico 33 expõe a situação descrita.

Gráfico 33 – Evolução das formas de destinação de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é uma legislação federal que define princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o manejo de resíduos sólidos no Brasil (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010). Além disso, no âmbito estadual, São Paulo conta com a Lei nº 12.300, datada de 16 de março de 2006, que estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos. No nível municipal, têm-se a Lei nº N.º 6407/2021, que institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de Pindamonhangaba.

Os tópicos a seguir apresentarão um panorama sobre o sistema de manejo de resíduos sólidos da zona rural do município de Pindamonhangaba.

1.3.1 Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO)

Os resíduos sólidos domiciliares, também conhecidos como lixo doméstico, são produtos descartados provenientes das atividades cotidianas dos lares. Esses resíduos incluem uma ampla gama de materiais, como embalagens, restos de alimentos, papel, plástico, vidro e outros itens descartáveis. O gerenciamento adequado desses resíduos é essencial para promover a saúde pública, preservar o meio ambiente e garantir a sustentabilidade das comunidades rurais (Oliveira, 2019).

Os resíduos mal gerenciados podem resultar em riscos à saúde, poluição ambiental, degradação do solo e contaminação da água, afetando negativamente a qualidade de vida dos residentes e a biodiversidade local. A decomposição inadequada de resíduos orgânicos pode gerar odores desagradáveis e contribuir para a disseminação de patógenos (Marinho, 2009).

As comunidades rurais frequentemente enfrentam desafios específicos, como a falta de infraestrutura adequada para a coleta e tratamento de resíduos. No entanto, essas áreas também apresentam oportunidades únicas, como a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, a valorização de produtos recicláveis e a criação de empregos locais ligados à gestão de resíduos (Schalch *et al.*, 2002).

Isso inclui a redução da geração de resíduos, a promoção da reciclagem, a utilização de métodos de descarte seguro e a incorporação de princípios de economia circular, que visam maximizar a utilização de recursos e minimizar o desperdício (Schalch *et al.*, 2002).

Em relação à zona rural de Pindamonhangaba, frente aos dados obtidos por aplicação do Questionário, 142 propriedades afirmaram possuir a coleta de RDO, representando a maioria. Porém, em relação às 88 propriedades que não estão contemplados com a coleta convencional, quando extrapolado para a totalidade do município, representam cerca de 562 propriedades que necessitam de maior inclusão no sistema de coleta, a fim de evitar a destinação inadequada ou a queima dos materiais.

Durante a aplicação dos questionários, foi observado que, em muitos casos, os moradores relataram a ausência de coleta direta em suas residências. No entanto, verificou-se que esses mesmos indivíduos descartavam seus resíduos em pontos de coleta próximos, como caçambas comunitárias localizadas nas proximidades ou no final de suas ruas.

Este comportamento indica que, embora não ocorra uma coleta porta a porta em todas as propriedades, o serviço está disponível em locais acessíveis, sugerindo um modelo de coleta indireta nas áreas rurais do município.

No que se refere ao eixo de resíduos sólidos, verifica-se que o SN/ISA disponibiliza séries históricas da quantidade total de resíduos domiciliares e/ou públicos coletados (RDO) no município entre os anos de 2010 e 2018. Contudo, tais informações estão diretamente vinculadas ao crescimento populacional, uma vez que o aumento no volume de resíduos coletados tende a acompanhar a elevação do número de

habitantes, o que limita a utilização desses dados como indicador isolado de melhoria ou retrocesso dos serviços. Ressalta-se ainda que os dados disponíveis não apresentam separadamente a parcela da população rural atendida pela coleta regular de RDO, o que impossibilita a análise evolutiva específica para a zona rural. Soma-se a isso a ausência de registros oficiais sobre práticas como a queima de resíduos sólidos ao longo do período, o que restringe a avaliação comparativa histórica.

Embora não haja informações suficientes para verificar a evolução histórica e identificar avanços ou retrocessos no atendimento rural com relação aos resíduos sólidos, os dados atuais obtidos neste levantamento representam um referencial válido e poderão servir como subsídio para o planejamento e execução das ações propostas no âmbito deste Plano.

O Gráfico 34 apresenta dados referente à coleta de lixo porta a porta na zona rural de Pindamonhangaba.

Gráfico 34 - Propriedades da zona rural que possuem coleta de RDO.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 35 apresenta dados referentes ao uso de dispositivos de armazenamento de resíduos nas propriedades, onde 158 residências fazem uso de lixeiras suspensas, enquanto 72 não adotam esse tipo de equipamento. Ao extrapolar esses números para toda a área rural do município, estima-se que cerca de 460 propriedades não utilizam lixeiras suspensas.

Nesses casos, os resíduos são frequentemente destinados a caçambas compartilhadas ou manejados por meio de métodos rudimentares e ambientalmente prejudiciais, como a queima ou o enterramento.

É importante ressaltar que a ausência de lixeiras adequadas pode resultar na dispersão de resíduos nas vias rurais, devido à ação de animais ou intempéries, como chuvas intensas e ventos fortes, contribuindo para a degradação ambiental e riscos à saúde pública.

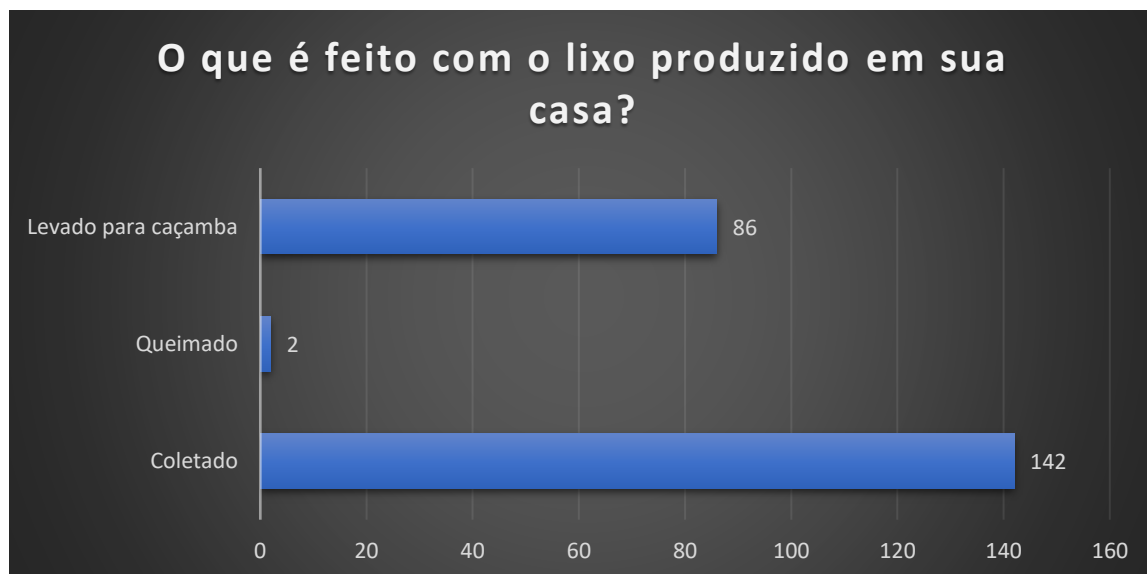
Gráfico 35 - Propriedades rurais de Pindamonhangaba que utilizam lixeira suspensa para armazenamento do lixo.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

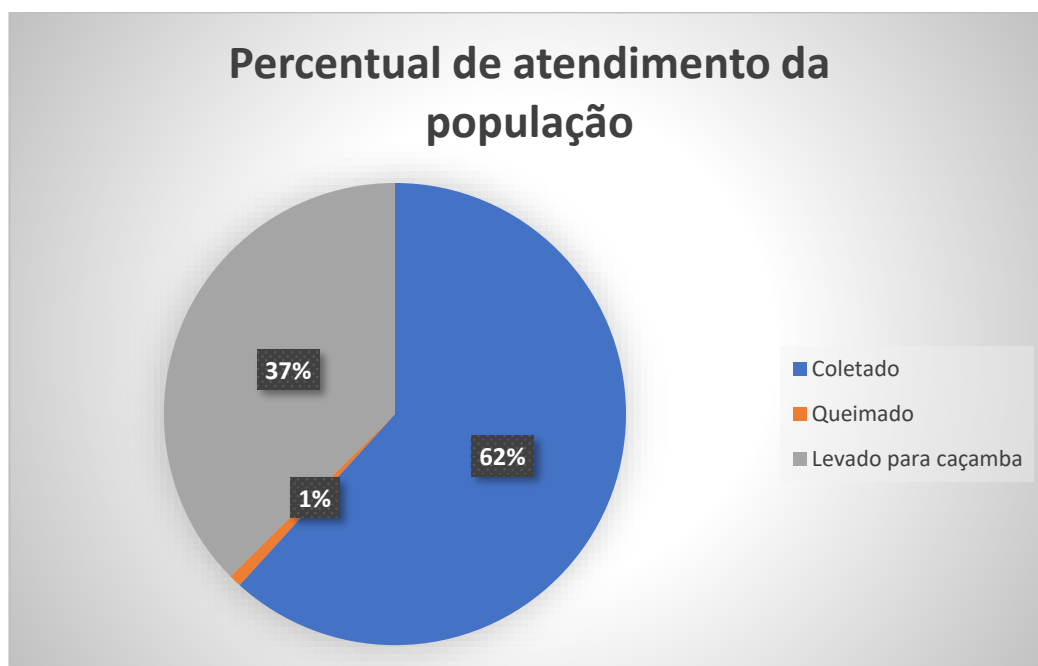
Ainda de acordo com os dados obtidos por questionário, infere-se que 86 propriedades levam os resíduos até a caçamba, 2 propriedades queimam estes resíduos e 142 propriedades têm seus resíduos coletados, como expõe o Gráfico 36.

Gráfico 36 - Diferentes destinações do RDO nas propriedades rurais de Pindamonhangaba.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 37 – Percentual de atendimento da população na zona rural de Pindamonhangaba.



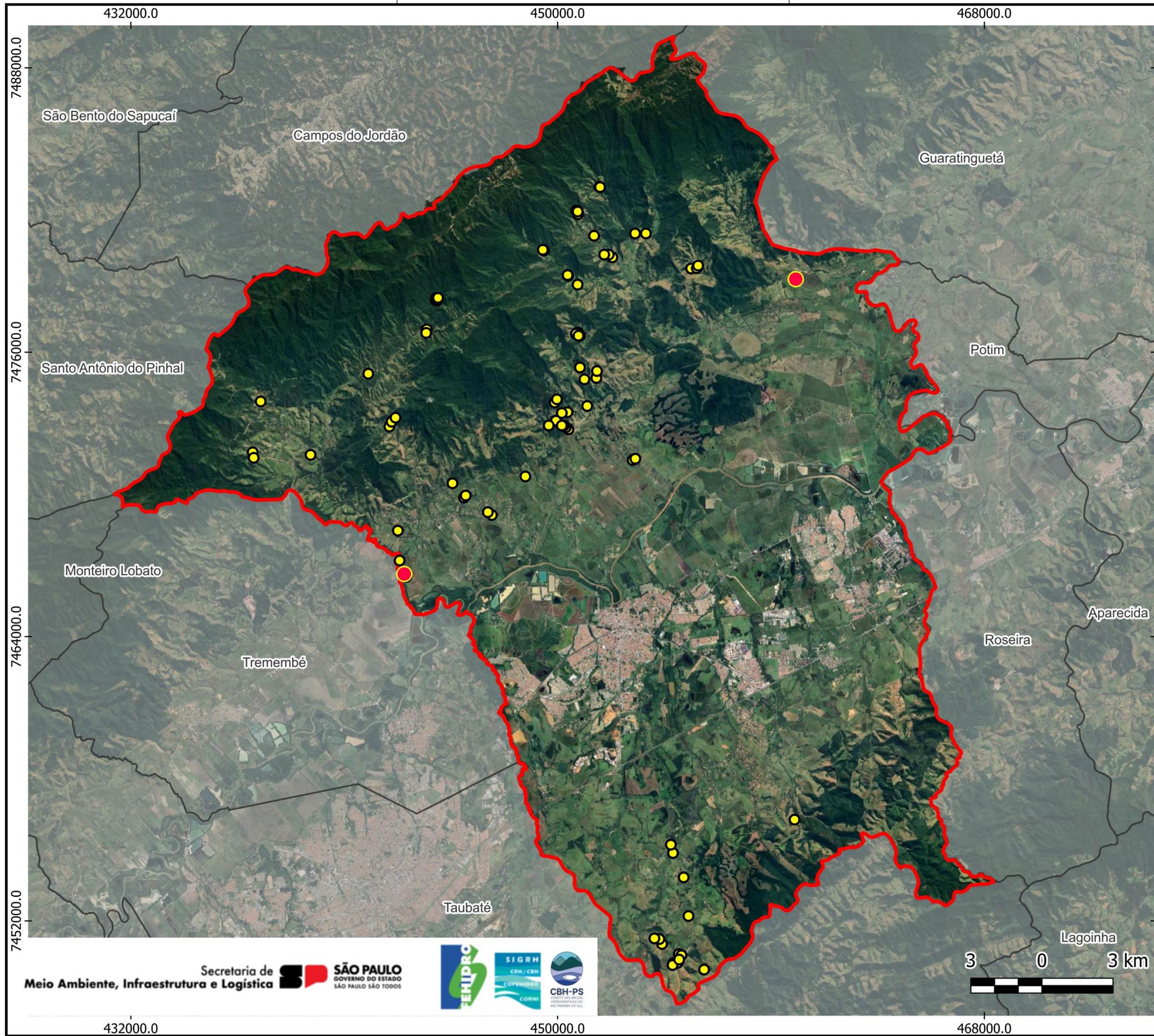
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Em alguns casos, os entrevistados afirmaram que existe coleta regular, mas na pergunta subsequente indicaram que destinavam seus resíduos a caçambas compartilhadas ou, em alguns casos, utilizavam métodos alternativos, como a queima, sugerindo que a coleta porta a porta não ocorre efetivamente.

De forma análoga, alguns moradores que inicialmente afirmaram não haver coleta em suas residências, contradisseram essa informação ao indicar que seus resíduos eram recolhidos. Essa incoerência pode estar relacionada à interpretação subjetiva do que constitui o "serviço de coleta". Muitos entrevistados podem ter considerado a presença de caçambas comunitárias próximas como uma forma de coleta, mesmo que esta não ocorra diretamente em suas propriedades.

O mapa a seguir faz uma correlação entre as propriedades onde não há coleta de resíduos sólidos e aquelas em que a prática de queima de resíduos foi relatada pelos moradores, conforme as respostas obtidas nos questionários aplicados.

Vale ressaltar que, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010, é proibida a queima de resíduos a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para esta finalidade.



Mapa 4 - Localização das propriedades que sem coleta de resíduos e com práticas de queima dos materiais em Pindamonhangaba.



Prefeitura Municipal de
Pindamonhangaba - SP

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limítrofes
- Propriedades "Sem coleta" de resíduos
- Propriedades onde são queimados os resíduos



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Out., 2024.

Secretaria de  **SÃO PAULO**
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Fonte: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Abaixo seguem as figuras que demonstram caçambas de resíduos na zona rural de Pindamonhangaba.

Figura 19 - Caçambas para acondicionamento de RDO na zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Pindamonhangaba, a empresa Pioneira Saneamento e Limpeza Urbana LTDA é responsável pela coleta e transporte dos resíduos, bem como pela operação do Aterro Sanitário Municipal, que pertence à Prefeitura. Ainda segundo o plano, o serviço de coleta abrange a totalidade dos moradores do município. Contudo, durante levantamento em campo foram encontrados alguns pontos onde ocorre a disposição irregular de resíduos sólidos, sendo estes dados expostos no tópico de Pontos de Descarte Irregular.

1.3.2 Resíduos de Atividades Agrícolas e Pecuárias

A gestão eficiente dos resíduos provenientes das atividades agrícolas e pecuárias assume um papel fundamental. No que tange aos resíduos agrícolas, estes compreendem restos de colheitas, palhada e outros materiais vegetais resultantes das práticas agrícolas. Para otimizar o manejo desses resíduos, a adoção de práticas como a compostagem se mostra altamente benéfica (Bastos, 2017).

A compostagem transforma esses resíduos em composto orgânico, que pode ser utilizado como adubo, enriquecendo a fertilidade do solo. Assim, a destinação final ideal em propriedades rurais é a reutilização dos resíduos como recursos valiosos para a agricultura (Bastos, 2017).

Já os resíduos pecuários, originados de fezes, urina e restos de alimentos provenientes da criação de animais, demandam um manejo especializado. A compostagem de esterco é uma prática eficaz para reduzir o impacto ambiental e aproveitar os nutrientes presentes (Oliveira, 2010).

Além disso, a construção de biodigestores pode ser considerada, possibilitando a produção de biogás a partir desses resíduos. A utilização do esterco compostado como fertilizante orgânico representa uma destinação final sustentável, promovendo a reciclagem de nutrientes e minimizando impactos ambientais negativos (Oliveira, 2010; Melo e Duarte, 2018). Abaixo segue um exemplo de biodigestor.

Figura 20 - Exemplo de biodigestor.

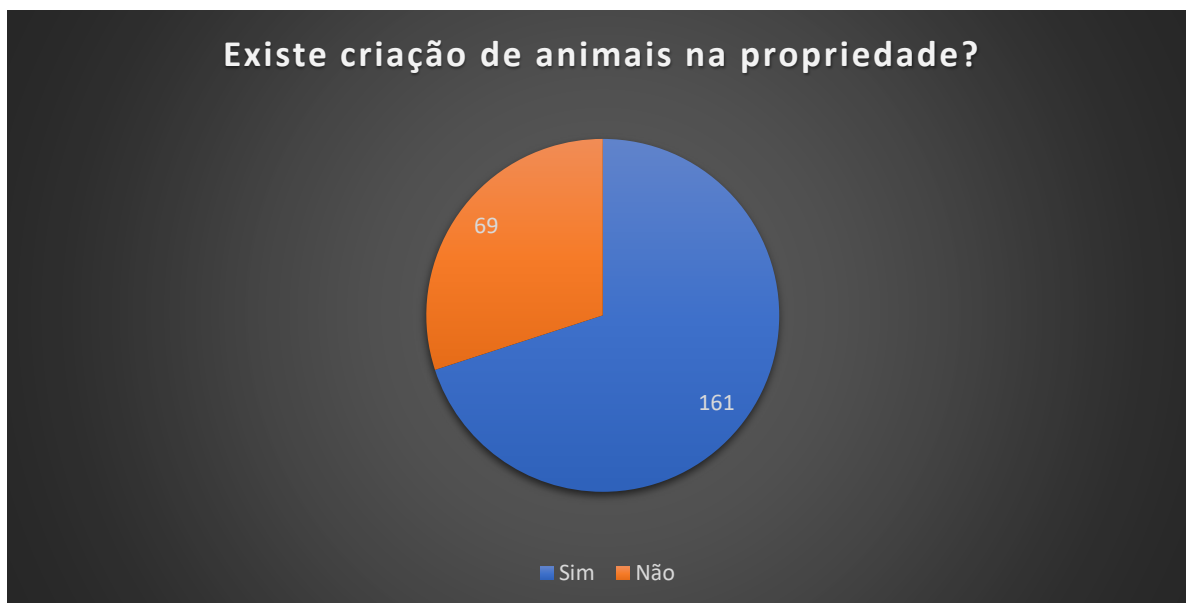


Fonte: Elevagro, 2022. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A destinação final geral dos resíduos em propriedades rurais pode envolver diversas práticas sustentáveis. A compostagem, além de beneficiar a fertilidade do solo, contribui para a redução da poluição ambiental.

A adoção de biodigestores não apenas trata os resíduos, mas também gera biogás, uma fonte de energia renovável (Oliveira, 2010). Abaixo segue o gráfico resultante das informações obtidas do Questionário que demonstra sobre a criação de animais na zona rural de Pindamonhangaba.

Gráfico 38 - Número de propriedades que criam diferentes espécies de animais.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A incorporação direta dos resíduos no solo é uma alternativa prática, enquanto a reciclagem de materiais como embalagens agrícolas contribui para a gestão sustentável de resíduos (Oliveira *et al.*, 2015). Importante ressaltar que a capacitação dos proprietários rurais e a conformidade com as normas ambientais são aspectos cruciais para o sucesso dessas práticas.

A plasticultura é largamente utilizada por produtores rurais. Este método de plantio é uma prática agrícola que envolve o uso de filmes plásticos, como polietileno, polipropileno ou PVC, para cobrir o solo ou proteger as plantas, visando otimizar o ambiente de cultivo.

Esses filmes plásticos são utilizados em diversas técnicas, como a cobertura do solo para conservação da umidade, controle de ervas daninhas e proteção contra intempéries, ou na forma de estufas e túneis para proteger as plantas contra variações climáticas e promover o aumento da produtividade e qualidade dos cultivos, especialmente em condições adversas.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/2010, a destinação ambientalmente adequada de resíduos da plasticultura é a sua reutilização, reciclagem ou outra forma de valorização, seguindo as diretrizes estabelecidas para a gestão integrada de resíduos sólidos.

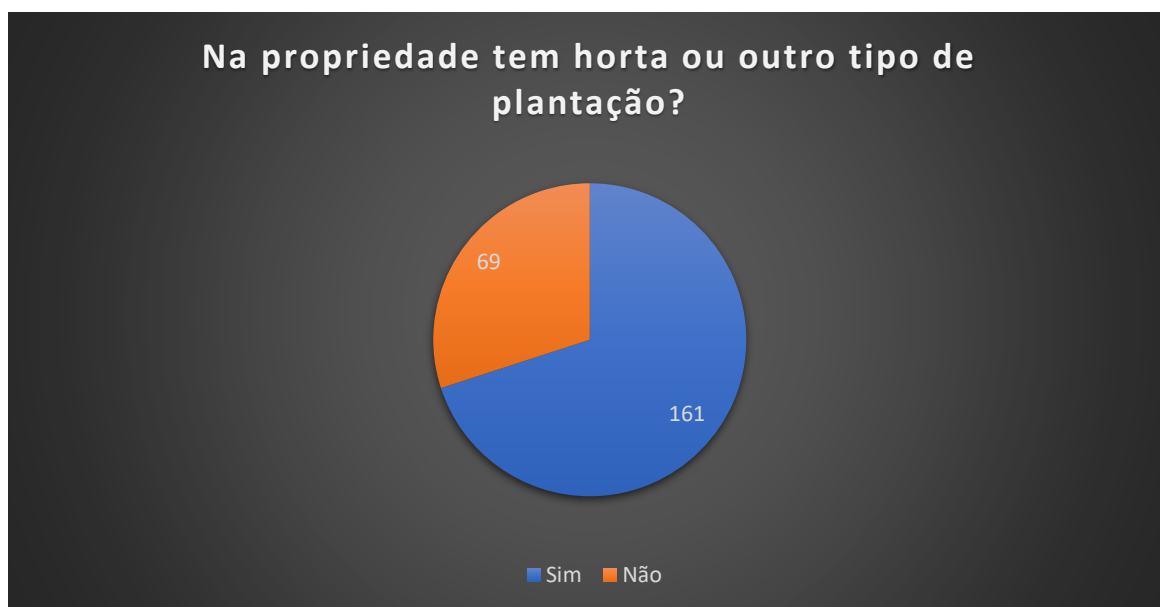
Isso significa que os resíduos da plasticultura devem ser tratados de maneira a minimizar os impactos ambientais, priorizando alternativas que promovam a redução

na geração de resíduos, a reutilização de materiais, a reciclagem ou a transformação em novos produtos, sempre de acordo com as normas e regulamentações ambientais vigentes.

No que diz respeito à compostagem, o município atualmente conta com a iniciativa "Composta Pinda", que busca incentivar a adoção da compostagem como estratégia de redução de resíduos, promovendo a educação ambiental e incentivando práticas sustentáveis entre os moradores

Conforme as informações levantadas através dos questionários aplicados, 161 propriedades em Pindamonhangaba não fazem o cultivo de hortas ou outro tipo de plantação em seus imóveis, representando cerca de 73% do total de propriedades do município, enquanto 69 o fazem, de acordo com o Gráfico 39.

Gráfico 39 - Propriedades que possuem hortas ou outro tipo de plantação.



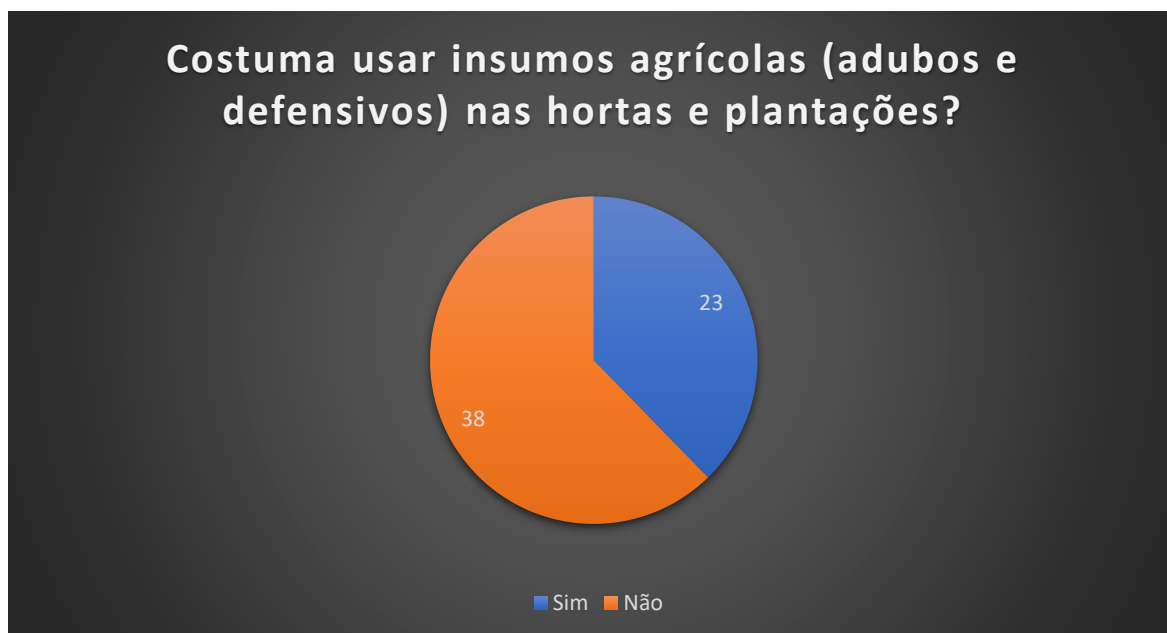
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Com base nas respostas obtidas exclusivamente dos entrevistados que declararam possuir hortas ou plantações em suas propriedades, foi possível identificar que 23 propriedades fazem uso de insumos agrícolas em suas culturas.

Ao extrapolar esses dados para a totalidade da área rural de Pindamonhangaba, estima-se que aproximadamente 147 propriedades utilizam insumos agrícolas, conforme demonstrado no Gráfico 40. Esses resultados evidenciam a importância de uma estrutura adequada para o recolhimento e descarte seguro das embalagens de

produtos agrícolas, como o galpão de recolhimento mencionado anteriormente, com o intuito de minimizar impactos ambientais e promover o manejo adequado de resíduo.

Gráfico 40 - Propriedades que utilizam insumos agrícolas na zona rural de Pindamonhangaba.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.3.3 Resíduos da Construção Civil

Os resíduos sólidos da construção civil referem-se aos materiais descartados provenientes de atividades relacionadas à construção, reforma, demolição ou manutenção de edificações.

Esses resíduos, muitas vezes denominados entulhos, podem abranger uma ampla gama de materiais, incluindo concreto, tijolos, madeira, metais, vidros, plásticos, entre outros (Takenaka, Arana e Albano, 2012).

A presença de resíduos sólidos de construção civil no meio rural pode representar riscos para a saúde pública. A exposição a materiais tóxicos presentes nos resíduos pode resultar em problemas respiratórios, dermatológicos e outras complicações de saúde (Takenaka, Arana e Albano, 2012).

Além disso o RCC muitas vezes contém substâncias tóxicas e poluentes, que, quando descartados de forma inadequada, podem contaminar o solo e recursos hídricos. Isso resulta em uma degradação ambiental que afeta diretamente a biodiversidade local (Silva *et al.*, 2015).

Atualmente o município conta um aterro de resíduos inertes, onde é realizada a destinação de resíduos da construção civil.

O município de Pindamonhangaba encontra-se em estado de expansão imobiliária, devido ao grande número de pessoas que migram dos municípios próximos da região. O aumento populacional leva a um número maior de construções, e consequentemente ao aumento da geração de RCC.

Apesar do atual cenário de crescimento populacional, não foram encontrados durante a aplicação do questionário, pontos de descarte irregular de RCC na zona rural de Pindamonhangaba.

1.3.4 Resíduos Orgânicos

A gestão de resíduos orgânicos contribui para o desenvolvimento sustentável aumentando a vida útil de aterros sanitários, reduzindo a geração dos resíduos e os destinando de forma ambientalmente correta. Além disso, a gestão viabiliza as ações de triagem dos resíduos recicláveis e reutilizáveis, contribuindo assim para a redução dos níveis de poluição ambiental (Pereira e Maia, 2012).

Realizar a gestão de resíduos orgânicos significa adotar um conjunto de ações adequadas nas etapas de coleta, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final e disposição final adequada. Objetivando a minimização da produção de resíduos e visando à preservação da saúde pública e a qualidade do ambiente. A compostagem, a biodigestão e a vermicompostagem se apresentam como as melhores e mais comuns práticas para a gestão de resíduos orgânicos (Farias, 2001).

1.3.5 Coleta Seletiva

A coleta seletiva é um importante mecanismo de geração de emprego e renda, contribuindo para a inclusão social de grupos vulneráveis. Além disso, é uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos mais vantajosas do ponto de vista ambiental, pois a reciclagem reduz o consumo de recursos naturais, como a energia elétrica e a água, e evita a poluição do solo e dos recursos hídricos (Peixoto, Campos e D'Agosto, 2005).

A coleta seletiva é um conjunto de procedimentos referentes ao recolhimento de resíduos recicláveis e de resíduos orgânicos compostáveis, previamente separados dos demais resíduos considerados não reaproveitáveis, na fonte geradora. Também é considerada coleta seletiva o recolhimento de materiais recicláveis separados pelos catadores dentre os resíduos sólidos domiciliares disponibilizados para coleta (Peixoto, Campos e D'Agosto, 2005).

A coleta de materiais recicláveis é o recolhimento de resíduos que podem ser reaproveitados, após serem previamente separados dos resíduos orgânicos e dos rejeitos, na fonte geradora. A coleta seletiva é uma das formas de coleta de materiais recicláveis, na qual os materiais são separados por tipo, também na fonte geradora dos resíduos. Essas separações buscam evitar a contaminação dos materiais reaproveitáveis e aumentar o valor agregado a eles.

Segundo estudo desenvolvido pela Secretaria de Política Econômica (SPE) do Ministério da Economia em conjunto com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o mercado de créditos de reciclagem no Brasil tem potencial para movimentar de R\$ 6,9 bilhões a R\$ 14,2 bilhões por ano. No entanto, ainda se perdem cerca de R\$ 8 bilhões anualmente por não reciclar os resíduos que são encaminhados para lixões e aterros sanitários.

A coleta seletiva porta a porta é uma importante estratégia para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, mas o Brasil ainda está em fase inicial de implementação desse serviço. Segundo dados do Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS 2021), apenas 69,7 milhões de habitantes, o que representa cerca de 40% da população brasileira, são atendidos por essa modalidade de coleta.

No entanto, quando observada a média da população urbana atendida por município, a coleta seletiva porta a porta alcança apenas 14,7% dos habitantes. A região Sul apresenta a maior média de cobertura, com 31,9% da população urbana atendida. A região Nordeste apresenta a menor abrangência média municipal de coleta seletiva porta a porta, com apenas 1,9% da população urbana atendida.

Segundo os dados do SINIS (2015), a coleta seletiva de recicláveis possui uma taxa de cobertura porta a porta de cerca de 87% da população Pindamonhangaba. As principais frações coletadas foram: metal (2,86%), papel/papelão (18,70%), plástico

(11,22%), vidro (11,22%), metais (14,85%) e outros (43,91%). A coleta seletiva devolve esses resíduos à cadeia produtiva e evita o descarte no meio ambiente.

Conforme o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município (PMGIRS, 2017), a coleta de resíduos sólidos domiciliares no perímetro urbano é realizada três vezes por semana, tanto no período diurno quanto no noturno. Na região central, o serviço ocorre diariamente, com exceção dos domingos. Já nas áreas rurais mais afastadas, a coleta acontece apenas durante o dia e também de forma trissemanal. No entanto, há locais na zona rural onde o serviço porta a porta não é disponibilizado. Nesses pontos, foram instaladas caçambas estratégicas para que os moradores depositem seus resíduos, os quais são posteriormente recolhidos pela empresa responsável pela coleta. Nestes locais existem caçambas dispostas em pontos estratégicos onde os municípios levam os resíduos e posteriormente a empresa faz a coleta.

Segundo os dados do (PMGIRS, 2017). A Pioneira Saneamento e Limpeza Urbana Ltda realiza a coleta seletiva de resíduos recicláveis na cidade, porém, não há no município um agente da prefeitura responsável por cuidar das cooperativas.

Segundo os dados do SNIS (2015), o município de Pindamonhangaba conta com duas cooperativas que recebem cerca de 900 toneladas por ano de resíduos coletados.

Tabela 3 – Materiais reaproveitados pelas cooperativas de Pindamonhangaba.

MATERIAL	%
Papel e Papelão	45,74
Plásticos	25,23
Metais	11,10
Vídeos	3,92
Outros	13,71
TOTAL	100%

Fonte: SINIS, 2015.

A Tabela 4 apresenta os bairros atendidos pela coleta seletiva.

Tabela 4 - Cronograma de Coleta Seletiva do município.

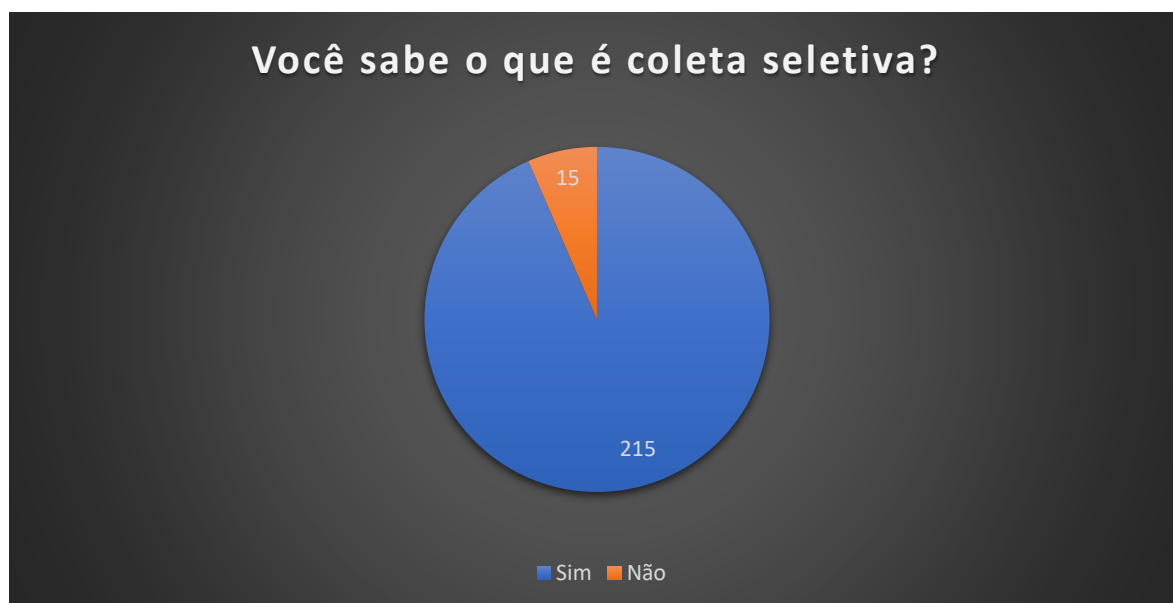
BAIRRO	PERÍODO
Segunda	Centro, Alto Tabaú, Boa vista, Mombaça, Campo Belo, Jd. Mariana, Jd. Aurora, Vila Nair, Bosque, Beira Rio, Santana
Terça	Jd. Resende, Vila Rica, Lessa, Quadra Coberta, Campos Maia, Real Ville, Colonial Village, Parque das Nações
Quarta	São Judas Tadeu, Parque São Domingos, Vila Burguesa, Santa Luzia, Jd. Imperial, Ouro Verde, Capitão Vitório Basso, Campo Alegre, Castolira
Quinta	Crispim, Andrada, Santa Cecília, Maricá, Delta, Beta, Jd. Eloyna, Jd. Regina, Cidade Nova, Feital
Sexta	Vila Suíça, Yassuda, Morumbi, Pasini, Laerte Assunção, Padre Rodolfo, Carangola, Moreira César, Parque das Palmeiras, Vila São Paulo, Vila São José, Vila São Benedito, Mantiqueira, Ypê I, Ypê II
Sábado	Araretama, Cidade Jardim, Alto do Cardoso, Maria Áurea, Bela Vista, Vila Verde, São Benedito, Lago Azul, Socorro

Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, 2017. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme os dados apresentados no Gráfico 41, 215 das 230 propriedades afirmaram ter conhecimento sobre o conceito de coleta seletiva. No entanto, o Gráfico 42 revela que apenas 198 propriedades estão efetivamente inseridas no sistema de coleta seletiva, enquanto 32 não se utilizam dessa prática.

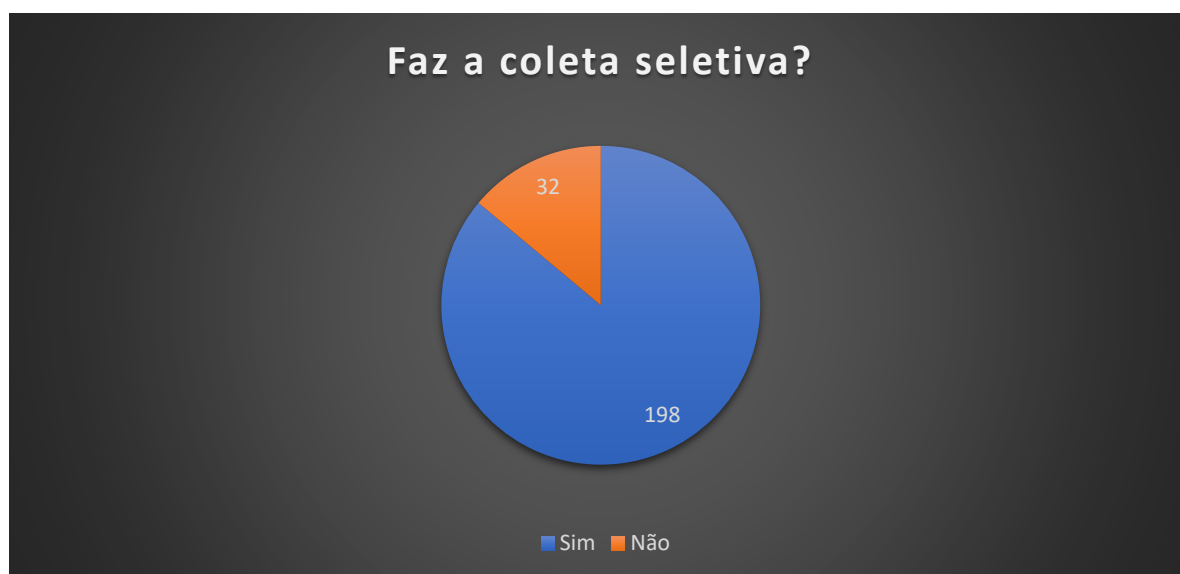
Ao extrapolar esses números para toda a área rural do município, estima-se que aproximadamente 204 propriedades não estão incluídas no sistema de coleta seletiva, evidenciando a necessidade de ampliação e conscientização em relação à importância da segregação e destinação adequada dos resíduos sólidos.

Gráfico 41 - Sabe o que é coleta seletiva.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 42 - Realiza a coleta seletiva.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A partir desses dados, é possível observar que a coleta seletiva na área rural de Pindamonhangaba é um programa conhecido pela população. No entanto, na área rural, ainda há um longo caminho a percorrer, pois um número significativo de pessoas não participa desse processo. A ampliação da coleta seletiva é essencial para aumentar a reciclagem, reduzir a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários e minimizar os impactos ambientais. Além disso, o fortalecimento desse serviço

contribui para a geração de renda de cooperativas de recicladores e promove uma maior conscientização sobre a destinação correta dos materiais.

1.3.6 Pontos de Descarte Irregular

A Constituição Federal de 1988, Cap. VI, Art. 225 estabelece que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial disposição inadequada dos resíduos sólidos à sadia qualidade de vida, atribuindo ao Poder Público, e também à coletividade, o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2003).

A disposição inadequada dos resíduos sólidos é uma realidade frequente e representa um grave passivo ambiental para a maioria dos municípios brasileiros, configurando-se, inclusive, como um problema de saúde pública, contrariando o Art. 225 da Constituição (BRASIL, 2003).

A Tabela 5, e as imagens abaixo mostram alguns locais onde ocorre o despejo irregular de resíduos sólidos na zona rural do município de Pindamonhangaba.

Tabela 5 - Coordenadas dos pontos de descarte irregular identificados na zona rural do município de Pindamonhangaba.

Ponto	Coordenadas	
	S	W
1	22.885654 S	45.516345 W
2	22.886525 S	45.539953 W
3	22.884266 S	45.525975 W
4	22.968661 S	45.396416 W
5	22.970134 S	45.408951 W
6	22.989626 S	45.392640 W

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Não foi fornecido na base do SNIS a geração de resíduos sólidos para a área rural, portanto a estimativa da geração de resíduos sólidos a curto e médio prazo, leva em consideração a área total do município, abrangendo tanto a área rural quanto a área urbana.

Com base nos dados disponíveis na base do SNIS para o município de Pindamonhangaba, que abrangem a série histórica entre 2010 e 2018, a geração total de resíduos sólidos urbanos nesse período foi de 21.565,10 toneladas. Considerando a

estimativa populacional do SEADE, que aponta uma taxa de crescimento populacional de 3,79%, é possível observar que este fator está diretamente relacionado ao aumento na geração de resíduos sólidos, uma vez que o crescimento populacional implica, em geral, maior demanda por serviços de coleta e, conseqüentemente, mais geração de resíduos.

A partir da média anual de geração de resíduos sólidos, que foi de 2.695,64 toneladas entre 2010 e 2018, e aplicando o crescimento populacional projetado de 3,79%, estima-se que a geração de resíduos sólidos aumentará, refletindo a tendência histórica observada. Dessa forma, a projeção para a geração de resíduos sólidos nos próximos 8 anos (de 2018 a 2026) é de 22.382,72 toneladas, considerando tanto a média histórica quanto o crescimento populacional. Essa estimativa leva em conta a evolução esperada na geração de resíduos devido ao aumento populacional e aos padrões anteriores de geração, fornecendo uma base sólida para planejar estratégias de gestão de resíduos no município.

Figura 21 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 1: 22.8856549 S, 45.5163450 W).



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 22 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 2: 22.8865257 S, 45.5399535 W).



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 23 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 3: 22.8842666 S , 45.5259760 W).



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 24 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos. (Ponto 4: 22.8302333 S , 45.5614500 W).



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 25 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos.

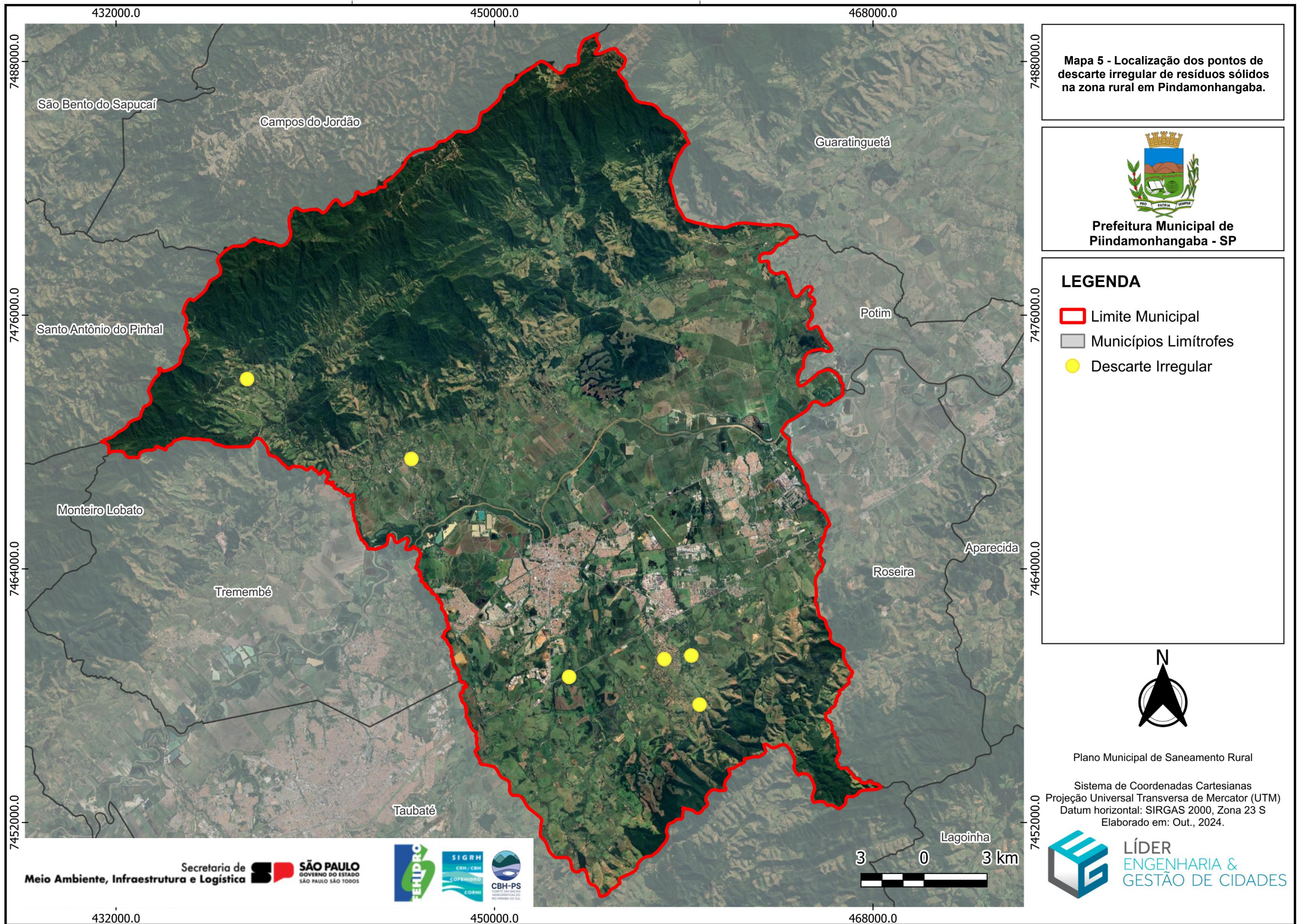


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 26 - Registros fotográficos de pontos de descarte irregular de resíduos sólidos.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



Fonte: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

1.3.7 Análise Crítica do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos

A seguir, serão descritos os principais problemas relacionados ao sistema de manejo dos resíduos sólidos da zona rural de Pindamonhangaba, os quais embasarão as soluções propostas no Prognóstico. Para compreender melhor a situação local e embasar as ações propostas, foi realizada uma pesquisa de opinião com duas pessoas de referência na comunidade, cujas percepções refletem os desafios enfrentados pela população rural. As questões levantadas durante essas consultas são fundamentais para a formulação de estratégias eficazes de gestão de resíduos na área rural.

- Pontos de descarte irregular de resíduos sólidos em vários locais da área rural do município;
- Número insuficiente de caçambas para o acondicionamento de resíduos sólidos;
- Periodicidade da coleta de RDO insuficiente para atender a demanda.

1.4 SISTEMA DE DRENAGEM E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

A realização de estudos de drenagem na zona rural, no âmbito do saneamento básico, é essencial por motivos que visam promover a qualidade de vida, a preservação ambiental e a sustentabilidade nas áreas rurais. O entendimento aprofundado dos padrões hidrológicos, o impacto das atividades agrícolas no solo e a avaliação dos sistemas de drenagem são fundamentais para prevenir inundações, erosões e contaminação hídrica.

Além disso, a eficiente gestão da drenagem rural contribui para a preservação dos recursos hídricos, essenciais para a produção agrícola e a manutenção dos ecossistemas locais. Ao analisar e otimizar os sistemas de drenagem na zona rural, é possível minimizar os riscos de doenças relacionadas à água, promover práticas agrícolas sustentáveis e garantir a utilização responsável dos recursos naturais, consolidando, assim, um ambiente rural mais resiliente e saudável.

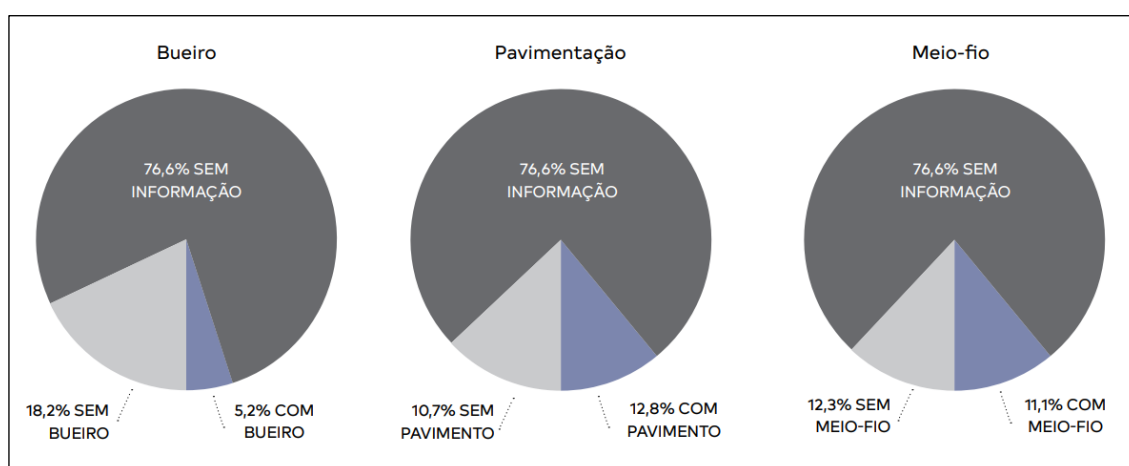
Os principais desafios associados à drenagem de águas pluviais no meio rural estão interligados aos problemas nas estradas rurais e aos processos erosivos. A persistência desses processos erosivos frequentemente leva à remoção da camada fértil do solo, resultando em danos consideráveis às culturas. Em circunstâncias extremas, essa erosão pode evoluir para deslizamentos de terra.

As estradas rurais desempenham um importante papel no desenvolvimento e na conectividade das áreas rurais, facilitando o acesso a mercados, escolas, serviços de saúde e promovendo o intercâmbio econômico. No contexto da drenagem na zona rural, a importância das estradas é ainda mais evidente.

A drenagem adequada nas estradas rurais desempenha um papel vital na prevenção de impactos ambientais negativos. Além de garantir o livre acesso, evita a formação de poças d'água, reduzindo o potencial de proliferação de vetores de doenças e preservando a qualidade dos recursos hídricos locais.

De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), o eixo do saneamento básico de drenagem das águas pluviais quando comparado com os demais eixos (abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário e manejo dos resíduos sólidos), apresenta pouca ou nenhuma informação sobre a situação atual. Sendo este dado exposto pelo gráfico abaixo:

Figura 27 - Situação dos imóveis rurais em relação ao eixo de drenagem das águas pluviais (considerando a delimitação de rural do PNSR).



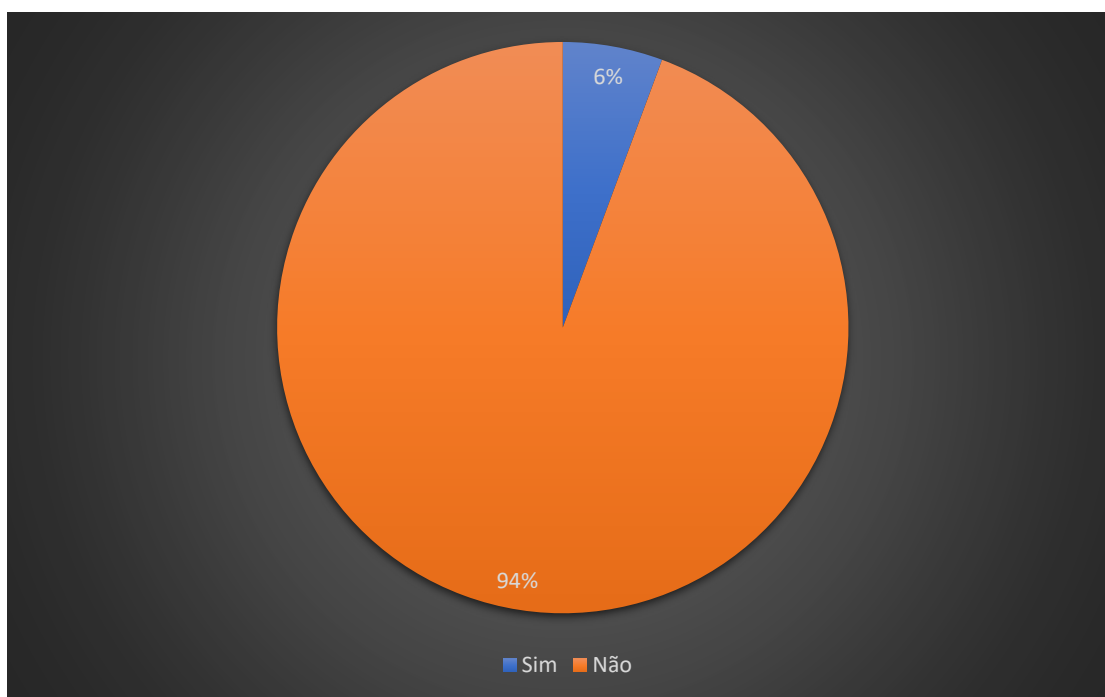
Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025

Ainda de acordo com Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), é exposto que 12,8% das propriedades rurais (1.428.345 propriedades)

encontram-se em vias pavimentadas, enquanto 11,1% (1.245.561 propriedades) estão localizados em vias com meio-fio e 5,2% (582.527 propriedades) estão situados em vias com bueiros. Importante notar que 76,6% das propriedades (8.564.631 propriedades) carecem de informações sobre a presença de pavimentação, bueiros e meio-fio nas proximidades.

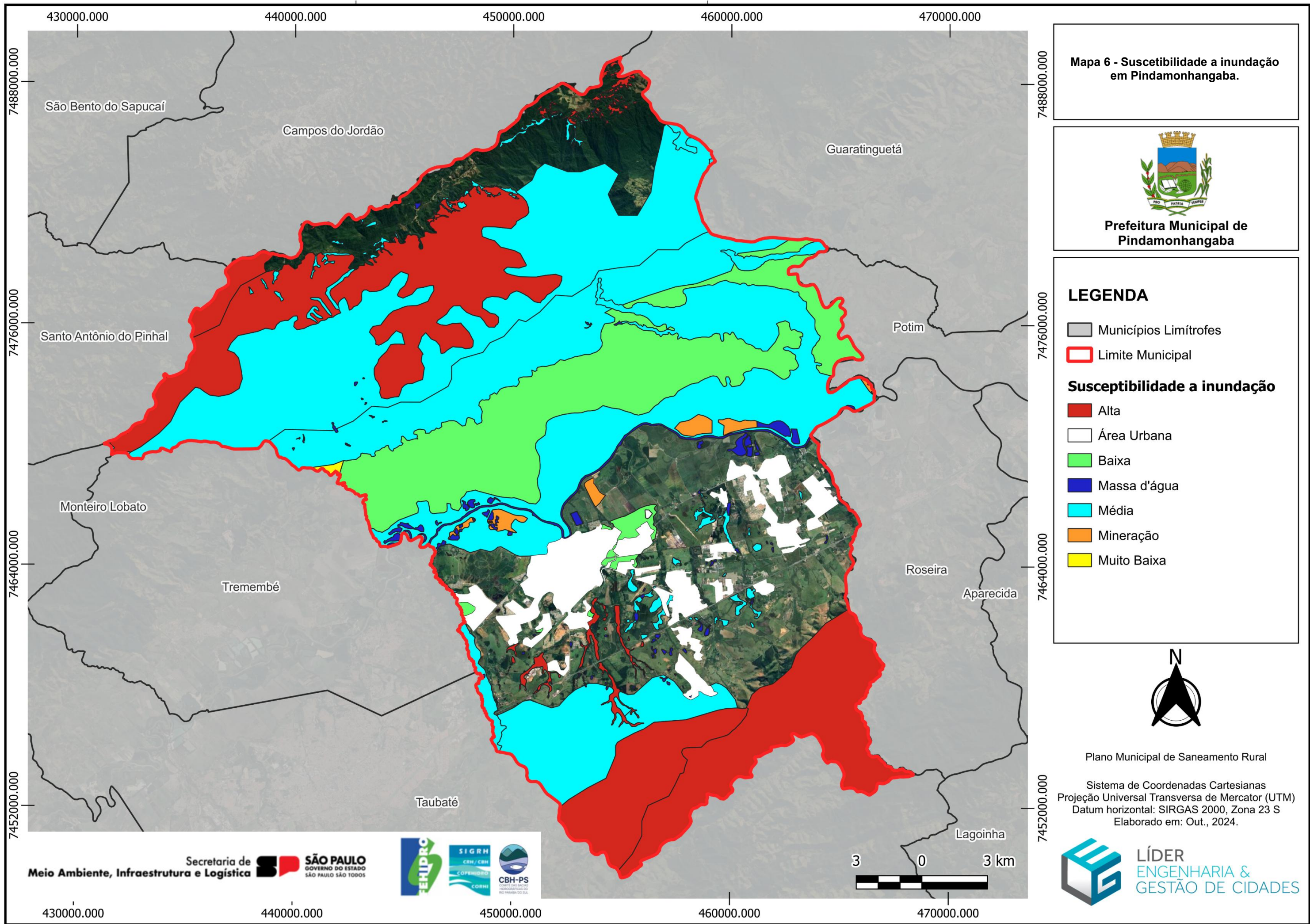
Na zona rural de Pindamonhangaba, em dado obtido através dos questionários aplicados, foi possível inferir que 13 propriedades possuem algum tipo de dispositivo de drenagem próximo de sua residência, como exposto abaixo. Entretanto, 217 repostas indicaram a ausência de dispositivos, este número representa cerca de 1.387 propriedades, quando extrapolado para toda a área rural do município.

Gráfico 43 – Percentual de atendimento da população acerca dos dispositivos de drenagem na zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Neste contexto, abaixo segue o mapa que representa a suscetibilidade a inundação na área rural do município de Pindamonhangaba, produzido a partir do Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Estado de São Paulo, com o *shapefile* disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA).

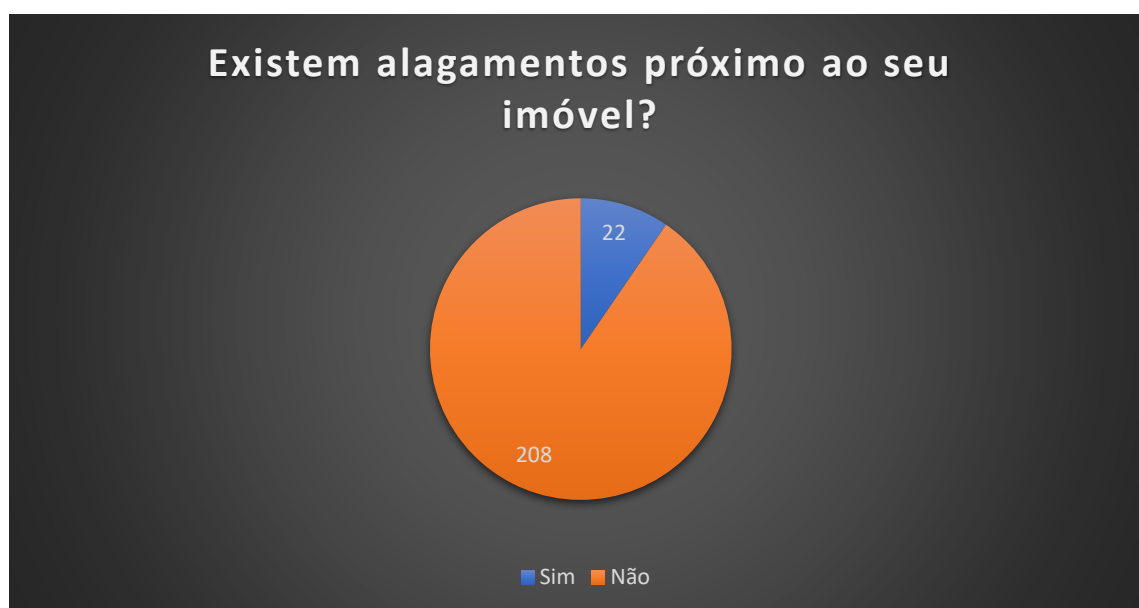


Fonte: Instituto de Pesquisas Ambientais. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Os principais rios que se localizam no perímetro municipal de Pindamonhangaba são: Rio Piracuama, Ribeirão do Oliveira, Ribeirão do Pau d'Alho, Ribeirão da Ponte Alta, Ribeirão Tetequera, Rio Paraíba do Sul, Água Preta, Ribeirão Ipiranga, Rio Capituba, Ribeirão dos Surdos, Rio das Almas, Ribeirão Pequeno.

De acordo com informações obtidas através do questionário aplicado, em relação a ocorrência de alagamentos, 22 propriedades afirmaram a ocorrência deste evento próximo de suas residências, como explana o gráfico abaixo, extrapolando para toda a área rural do município de Pindamonhangaba, tem-se o número de 141 propriedades com ocorrências de alagamento.

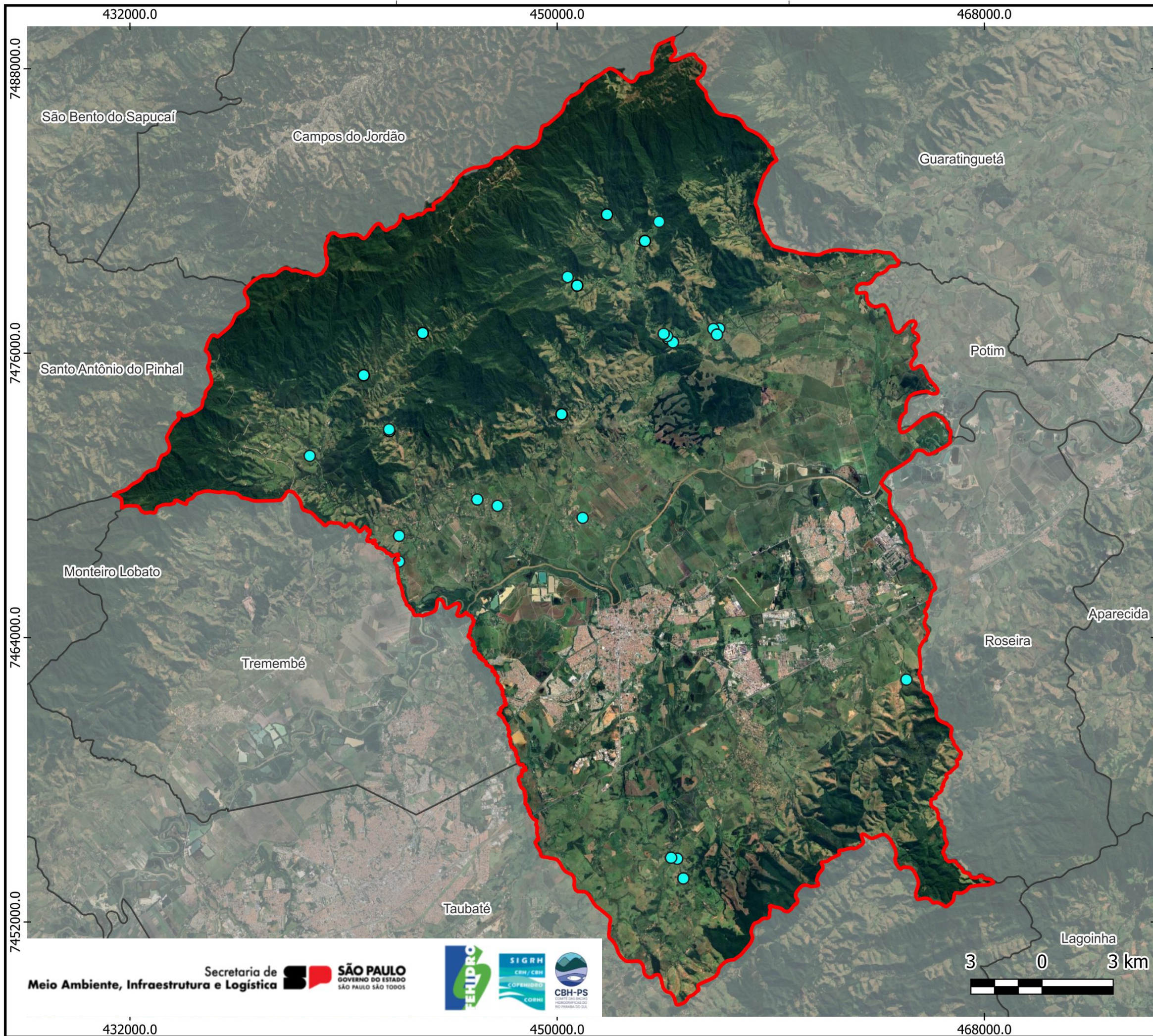
Gráfico 44 - Ocorrência de alagamentos próximos às propriedades entrevistadas.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2024.

Vale ressaltar que, conforme mencionado pelos moradores durante a aplicação dos questionários, a frequência de alagamentos, quando há, não é alta, ocorrendo em eventos de chuvas muito fortes na região.

A seguir é apresentado o mapa com a localização das propriedades que alegaram problemas com alagamento em períodos de chuvas, servindo como base para a tomada de decisões em relação ao manejo das águas pluviais na zona rural de Pindamonhangaba.



Mapa 7 - Propriedades que afirmaram problemas com alagamento nas redondezas em Piindamonhangaba.



Prefeitura Municipal de
Piindamonhangaba - SP

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limítrofes
- Pontos com alagamento



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Out., 2024.



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



3 0 3 km

Fonte: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Neste plano, a componente drenagem e manejo de águas pluviais, em sua fase de diagnóstico, pretende analisar os sistemas de drenagem natural, apontar problemas existentes e potenciais e além disto, elaborar cartas temáticas com base nos dados secundários e cartografia disponível da região, destacando temas de hidrografia, uso e ocupação dos solos, cobertura vegetal, características dos solos e topografia.

O SINISA disponibiliza informações referentes à infraestrutura de drenagem pluvial do município de Pindamonhangaba no período de 2017 a 2022, evidenciando um avanço significativo na implementação dessas estruturas, como ilustrado na Tabela 6. Tais dispositivos desempenham papel fundamental na mitigação de impactos associados aos eventos pluviométricos, tais como alagamentos, processos de asso-reamento e fenômenos erosivos, contribuindo para a melhoria da segurança hídrica e da estabilidade ambiental urbana e rural.

Tabela 6 - Drenagem pluvial do município de Pindamonhangaba/SP.

Ano referência	2022	2021	2019	2018	2017
Extensão total de vias públicas urbanas com pavimento e meio-fio (ou semelhante)	772	768	765	765	135
Quantidade de bocas de lobo existentes no município	4.486,00	4.458,00	4.428,00	4.428,00	295
Quantidade de bocas de leão ou bocas de lobo múltiplas (duas ou mais bocas de lobo conjugadas) existentes no município	321	309	295	295	295
Quantidade de poços de visita (PV) existentes no município	1.900,00	1.873,00	1.847,00	1.847,00	1.350,00
Extensão total de vias públicas urbanas com redes ou canais de águas pluviais subterrâneos	66,5	65	65	65	65

Fonte: SINISA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Ressalta-se, que este capítulo do PMSR, difere-se de um Plano de Macrodrenagem ou Plano de Controle de Erosão, sendo estes, responsáveis por propor diretrizes técnicas para solucionar problemas de inundação, assoreamento e erosão. Enquanto, aqui será apresentado um panorama do ciclo hidrológico das principais microbacias que exercem influência direta na zona rural de Pindamonhangaba e cálculos de intensidade de chuvas.

De face com o exposto acima, o estudo hidrológico tem por objetivo determinar a bacia hidrográfica predominante na área rural do município de Pindamonhangaba, na qual as condições de infiltração das águas pluviais são menos propícias em comparação com as demais, requerendo maior atenção.

1.4.1 Caracterização das Microbacias de Influência na Zona Rural

A obtenção das bacias hidrográficas que possuem influência na zona rural de Pindamonhangaba, foi realizada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo projeto TOPODATA, formado por colaboração entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Os Modelos Digitais de Elevação são conjuntos de dados que representam a elevação do terreno ou superfície da Terra em uma região específica, em formato digital.

A imagem abaixo apresenta as especificações do MDE que possui resolução espacial de 30 metros.

Figura 28 - Especificações do MDE.

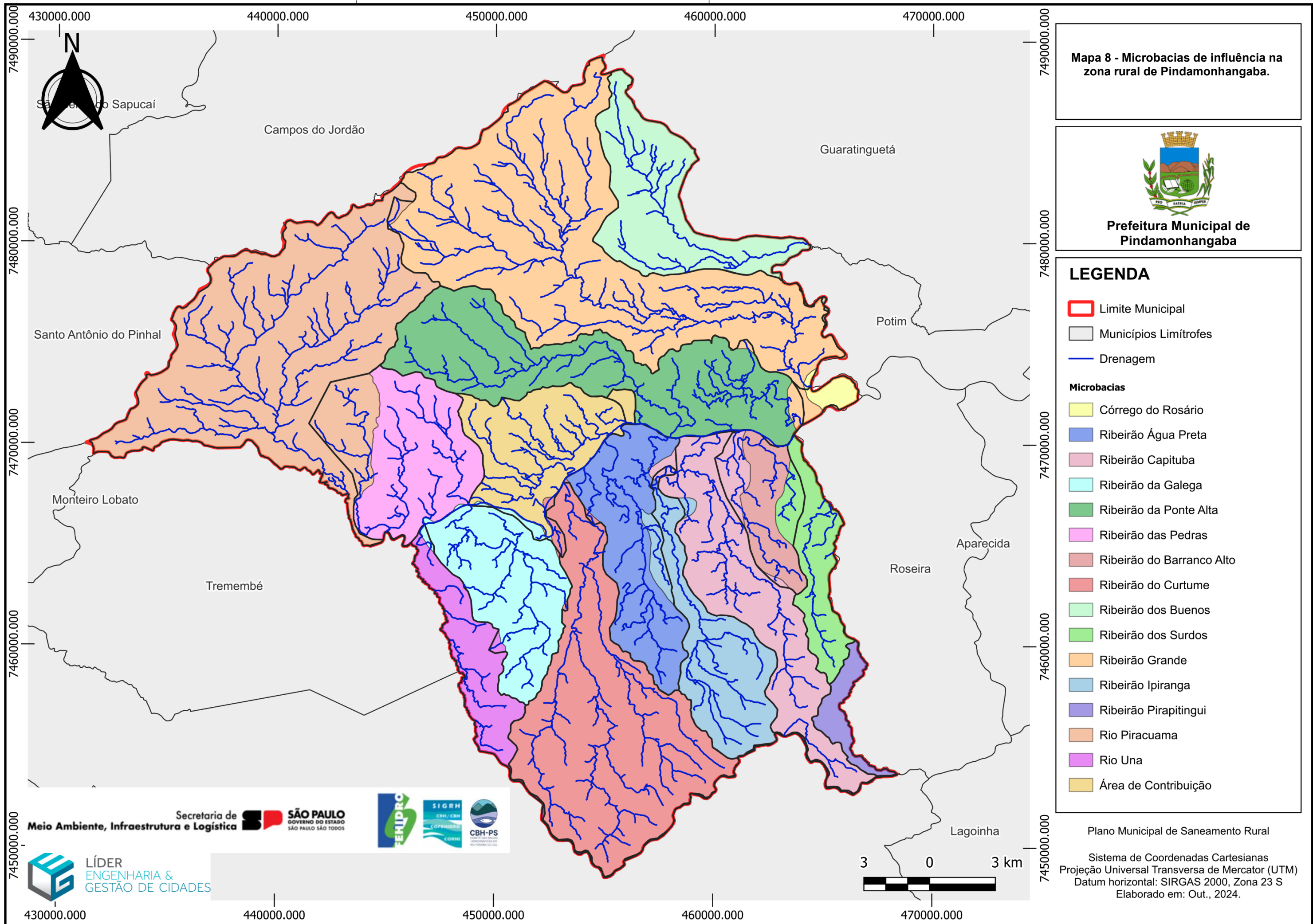
Informação do provedor	
Extensão	431278.0467494846088812,7448502.4853126015514135 : 468421.0434124546591192,7489328.8035493288189173
Largura	1255
Altura	1379
tipo de dado	Float32 - Ponto flutuante de 32 bits
Descrição do driver GDAL	GTiff
Metadados do driver GDAL	GeoTIFF
Descrição do registro	C:/Users/lider/AppData/Local/Temp/processing_ZUIpHN/8c6ac7a3f0e74740a0a91809b3339a53/OUTPUT.tif
Compressão	
Banda 1	- STATISTICS_APPROXIMATE=YES - STATISTICS_MINIMUM=524,5 - STATISTICS_MAXIMUM=1977.8225097656 - STATISTICS_MEAN=753.35796400856 - STATISTICS_STDDEV=327.10074170308 - STATISTICS_VALID_PERCENT=46.93
Mais informação	- Escala: 1 - Deslocamento: 0
Dimensões	X: 1255 Y: 1379 Bandas: 1
Origem	431278.0467494846088812,7489328.8035493288189173
Tamanho do Pixel	29.59601327726697306,-29.60574201358032553
Sistema de referência de coordenadas (SRC)	
Nome	EPSG:31983 - SIRGAS 2000 / UTM zone 23S
Unidades	metros
Type	Projetado
Método	Universal Transverse Mercator (UTM)
Celestial Body	Earth
Referência	Estático (depende de um dado que está fixado em placa)

Fonte: Qgis 3.34.7, 2025.

Com o intuito de realizar o estudo de drenagem das águas pluviais das micro-bacias rurais de Pindamonhangaba, delimitaram-se as microbacias que possuem influência direta na zona rural do Município. Para delimitação das microbacias hidrográficas utilizou-se o software Qgis 3.34.7. Nos próximos tópicos segue a análise detalhada para cada uma das microbacias identificadas.

A partir de processamentos do MDE da área correspondente ao perímetro municipal de Pindamonhangaba, obteve-se o fluxo de drenagem. O fluxo de drenagem refere-se ao padrão pelo qual a água escoar em uma determinada área. Esse conceito é frequentemente utilizado em geografia física e hidrologia para descrever a direção e a organização do movimento da água na paisagem. O fluxo de drenagem é influenciado pela topografia do terreno, sendo direcionado para áreas mais baixas.

Para ilustrar melhor a caracterização hidrográfica de todo o Município, segue abaixo o mapa das microbacias de influência na zona rural identificadas e o fluxo computado para Pindamonhangaba.



Fonte: Prefeitura Municipal de Pindamonhangaba. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Sendo assim, nos tópicos a seguir serão expostas informações relacionadas com a análise morfométrica, análise linear, análise areal e análise hipsométrica das microbacias de interesse.

1.4.2 Análise Morfométrica

A metodologia utilizada para determinação dos parâmetros foi a proposta por Horton (1945), sendo a mesma aplicada, considerando as condições ambientais brasileiras definidas por Villela e Mattos (1975) e Christofolletti (1974). Os dados secundários utilizados foram armazenados em ambiente SIG, onde foram feitos os cálculos, por meio de ferramentas estatísticas e de geoprocessamento, fazendo uso dos softwares: *Qgis 3.34.7* e *Microsoft® Excel 2022*.

O principal objetivo do estudo morfométrico é demonstrar, mediante os cálculos de parâmetros, quais microbacias apresentam as melhores e piores condições de drenagem, de acordo com suas condições naturais.

A análise morfométrica expõe a classificação e ordenação dos principais fluxos de drenagem, obtendo assim a hierarquia fluvial para cada microbacia. Posteriormente deu-se procedência nas análises de aspectos lineares, areais e hipsométricos, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Hierarquia do fluxo de drenagem computado.

Hierarquia Fluvial			
Microbacias	Ordem	Quantidade	Extensão (km)
Microbacia 1	Primária	18	9,62
	Secundária	6	14,1
	Terciária	2	7,81
	Quaternária	-	-
Microbacia 2	Primária	13	7,09
	Secundária	1	9,63
	Terciária	-	-
	Quaternária	-	-
Microbacia 3	Primária	36	27,55
	Secundária	5	18,14
	Terciária	1	8,88
	Quaternária	1	3,77
Microbacia 4	Primária	17	16,74
	Secundária	5	11,19
	Terciária	1	16,32
	Quaternária	-	-
Microbacia 5	Primária	26	29,24
	Secundária	7	14,79
	Terciária	1	11,27
	Quaternária	-	-
Microbacia 6	Primária	58	41,44
	Secundária	6	30,44
	Terciária	2	23,06
	Quaternária	1	6,57
Microbacia 7	Primária	15	10,48
	Secundária	4	7,11
	Terciária	1	2,1
	Quaternária	-	-
Microbacia 8	Primária	30	22,57
	Secundária	9	12,5
	Terciária	2	9,64
	Quaternária	1	2,45
Microbacia 9	Primária	32	26,34
	Secundária	10	17,19
	Terciária	3	13,79
	Quaternária	1	0,3
Microbacia 10 (Área de contribuição)	Primária	35	28,58
	Secundária	11	25,8

Hierarquia Fluvial			
Microbacias	Ordem	Quantidade	Extensão (km)
	Terciária	2	6,43
	Quaternária	-	-
Microbacia 11	Primária	22	19,08
	Secundária	8	8,92
	Terciária	2	12,18
	Quaternária	1	3,87
Microbacia 12	Primária	67	57,26
	Secundária	18	37,75
	Terciária	4	19,92
	Quaternária	1	10,95
Microbacia 13	Primária	42	39,31
	Secundária	7	25,4
	Terciária	2	21,56
	Quaternária	-	-
Microbacia 14	Primária	91	86,54
	Secundária	18	41,01
	Terciária	7	16,08
	Quaternária	2	5,91
	Quinária	1	20,32

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Mapa 9 - Hierarquia fluvial das microbacias rurais.



Prefeitura Municipal de
Pindamonhangaba

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limitrofes
- Hierarquia Fluvial de 1ª rdem
- Hierarquia Fluvial de 2ª rdem
- Hierarquia Fluvial de 3ª rdem
- Hierarquia Fluvial de 4ª rdem
- Hierarquia Fluvial de 5ª rdem
- Microbacias

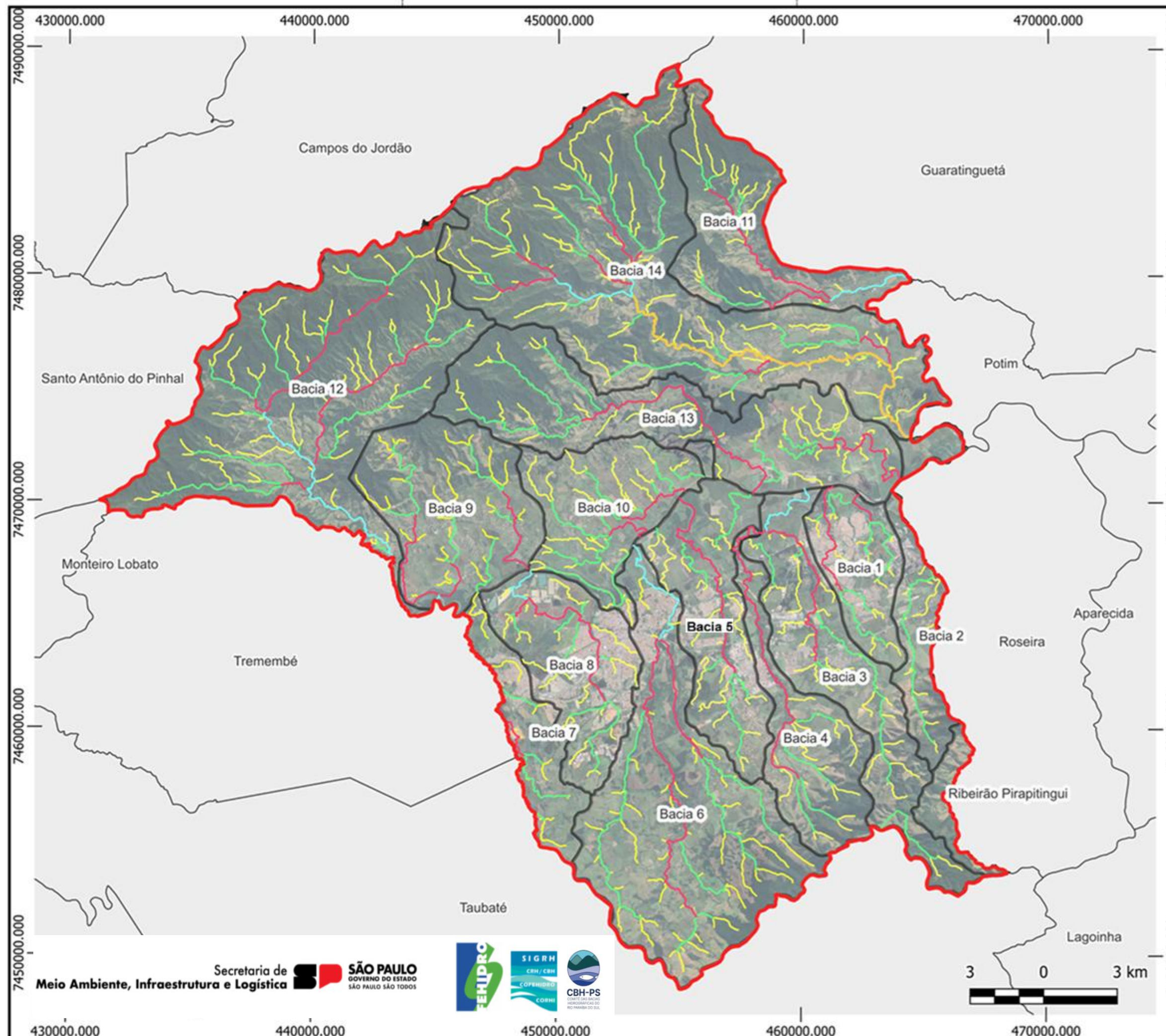


Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Jan., 2025.



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES



Secretaria de **SÃO PAULO**
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



Fonte: TOPODATA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

1.4.3 Análise Linear

- **Comprimento do canal principal (km) - Lcp**

É a distância que se estende ao longo do canal principal, desde sua nascente até a foz.

- **Altura do canal principal (m) - Hcp**

Para encontrar a altura do canal principal, subtrai-se a cota altimétrica encontrada na nascente pela cota encontrada na foz.

- **Gradiente do canal principal (m/km) - Gcp**

É a relação entre a altura do canal e o comprimento do respectivo canal, indicando a declividade do curso d'água. É obtido pela fórmula:

$$Gcp = Hcp / Lcp$$

Sendo:

Gcp = Gradiente do canal principal (m/km);

Hcp = Altura do canal principal (m);

Lcp = Comprimento do canal principal (km).

Este gradiente, também, pode ser expresso em porcentagem:

$$(\%) - Gcp = Hcp / Lcp * 100$$

- **Extensão do percurso superficial (km/km²) - Eps**

Representa a distância média percorrida pelas águas entre o interflúvio e o canal permanente. É obtido pela fórmula:

$$Eps = 1 / 2 Dd$$

Sendo:

Eps = Extensão do percurso superficial (km/km²);

1 = constante;

2 = constante;

Dd = Valor da densidade de drenagem (km/km²).

1.4.4 Análise Areal

Na análise areal das bacias hidrográficas, estão englobados vários índices, nos quais, intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podemos incluir os seguintes índices:

- **Comprimento da bacia (km) – Lb**

É calculado, através da medição de uma linha reta traçada ao longo do rio principal, desde sua foz até o ponto divisor da bacia.

- **Coeficiente de compacidade da bacia - Kc**

É a relação entre o perímetro da bacia e a raiz quadrada da área da bacia. Este coeficiente determina a distribuição do deflúvio, ao longo dos cursos d'água, e é em parte responsável pelas características das enchentes, ou seja, quanto mais próximo do índice de referência, que designa uma bacia de forma circular, mais sujeita a enchentes, será a bacia. É obtido pela fórmula:

$$Kc = 0,28 * P / \sqrt{A}$$

Sendo:

K_c = Coeficiente de compacidade;

P = Perímetro da bacia (km);

A = Área da bacia (km²).

Índice de referência – 1,0 = forma circular.

Índice de referência – 1,8 = forma alongada.

Pelos índices de referência, 1,0 indica que a forma da bacia é circular e 1,8 indica que a forma da bacia é alongada. Quanto mais próximo de 1,0 for o valor deste coeficiente, mais acentuada será a tendência para maiores enchentes. Isto porque, em bacias circulares, o escoamento será mais rápido, pois a bacia descarregará seu deflúvio direto com maior rapidez, produzindo picos de enchente de maiores magnitudes. Já nas bacias alongadas, o escoamento será mais lento e a capacidade de armazenamento maior.

- **Densidade hidrográfica (rios/km²) – D_h**

É a relação entre o número de segmentos de 1ª ordem e a área da bacia. É obtida pela fórmula:

$$D_h = N_1 / A$$

Sendo:

D_h = Densidade hidrográfica;

N_1 = Número de rios de 1ª ordem;

A = Área da bacia (km²).

Canali (1986) define três categorias de densidade hidrográfica:

D_h baixa – menos de 5 rios/km²;

D_h média – de 5 a 20 rios/km²;

D_h alta – mais de 20 rios/km².

- **Densidade de drenagem (km/km²) - Dd**

É a relação entre o comprimento dos canais e a área da bacia. É obtida pela fórmula:

$$Dd = Lt/A$$

Sendo:

Dd = Densidade de drenagem;

Lt = Comprimento total dos canais (km);

A = Área da bacia (km²).

Segundo Villela & Mattos (1975), o índice varia de 0,5 km/km², para bacias com pouca capacidade de drenagem, até 3,5 km/km² ou mais, para bacias, excepcionalmente, bem drenadas.

1.4.5 Análise Hipsométrica

- **Altura da Bacia**

É a diferença altimétrica entre o ponto mais elevado da bacia (crista) e o ponto mais baixo (foz).

Foram analisados os parâmetros lineares, areais e hipsométricos das microbacias de influência na zona rural do município de Pindamonhangaba, cujos dados estão expostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados extraídos das microbacias.

INFORMAÇÕES ANALISADAS	Microbacia 1	Microbacia 2	Microbacia 3	Microbacia 4	Microbacia 5	Microbacia 6	Microbacia 7	Microbacia 8	Microbacia 9	Microbacia 10	Microbacia 11	Microbacia 12	Microbacia 13	Microbacia 14
Área da bacia - A (km²)	20,47	16,01	44,62	30,52	37,51	86,32	20,32	35,61	45,75	34,13	38,55	109,17	68,73	130,39
Perímetro da bacia - P (km)	20,54	28,87	52,4	37,89	38,97	54,78	86,73	30,39	28,54	30,77	46,54	69,75	55,07	76,28
Comprimento do Canal Principal - Lcp (km)	10,85	10,14	20,63	19,74	16,33	20,61	6,01	15,82	12,11	8,59	17,01	22,43	19,64	32,89
Altura do canal principal - Hcp (m)	59	311	272	241	58	240	22	57	108	44	1322	1173	353	1389
Gradiente do canal principal - Gcp (m/Km)	5,44	30,67	13,18	12,21	3,55	11,64	3,66	3,60	8,92	5,12	77,72	52,30	17,97	42,23
Extensão do Percurso Superficial - Eps (Km/Km²)	0,77	0,52	0,65	0,72	0,74	0,59	0,48	0,66	0,63	0,89	0,57	0,58	0,63	0,59
Comprimento da bacia - Lb (km)	8,49	8,9	18,57	14,43	12,74	15,82	4,81	10,19	8,2	7,26	12,26	15,37	13,14	18,94
Coeficiente de Compacidade (Fator de Forma) - Kc	1,27	2,02	2,20	1,92	1,78	1,65	5,39	1,43	1,18	1,47	2,10	1,87	1,86	1,87
Densidade Hidrográfica - Dh (rios/Km²)	0,88	0,81	0,81	0,56	0,69	0,67	0,74	0,84	0,70	1,03	0,57	0,61	0,61	0,70
Densidade Drenagem - Dd (Km/Km²)	1,54	1,04	1,31	1,45	1,47	1,18	0,97	1,32	1,26	1,78	1,14	1,15	1,26	1,18
Altura da bacia - Hb (m)	131	433	823	534	107	541	124	125	676	162	1370	1375	732	1446

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A análise das 14 microbacias revela variações significativas nas condições de escoamento, aspectos fundamentais para o planejamento do saneamento rural e a gestão hídrica eficiente. Algumas bacias apresentam características que favorecem um escoamento mais dinâmico, enquanto outras demandam medidas específicas para mitigar riscos associados ao acúmulo de água e à erosão.

Em relação ao coeficiente de compacidade (K_c), valores mais próximos de 1 indicam uma forma mais circular, o que pode resultar em uma resposta hidrológica mais rápida devido à menor capacidade de retenção de água. As bacias 9 (1,18) e 1 (1,27) possuem formatos mais próximos do circular, indicando maior tendência a grandes enchentes devido à menor capacidade de armazenamento de água e ao escoamento superficial mais rápido. As bacias 8 (1,43), 10 (1,47) e 7 (1,43) apresentam tendência mediana a grandes enchentes. As demais bacias possuem valores superiores a 1,50, caracterizando-se como menos suscetíveis a inundações devido ao formato mais alongado, que favorece maior tempo de concentração.

A densidade hidrográfica (D_h) apresenta valores predominantemente médios, variando entre 0,56 (bacia 4) e 1,03 (bacia 10). A bacia 10 possui o maior índice, sugerindo maior número de cursos d'água por unidade de área, enquanto a bacia 4 registra o menor valor, podendo indicar menor eficiência no escoamento superficial.

A densidade de drenagem (D_d) demonstra que as bacias 10 (1,78) e 1 (1,54) possuem drenagem classificada como boa, enquanto as bacias 9 (1,26), 3 (1,31), 8 (1,32) e 4 (1,45) apresentam drenagem regular. Já as bacias 2 (1,04), 7 (0,97) e 6 (1,18) possuem drenagem relativamente menos eficiente, indicando menor capacidade de transporte de água superficial.

A área das bacias analisadas varia significativamente, indo de 16,01 km² (bacia 2) a 130,39 km² (bacia 14). As bacias com maiores áreas, como 14 (130,39 km²), 12 (109,17 km²) e 6 (86,32 km²), apresentam potencial para maior volume de captação de água, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica e a resposta hidrológica durante eventos de precipitação intensa. Já as bacias menores, como 7 (20,32 km²) e 1 (20,47 km²), podem responder de maneira mais rápida às chuvas, devido ao menor tempo de concentração.

A altura do canal principal (H_{cp}) apresenta grande variação entre as bacias, com a bacia 14 registrando o maior valor (1.389 m), seguida pelas bacias 11 (1.322 m) e 12 (1.173 m). Essas diferenças refletem distintas condições de energia potencial,

influenciando a velocidade e o volume do escoamento. Em contrapartida, as bacias 7 (22 m), 8 (57 m) e 1 (59 m) apresentam altitudes reduzidas, sugerindo gradientes menos acentuados e menor potencial erosivo.

1.4.6 Estudos Hidrológicos

Os Estudos Hidrológicos visam fornecer resultados das análises matemáticas feitas em uma bacia hidrográfica em função das características que alteram a sua capacidade de escoamento. Como exemplo destas características, tem-se as alterações da sua vegetação com determinada cobertura do solo, seu tipo de solo e geologia inserida, a intensidade pluviométrica e seus resultados das análises morfométrica.

1.4.7 Índices Físicos

Os índices físicos, em termos hidrológicos, são aqueles que representam algumas características geométricas da bacia em estudo. Os abordados neste estudo são o comprimento do talvegue principal e sua declividade média.

Os valores de desnível geométrico nas microbacias, bem como o comprimento do talvegue principal, foram obtidos através do uso de processamento digital de imagens, usando os sistemas de informações geográficas e o auxílio da base cartográfica (IBGE, SRTM).

A literatura técnica especializada apresenta diversas equações para o cálculo do tempo de concentração de bacias de drenagem. Dentre estas, as mais conhecidas são Kirpich, Bransby-Williams, Onda Cinemática, SCS (Soil Conservation Service) e de Watt e Chow.

O tempo de concentração de uma bacia pode ser definido como o tempo contado a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua para a vazão na seção de saída ou em estudo, isto é, corresponde ao tempo que a partícula de água de chuva que cai no ponto mais remoto da bacia leva para atingir a seção em estudo, escoando superficialmente.

Para a elaboração do presente Plano foram comparados os resultados obtidos por meio das equações de Kirpich, Soil Conservation Service e a de Watt e Chow. Mediante a análise dos resultados encontrados, foi observado que os métodos de

Watt e Chow e Soil Conservation Service forneceram valores de tempo de concentração extremamente altos, e, por conseguinte, bem fora da realidade requerida para o estudo. Portanto optou-se por utilizar os resultados da equação de Kirpich. Sendo assim, a equação de Kirpich se apresenta a seguir:

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Sendo:

Tc: Tempo de concentração, em minutos;

L: extensão do talvegue em quilômetros e;

H: diferença de cotas entre seção de drenagem e o ponto mais alto do talvegue em metros.

A Tabela 9 apresenta os valores referentes ao Tempo de Concentração (Tc) para as microbacias rurais de Pindamonhangaba.

Tabela 9 - Tempo de Concentração para as microbacias rurais de Pindamonhangaba/SP.

Microbacias	L (Km)	ΔH (m)	Tc (min)	Tc (h)
1	10,85	59	186,22	3,10
2	10,14	311	90,81	1,51
3	20,63	272	217,18	3,62
4	19,74	241	216,23	3,60
5	16,33	58	300,58	5,01
6	20,61	240	227,64	3,79
7	6,01	22	137,61	2,29
8	15,82	57	291,71	4,86
9	12,11	108	167,51	2,79
10	8,59	44	159,19	2,65
11	17,01	1322	94,55	1,58
12	22,43	1173	136,27	2,27
13	19,64	353	185,59	3,09
14	32,89	1389	198,68	3,31

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

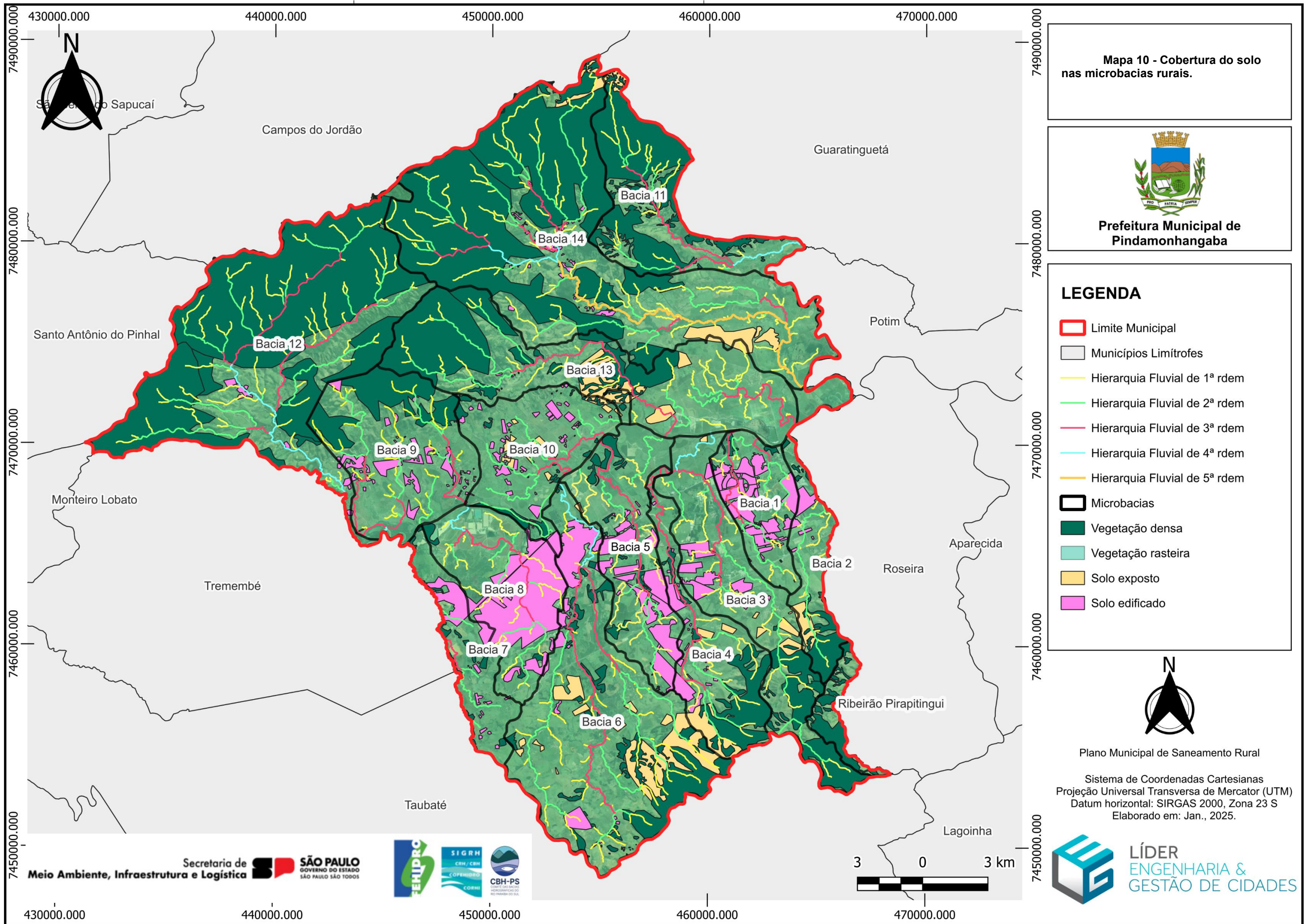
1.4.8 Cobertura do Solo

Neste ponto da análise, a imagem foi recortada para que abrangesse apenas as áreas das microbacias relevantes para o estudo hidrológico e que possuem influência direta e indireta na drenagem da área rural de Pindamonhangaba, sendo a imagem obtida pelo projeto TOPODATA, que apresenta resolução espacial de 30 metros. A classificação que se deu foi de forma supervisionada, identificando as fisionomias mais aparentes e o valor de seus pixels, realizando uma classificação semiautomática.

Após isso, foram feitas correções manuais visando eliminar interferências atmosféricas da imagem e alterar algumas áreas classificadas que não estavam fiéis à realidade. Escolheram-se quatro classes para a classificação supervisionada, seguindo um critério de que cada classe possui uma maior tendência ao escoamento da água e menor tendência à infiltração. São as seguintes:

- Solo Exposto;
- Vegetação Densa;
- Vegetação Rasteira;
- Solo Edificado;

Em seguida, foram mapeadas e medidas as classes criadas para a classificação supervisionada, conforme o Mapa 10 e a Tabela 10.



Fonte: TOPODATA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Tabela 10 - Classes de cobertura do solo das microbacias analisadas.

Microbacia 1	Área (km²): 20,46	Perímetro (km): 20,54
	Solo edificado (km²)	7,04
	Solo exposto (km²)	2,69
	Vegetação densa (km²)	0,51
	Vegetação rasteira (km²)	13,98
Microbacia 2	Área (km²): 16,01	Perímetro (km): 28,87
	Solo edificado (km²)	1,04
	Solo exposto (km²)	1,15
	Vegetação densa (km²)	4,02
	Vegetação rasteira (km²)	1,07
Microbacia 3	Área (km²): 44,62	Perímetro (km): 52,40
	Solo edificado (km²)	3,01
	Solo exposto (km²)	1,19
	Vegetação densa (km²)	8,69
	Vegetação rasteira (km²)	31,05
Microbacia 4	Área (km²): 30,51	Perímetro (km): 37,89
	Solo edificado (km²)	2,38
	Solo exposto (km²)	8,32
	Vegetação densa (km²)	8,87
	Vegetação rasteira (km²)	16,84
Microbacia 5	Área (km²): 37,50	Perímetro (km): 38,97
	Solo edificado (km²)	8,09
	Solo exposto (km²)	0,23
	Vegetação densa (km²)	2,11
	Vegetação rasteira (km²)	27,06
Microbacia 6	Área (km²): 86,32	Perímetro (km): 54,78
	Solo edificado (km²)	5,60

	Solo exposto (km ²)	10,54
	Vegetação densa (km ²)	12,99
	Vegetação rasteira (km ²)	59,07
Microbacia 7	Área (km ²): 20,32	Perímetro (km): 86,73
	Solo edificado (km ²)	2,5
	Solo exposto (km ²)	0,41
	Vegetação densa (km ²)	1,41
	Vegetação rasteira (km ²)	18,10
Microbacia 8	Área (km ²): 35,61	Perímetro (km): 30,39
	Solo edificado (km ²)	13,75
	Solo exposto (km ²)	2,42
	Vegetação densa (km ²)	0,62
	Vegetação rasteira (km ²)	18,68
Microbacia 9	Área (km ²): 45,74	Perímetro (km): 28,54
	Solo edificado (km ²)	3,5
	Solo exposto (km ²)	0,02
	Vegetação densa (km ²)	25,32
	Vegetação rasteira (km ²)	31,84
Microbacia 10	Área (km ²): 34,12	Perímetro (km): 30,77
	Solo edificado (km ²)	2,2
	Solo exposto (km ²)	1,42
	Vegetação densa (km ²)	1,91
	Vegetação rasteira (km ²)	28,56
Microbacia 11	Área (km ²): 38,54	Perímetro (km): 46,54
	Solo edificado (km ²)	0
	Solo exposto (km ²)	0,9
	Vegetação densa (km ²)	22,92
	Vegetação rasteira (km ²)	15,17
Microbacia 12	Área (km ²): 109,17	Perímetro (km): 69,75
	Solo edificado (km ²)	0,72

	Solo exposto (km ²)	0
	Vegetação densa (km ²)	79,95
	Vegetação rasteira (km ²)	28,94
Microbacia 13	Área (km ²): 68,73	Perímetro (km): 55,07
	Solo edificado (km ²)	0,06
	Solo exposto (km ²)	3,94
	Vegetação densa (km ²)	24,40
	Vegetação rasteira (km ²)	39,83
Microbacia 14	Área (km ²): 130,39	Perímetro (km): 76,28
	Solo edificado (km ²)	1,16
	Solo exposto (km ²)	4,03
	Vegetação densa (km ²)	74,84
	Vegetação rasteira (km ²)	51,69

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A análise das microbacias rurais de Pindamonhangaba foi realizada considerando quatro classes de cobertura do solo: solo edificado, solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. A relação entre essas áreas é fundamental para entender o comportamento hidrológico de cada microbacia, especialmente no que se refere à infiltração de água e ao escoamento superficial.

Entre as 14 microbacias analisadas, a Microbacia 14 se destaca como a maior em termos de área total, com 130,39 km², e apresenta a maior área permeável, somando 126,53 km², composta por 74,84 km² de vegetação densa e 51,69 km² de vegetação rasteira. Essas áreas contribuem significativamente para a infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial e favorecendo a recarga dos aquíferos.

Por outro lado, a Microbacia 14 também possui uma das maiores áreas de solo exposto, totalizando 4,03 km², além de 1,16 km² de solo edificado. Embora a cobertura vegetal seja predominante, a presença dessas áreas menos permeáveis pode representar desafios para a retenção da água em determinadas regiões da microbacia, especialmente em períodos de chuva intensa.

Já a Microbacia 12, com 109,17 km², também apresenta uma grande área permeável, totalizando 108,89 km², sendo 79,95 km² de vegetação densa e 28,94 km² de vegetação rasteira. Sua área impermeável é mínima, com apenas 0,72 km² de solo

edificado e nenhuma área de solo exposto, tornando-a altamente favorável em termos de drenagem natural e infiltração de água, minimizando os riscos de enchentes e erosão.

Por outro lado, a Microbacia 8, que se encontra em boa parte na área urbana do município, se destaca por apresentar a maior área de solo edificado, com 13,75 km², além de 2,42 km² de solo exposto. Com uma área total de 35,61 km², sua área permeável soma 19,3 km², o que indica uma distribuição mais equilibrada entre áreas urbanizadas e vegetação. No entanto, a presença expressiva de solo edificado pode impactar o escoamento superficial e a recarga hídrica da região.

A Microbacia 11 apresenta uma particularidade relevante: embora tenha uma área total de 38,54 km², não há registros de solo edificado, e sua área de solo exposto é de apenas 0,9 km². Com 22,92 km² de vegetação densa e 15,17 km² de vegetação rasteira, essa microbacia se destaca como uma das mais preservadas, com grande capacidade de retenção de água e infiltração no solo.

Entre as microbacias que apresentam condições menos favoráveis para a drenagem e a recarga hídrica, destacam-se a Microbacia 6 e a Microbacia 4, onde boa parte delas está inserida na área urbana. A Microbacia 6 possui a maior área de solo exposto entre todas as analisadas, somando 10,54 km², além de um alto índice de solo edificado, com 5,60 km². Com uma área total de 86,32 km², a soma de áreas impermeáveis pode comprometer significativamente a drenagem natural, aumentando a suscetibilidade à erosão e ao escoamento superficial.

A Microbacia 4 apresenta 8,32 km² de solo exposto, o que representa uma parcela relevante de sua área total de 30,51 km². Apesar de contar com 8,87 km² de vegetação densa e 16,84 km² de vegetação rasteira, a extensão do solo exposto pode aumentar o risco de degradação do solo e reduzir a eficiência da infiltração da água no terreno.

A análise das microbacias permite compreender melhor os desafios e as potencialidades da drenagem pluvial na região. As microbacias com maior cobertura vegetal tendem a favorecer a infiltração da água e reduzir o risco de enchentes, enquanto aquelas com grandes áreas de solo exposto e edificado enfrentam maiores dificuldades na gestão do escoamento superficial. Esses parâmetros são fundamentais para o planejamento urbano e ambiental, contribuindo para a formulação de estratégias

voltadas à sustentabilidade e à preservação dos recursos hídricos, aspectos essenciais dentro do eixo do saneamento básico.

1.4.9 Chuvas Intensas

As equações de chuvas intensas são fórmulas que dependem de estudos hidrológicos realizados na região de estudo. Esses estudos têm por objetivo a obtenção de uma equação que melhor descreve o regime de chuvas do local. No caso do município de Pindamonhangaba, será utilizada a equação geral de chuvas intensas e os parâmetros obtidos através do *software Pluvio 2.1*.

$$\text{Equação Geral: } I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t + b)^c}$$

sendo:

K: 1170,414

a: 0,150

b: 7,548

c: 0,799

t: duração da chuva em minutos;

Tr: período de retorno em anos.

Abaixo segue a tabela com as chuvas intensas calculadas para até 100 anos de período de retorno.

Tabela 11 - Previsão de máximas intensidades de chuvas (mm/h).

INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO mm/h					
ANOS	5	10	25	50	100
Microbacia 1	22,164	24,593	28,216	31,308	34,738
Microbacia 2	38,100	42,275	48,504	53,818	59,715
Microbacia 3	19,689	21,846	25,065	27,811	30,858
Microbacia 4	19,755	21,919	25,149	27,905	30,962
Microbacia 5	15,300	16,976	19,478	21,612	23,980
Microbacia 6	18,985	21,066	24,169	26,818	29,756
Microbacia 7	27,918	30,977	35,541	39,435	43,756
Microbacia 8	15,661	17,377	19,938	22,122	24,546
Microbacia 9	24,037	26,671	30,601	33,954	37,674
Microbacia 10	24,991	27,729	31,815	35,301	39,169
Microbacia 11	36,981	41,033	47,079	52,237	57,961
Microbacia 12	28,125	31,206	35,804	39,727	44,080
Microbacia 13	22,221	24,656	28,289	31,389	34,828
Microbacia 14	21,088	23,398	26,846	29,787	33,051

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A intensidade da precipitação indica a quantidade (altura) precipitada em determinado tempo. Já o conceito de período de retorno (TR) pode ser expresso como o “número médio de anos em que, para a mesma duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica igualada ou ultrapassada apenas uma vez” (NBR 10.844).

O tempo de duração de chuva foi adotado como sendo igual ao tempo de concentração da seção analisada da microbacia.

1.4.10 Métodos para cálculo da vazão

Partes integrantes dos métodos de transformação de chuva em vazão são os métodos de separação do escoamento. As águas pluviais, ao atingirem a superfície terrestre, têm dois caminhos principais, infiltrar no solo ou escoar superficialmente.

Para determinação da parcela das alturas precipitadas que escoam superficialmente, foram desenvolvidos diversos métodos de estimativa. Os mais conhecidos são:

- Coeficiente de *run off*;
- Método Racional;
- Índice (teta);
- SCS (*Soil Conservation Service*);
- Horton;
- *Green & Ampt*;
- I-Pai-Wu.

O Método Racional é o mais comum para a determinação da vazão de projeto de bacias naturais, sendo realizado por procedimentos estatísticos. Já para o cálculo de vazão para pequenas bacias são aplicados modelos de transformação chuva-vazão (ou indiretos), nos quais a vazão é calculada a partir das chuvas. Para o uso desse modelo, a bacia precisa ter as seguintes características:

- A bacia deve ter características físicas homogêneas;
- Em toda a área de drenagem da bacia, a precipitação deve ser uniforme;
- Bacias com área até 2,0 km²;

O método é usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. A fórmula a seguir, apresenta a forma de calcular a vazão de pico pelo Método Racional:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

Sendo:

Q – Vazão de pico (m³/s);

i – intensidade máxima da chuva (mm/h);

C – Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A – área de drenagem da bacia (km²).

Os valores do coeficiente “C”, no Método Racional, referem-se ao coeficiente de escoamento superficial, que é convencionado de acordo com as características fisiográficas das microbacias.

O método racional é um dos mais utilizados no território brasileiro. Sua simplicidade de aplicação e resultados obtidos são geralmente satisfatórios, o que o torna bem aceitável uma vez que as condições básicas são atendidas. De acordo com Reis (2017), o nome do método “Racional” é para contrapor os métodos antigos que eram empíricos e, portanto, não racionais.

O Método I-Pai-Wu é um aprimoramento do Método Racional e considera características da bacia hidrográfica, como seu formato, a distribuição das águas pluviais e sua capacidade de armazenamento. A utilização dessa metodologia apresenta maior grau de precisão, porque relaciona variáveis importantes na formação de uma cheia (Schlickmann, 2019).

O Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE recomenda o Método Racional para bacias de até 2 km² ou 200 ha, como já citado, e que não disponham de série histórica de dados fluviométricos. Para bacias hidrográficas com áreas acima deste valor, existem outros métodos mais indicados, como o Método I-PAI-WU, sendo este que será utilizado neste estudo.

1.4.11 Método I-PAI-WU

O método I-Pai-Wu é definido pela seguinte expressão:

$$Q = 0,278.C.I.A*0,9.K$$

Em que:

Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente de deflúvio;

I = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área da bacia (km²);

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

A obtenção do coeficiente de deflúvio depende de fatores da bacia hidrográfica analisada, tais como tipo de solo, declividade, uso da terra e condições de cobertura. Segundo o DAEE (2012), o coeficiente C pode ser determinado pela equação:

$$C = 2/1 + F.C2/C1$$

sendo:

C1 = Coeficiente de forma da bacia,

C2 = Coeficiente volumétrico de escoamento e

F = Fator de forma.

Para definição de C1, é necessário obter o valor de F, com a seguinte equação:

$$F = L/2.(A/\pi)^{1/2}$$

$$C1 = 4 / 2 + F$$

sendo:

A = Área da bacia contribuinte (km²) e

L = Comprimento do talvegue do curso d'água (km).

O Fator de Forma é dado como sendo a razão entre a largura média da bacia e o comprimento no sentido axial da mesma. O comprimento axial é medido da saída da bacia até seu ponto mais remoto, seguindo-se as grandes curvas do rio principal, sem considerar os meandros.

A largura média é obtida dividindo-se a área da bacia em faixas perpendiculares, onde o polígono formado pela união dos pontos extremos dessas perpendicularidades se aproxime da forma da bacia real. Pode ser também obtido pela seguinte fórmula:

$$Ff = B/L$$

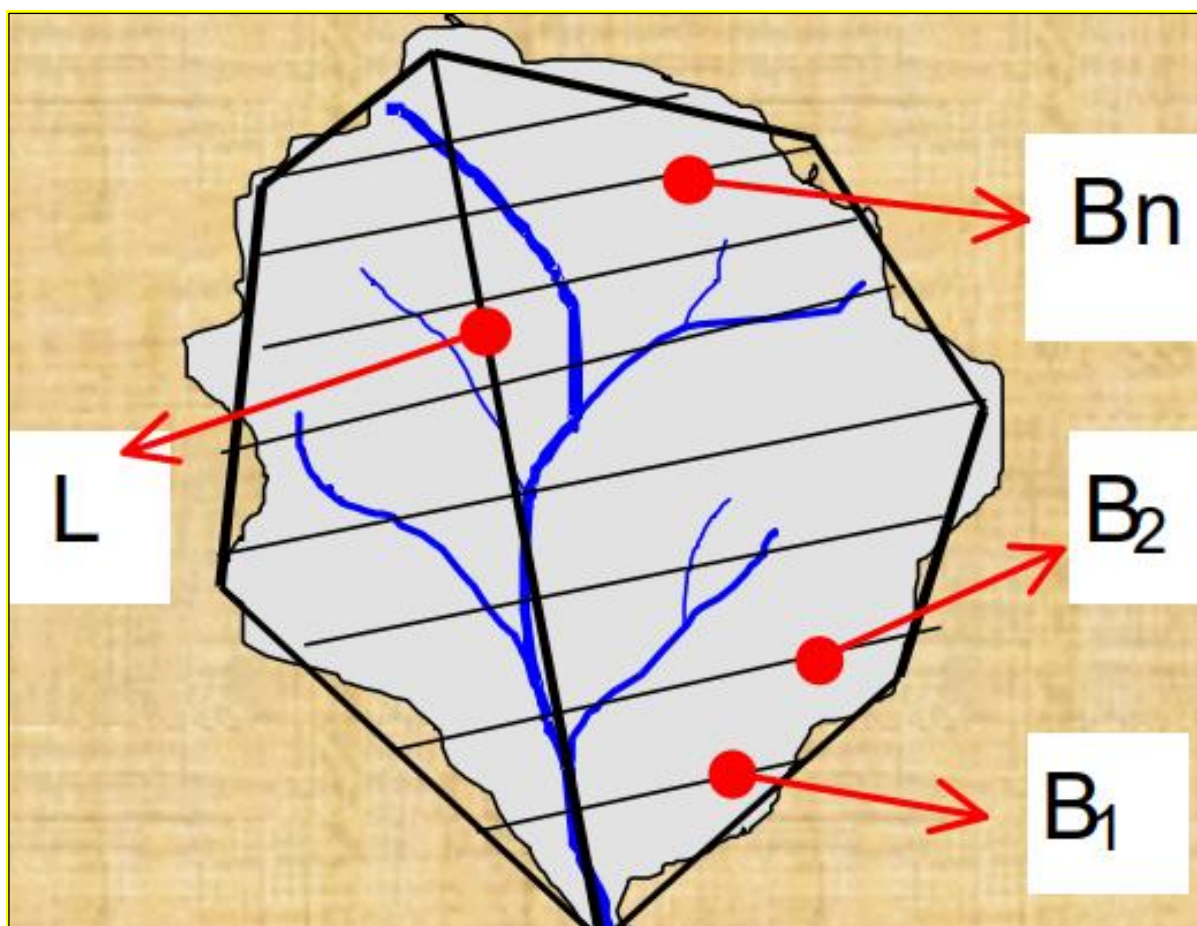
Sendo:

L: comprimento da bacia

B: largura média, obtida pela fórmula:

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_i$$

Figura 29 - Determinação da largura média da bacia.



Fonte: Hidromundo, 2020. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com o DAEE (2012) o coeficiente volumétrico de escoamento (C2) está relacionado com grau de impermeabilidade da superfície do solo. Podemos adotar o C2 de acordo com as características de cada microbacia utilizando a Tabela 12.

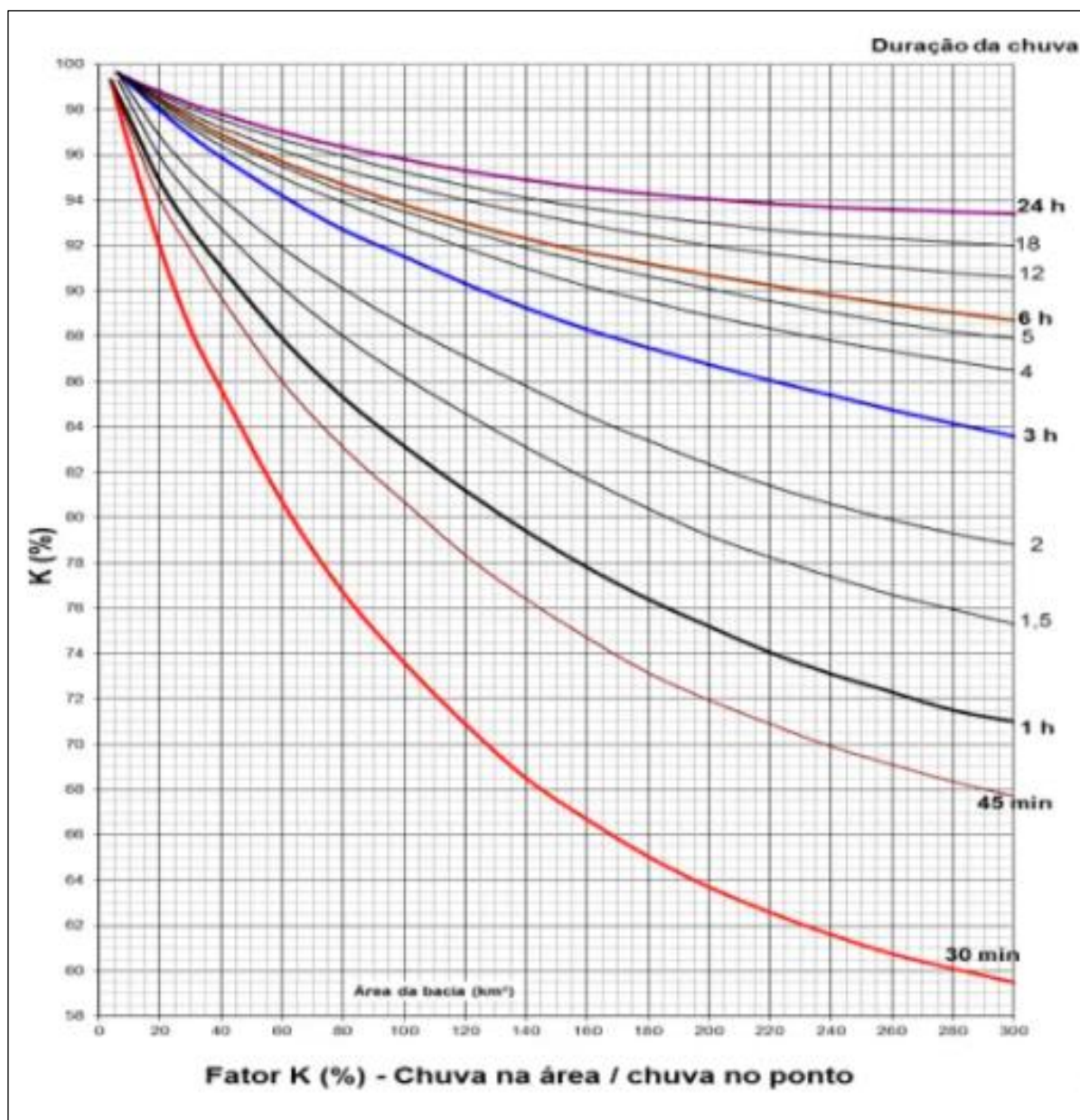
Tabela 12 - Valores para determinação de C2.

Natureza da superfície	Valores de C
Telhados perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas e em bom estado	0,85 a 0,90
Pavimentações de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentações de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estrada de ferro e terrenos descampados	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e natureza do subsolo	0,01 a 0,20

Fonte: Wilken (1978). Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O coeficiente de distribuição espacial da chuva, K, é em função do tempo de concentração das chuvas e da área de drenagem. Seu valor pode ser obtido através do gráfico a seguir extraído do manual “Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de I-Pai-Wu” (São Paulo, 1999).

Figura 30 - Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).



Fonte: Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de I-Pai-Wu, 1999. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

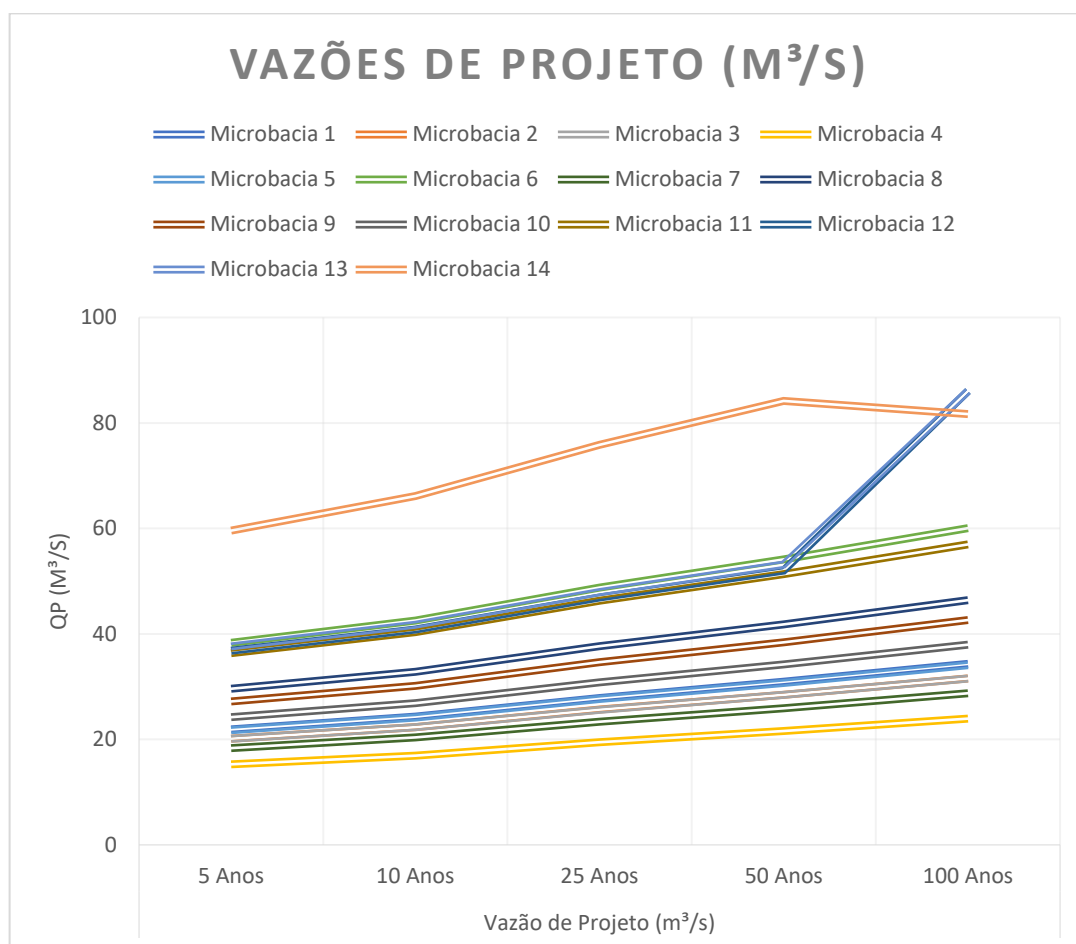
Neste sentido, a tabela e o gráfico a seguir demonstram as vazões estimadas pelo Método I-PAI-WU.

Tabela 13 - Vazões para diferentes Tempos de Retorno pelo Método I-PAI-WU

Microbacia	Vazão de Projeto Método I-PAI-WU (m³/s)				
	5 Anos	10 Anos	25 Anos	50 Anos	100 Anos
1	21,90	24,30	27,87	30,93	34,32
2	20,14	22,34	25,63	28,44	31,56
3	20,12	22,33	25,62	28,43	31,54
4	15,28	16,95	19,45	21,58	23,94
5	21,74	24,12	27,68	30,71	34,07
6	38,32	42,52	48,78	54,13	60,05
7	18,35	20,36	23,36	25,91	28,75
8	29,61	32,85	37,69	41,82	46,40
9	27,20	30,18	34,63	38,42	42,63
10	24,22	26,87	30,83	34,21	37,96
11	36,35	40,33	46,27	51,34	56,97
12	36,82	40,86	46,88	52,01	58,04
13	37,63	41,76	47,91	53,16	58,04
14	59,59	66,11	75,86	84,17	91,65

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 45 - Vazões de projeto (m³/s) das microbacias de influência na área rural de Pindamonhangaba.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.4.12 Unidades de Conservação e sua Influência sobre os Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais

As Unidades de Conservação (UCs) são áreas naturais protegidas por lei, destinadas à conservação e ao uso sustentável dos recursos naturais, bem como à proteção da biodiversidade e dos ecossistemas. Elas desempenham um papel fundamental na preservação ambiental e na manutenção da biodiversidade, fornecendo habitat para diversas espécies de flora e fauna, protegendo recursos hídricos e contribuindo para a regulação do clima.

As UCs são essenciais para a conservação da biodiversidade, representando um dos principais instrumentos para a proteção de ecossistemas terrestres e aquáticos em todo o mundo. Elas ajudam a garantir a sobrevivência de espécies ameaçadas, promovendo a conectividade ecológica e preservando os serviços ecossistêmicos vitais para a sustentabilidade do planeta.

Segundo estudos como o de Rodrigues et al. (2004), a preservação das UCs é essencial para a manutenção da diversidade biológica e a promoção de processos ecológicos fundamentais, como a dispersão de sementes, a polinização e a regulação do ciclo hidrológico. Além disso, UCs bem geridas têm sido associadas à melhoria da qualidade da água, à redução do risco de desastres naturais e à promoção do bem-estar humano.

As Unidades de Conservação também exercem um impacto positivo significativo sobre a drenagem pluvial nos municípios, contribuindo para a redução do escoamento superficial e a infiltração da água no solo. A vegetação preservada dentro dessas áreas atua como uma barreira natural contra a erosão, diminuindo a sedimentação nos cursos d'água e evitando o assoreamento de rios e lagos. Além disso, ao regular o fluxo hídrico, as UCs ajudam a mitigar enchentes e inundações em áreas urbanas e rurais, promovendo uma drenagem mais eficiente. Dessa forma, a conservação dessas áreas não apenas protege a biodiversidade, mas também melhora a gestão dos recursos hídricos municipais, reduzindo impactos negativos sobre a infraestrutura e a população local.

1.4.13 Descrição das Unidades de Conservação no Município de Pindamonhangaba

Para o Município de Pindamonhangaba, segundo o Cadastro Nacional das Unidades de Conservação, (CNUC) mantido pelo Ministério do Meio Ambiente, são dispostas em seu território, total ou parcialmente, 3 UCs divididas entre duas Áreas de Proteção Ambiental, (APA), e um Parque Estadual (PE) que serão descritos neste capítulo.

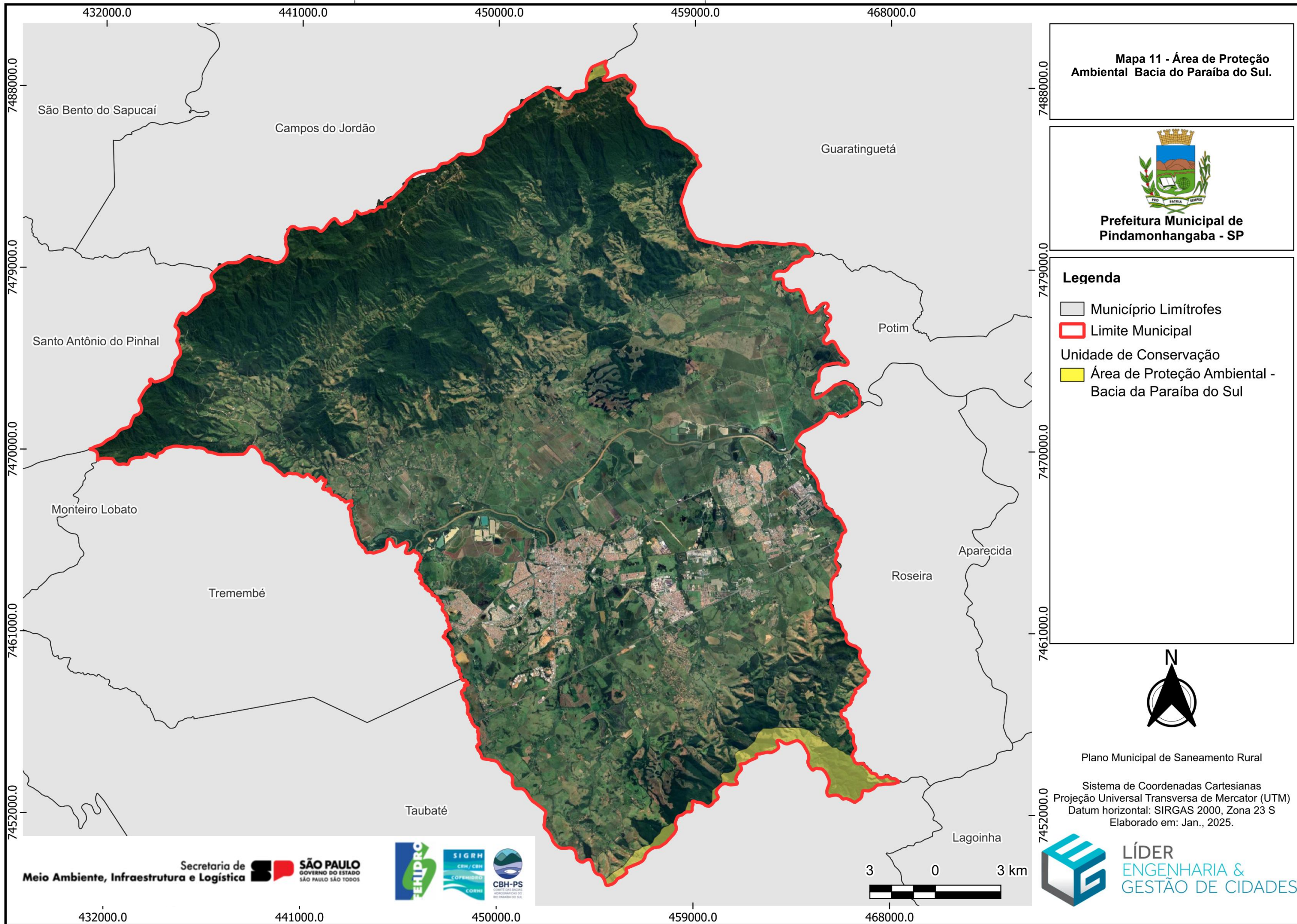
Além da área atribuída para as unidades de conservação, tem-se as zonas de amortecimento, que são áreas que se encontram no entorno das unidades de conservação (UCs) e que estão sujeitas a restrições e normas específicas para as atividades humanas. O objetivo é minimizar os impactos negativos que essas atividades podem causar nas UCs.

- **Área de Proteção Ambiental – Bacia do Paraíba do Sul**

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio Paraíba do Sul é uma unidade de conservação de caráter federal, instituída pelo Decreto nº 87.561. Localizada na Mata Atlântica, essa APA se estende pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Com uma área total de 292.599,92 hectares, parte dela está situada no município de Pindamonhangaba e é classificada como uma unidade de uso sustentável.

Além de preservar o meio ambiente, a APA oferece espaço para atividades de turismo, lazer e contemplação. No Mapa 11, é possível visualizar a área da APA que está inserida no território de Pindamonhangaba.



Mapa 11 - Área de Proteção Ambiental Bacia do Paraíba do Sul.



Prefeitura Municipal de Pindamonhangaba - SP

Legenda

Município Limítrofes

Limite Municipal

Unidade de Conservação

Área de Proteção Ambiental - Bacia da Paraíba do Sul



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Jan., 2025.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística
SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Fonte: ANA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

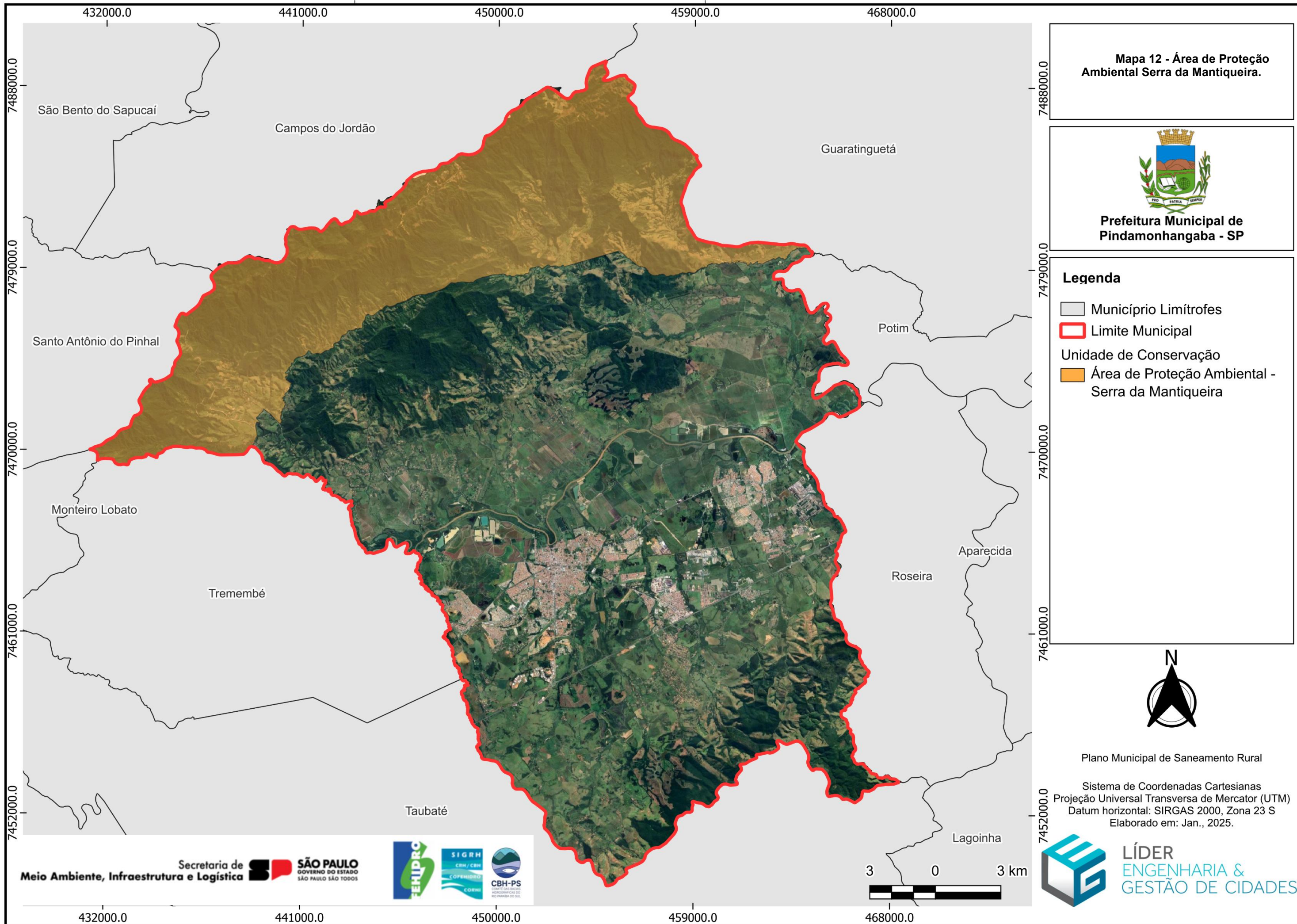
- **Área de Proteção Ambiental – Serra da Mantiqueira**

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira é uma unidade de conservação ambiental que abrange partes dos estados de Minas Gerais São Paulo.

Com uma extensão de 437.524,57 hectares, a APA inclui parte do município de Pindamonhangaba e é classificada como uma unidade de uso sustentável.

Criada pelo Decreto nº 91.304, em 3 de junho de 1985, a APA tem como principal objetivo a proteção da biodiversidade única da região. Situada no bioma Mata Atlântica, a área conserva espécies em risco de extinção, bosques remanescentes de araucária e plantas endêmicas. Além disso, desempenha um papel fundamental na preservação dos ecossistemas locais e da vida selvagem.

O Mapa 12 apresenta a localização da APA dentro do território de Pindamonhangaba.



Mapa 12 - Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira.



Prefeitura Municipal de Pindamonhangaba - SP

Legenda

Município Limítrofes

Limite Municipal

Unidade de Conservação

Área de Proteção Ambiental - Serra da Mantiqueira



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Jan., 2025.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Fonte: ANA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

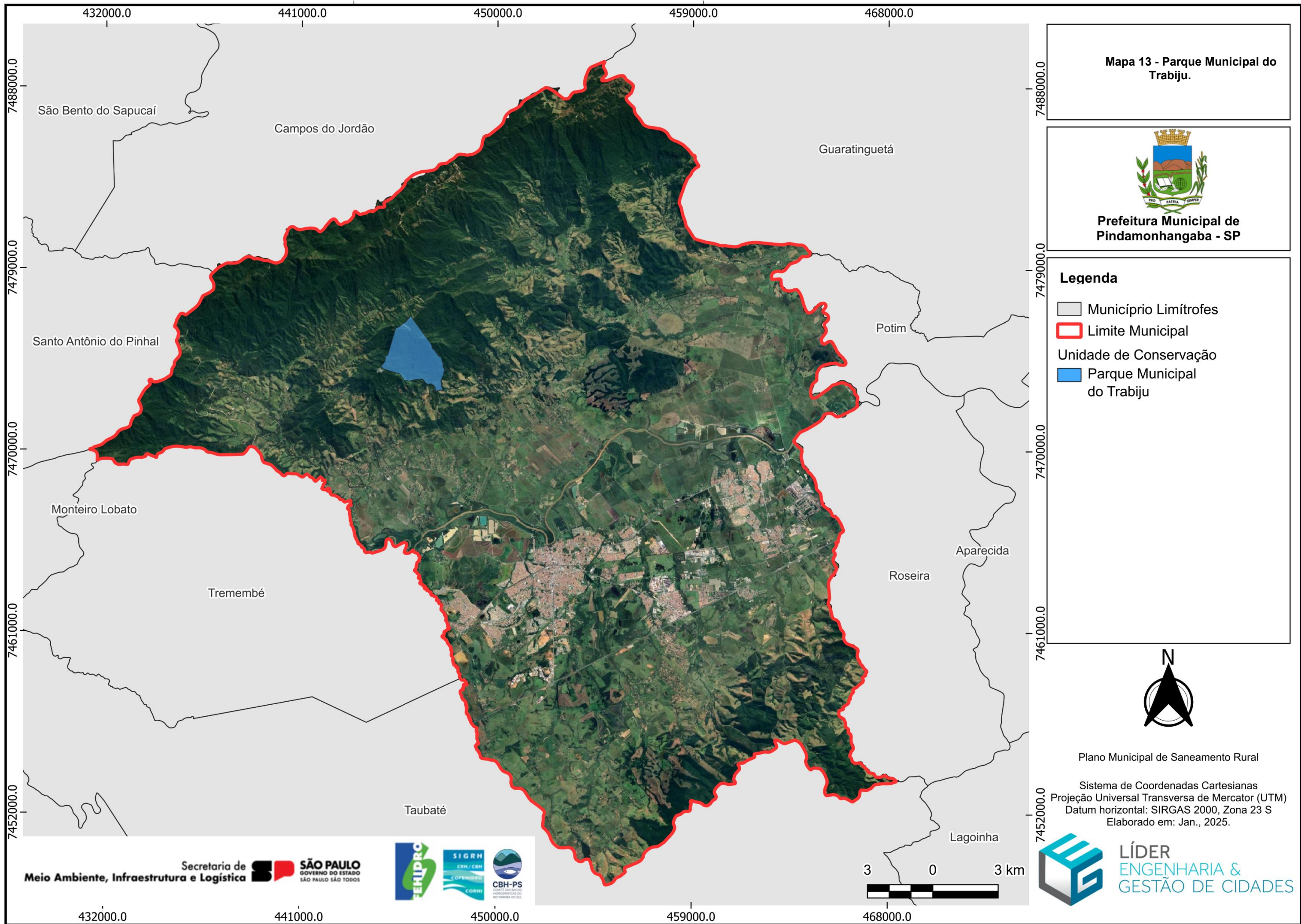
- **Parque Municipal do Trabiju**

O Parque Natural Municipal do Trabiju, situado em Pindamonhangaba, São Paulo, destaca-se como uma relevante unidade de conservação da Mata Atlântica, reconhecida por abrigar uma biodiversidade excepcional. Com uma área protegida que serve de habitat para espécies raras e ameaçadas de extinção, o parque desempenha um papel essencial na preservação ambiental.

Além disso, oferece trilhas bem estruturadas, proporcionando oportunidades de contato com a natureza, sendo um atrativo importante para o ecoturismo. Como parte integrante da Reserva da Biosfera, o Parque do Trabiju colabora com iniciativas globais voltadas à conservação e à sustentabilidade, promovendo a harmonia entre atividades turísticas e a preservação ambiental.

Com uma área total de 603,09 hectares, o parque está totalmente localizado no município de Pindamonhangaba e é classificado como uma reserva ecológica.

O Mapa 13 ilustra a localização da unidade de conservação no território de Pindamonhangaba.



Fonte: ANA. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

1.4.14 Drenagem das Águas Pluviais Associadas às Estradas Rurais

As estradas rurais, fundamentais para a conectividade e desenvolvimento de áreas agrícolas, enfrentam desafios significativos quando não há adequada gestão da drenagem de águas pluviais. A falta de sistemas eficientes pode resultar em impactos adversos, afetando tanto a durabilidade quanto a segurança dessas vias cruciais. A ausência de uma drenagem adequada pode desencadear uma série de problemas nas estradas rurais (Thomaz, Antoneli e Dias, 2011).

O acúmulo de água, especialmente em terrenos inclinados, pode resultar em erosão do solo ao redor da via, aumentando o risco de deslizamentos de terra e instabilidade no leito da estrada (Thomaz e Pereira, 2013). Esta erosão é exacerbada quando as águas pluviais não são devidamente controladas, levando à degradação da camada superficial do solo e favorecendo a formação de fissuras (Enriquez *et al.*, 2015).

Abaixo seguem figuras que expõem problemas com a drenagem das águas pluviais nas vias da zona rural do município de Pindamonhangaba.

Figura 31 - Estrada rural de Pindamonhangaba com acúmulo de água.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 32 - Estrada rural alagada.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 33 - Pedras utilizadas para o melhoramento da via carreadas pela água da chuva.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 34 - Drenagem insuficiente para escoar a água.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 35 - Estrutura da ponte danificada.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A erosão do solo, alimentada pelas chuvas, emerge como um dos principais impactos negativos nas estradas rurais. A degradação das margens da via compromete não apenas a integridade estrutural da estrada, mas também contribui para a

formação de buracos e desníveis no pavimento, tornando a via propensa a danos mais extensos (Thomaz e Pereira, 2013).

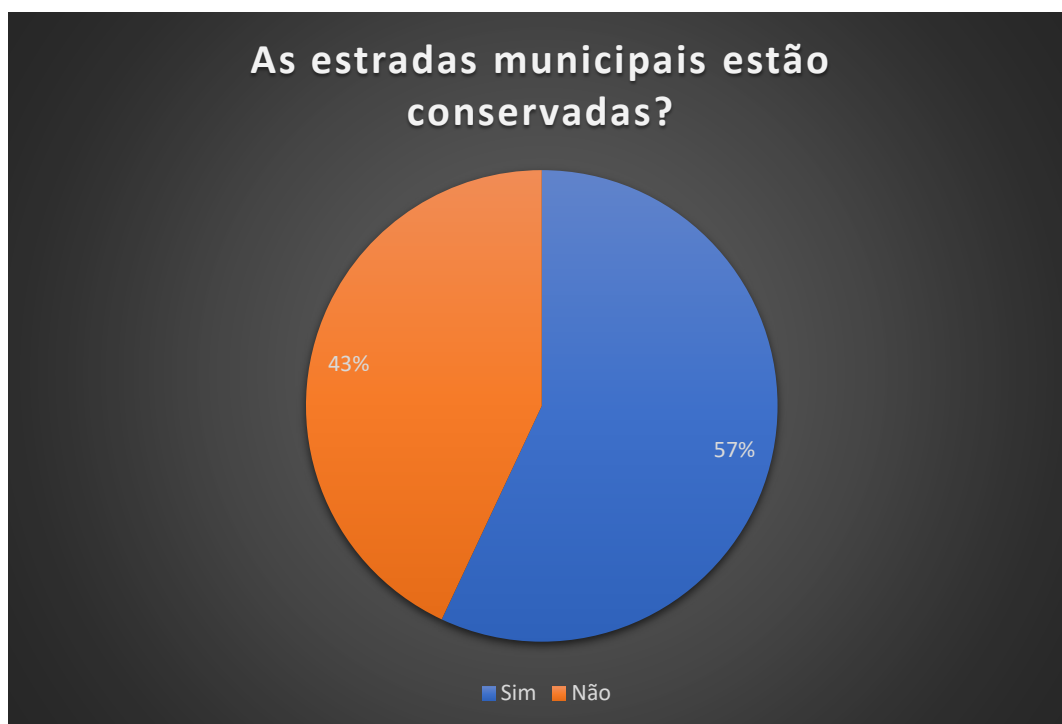
Os riscos para a segurança dos usuários das estradas rurais aumentam quando a drenagem é inadequada. Poças d'água persistentes e áreas alagadas reduzem a visibilidade e aumentam a probabilidade de aquaplanagem, resultando em condições perigosas de direção (Thomaz e Pereira, 2013). Além disso, estradas submersas devido as chuvas intensas podem interromper o acesso, colocando em risco o transporte de mercadorias e serviços.

A drenagem eficiente de águas pluviais é essencial para preservar a durabilidade, a segurança e a funcionalidade das estradas rurais. Investir em sistemas de drenagem bem planejados não apenas protege a infraestrutura, mas também contribui para a sustentabilidade das comunidades rurais, garantindo a continuidade do acesso e da mobilidade (Enriquez *et al.*, 2015).

A implantação das estradas rurais pode aumentar o risco de erosão do solo, desde que não sejam levados em conta fatores de declividade, pois a modificação do terreno natural para a construção da via pode interferir nos padrões de drenagem, favorecendo a erosão nas margens e contribuindo para o assoreamento de corpos hídricos próximos. No entanto, ao abrir ou readequar estradas rurais, é importante que sejam observados critérios de localização e traçado que priorizem áreas com menor inclinação ou desnível, sendo inclusive recomendado que o traçado das vias siga as curvas de nível e os divisores de água em regiões de relevo plano ou suavemente ondulado (Leite *et al.*, 2021).

No que tange a zona rural do município de Pindamonhangaba, de acordo com as informações obtidas a partir do Questionário, constatou-se que apenas 124 propriedades consideram as estradas municipais em bom estado de conservação, como é possível inferir no gráfico abaixo. Porém, também foram registradas 106 repostas que indicam um mau estado de conservação de algumas estradas municipais, representando cerca de 677 propriedades insatisfeitas com a conservação das mesmas.

Gráfico 46 - Estado de conservação das estradas municipais de acordo com os municípios.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Com base nas informações apresentadas, segue a tabela com as coordenadas aproximadas dos pontos onde as estradas cruzam os divisores de água, acompanhada do mapa que identifica essas vias mais suscetíveis aos efeitos das águas pluviais. Essas vias, que atravessam os divisores de água entre microbacias, apresentam maior vulnerabilidade a processos erosivos, pois sua localização faz com que a precipitação escoe para ambos os lados da via, aumentando as chances de erosão. Essa condição geomorfológica gera um escoamento superficial distribuído em duas direções, elevando o risco de formação de sulcos, ravinas e outras formas de degradação do solo.

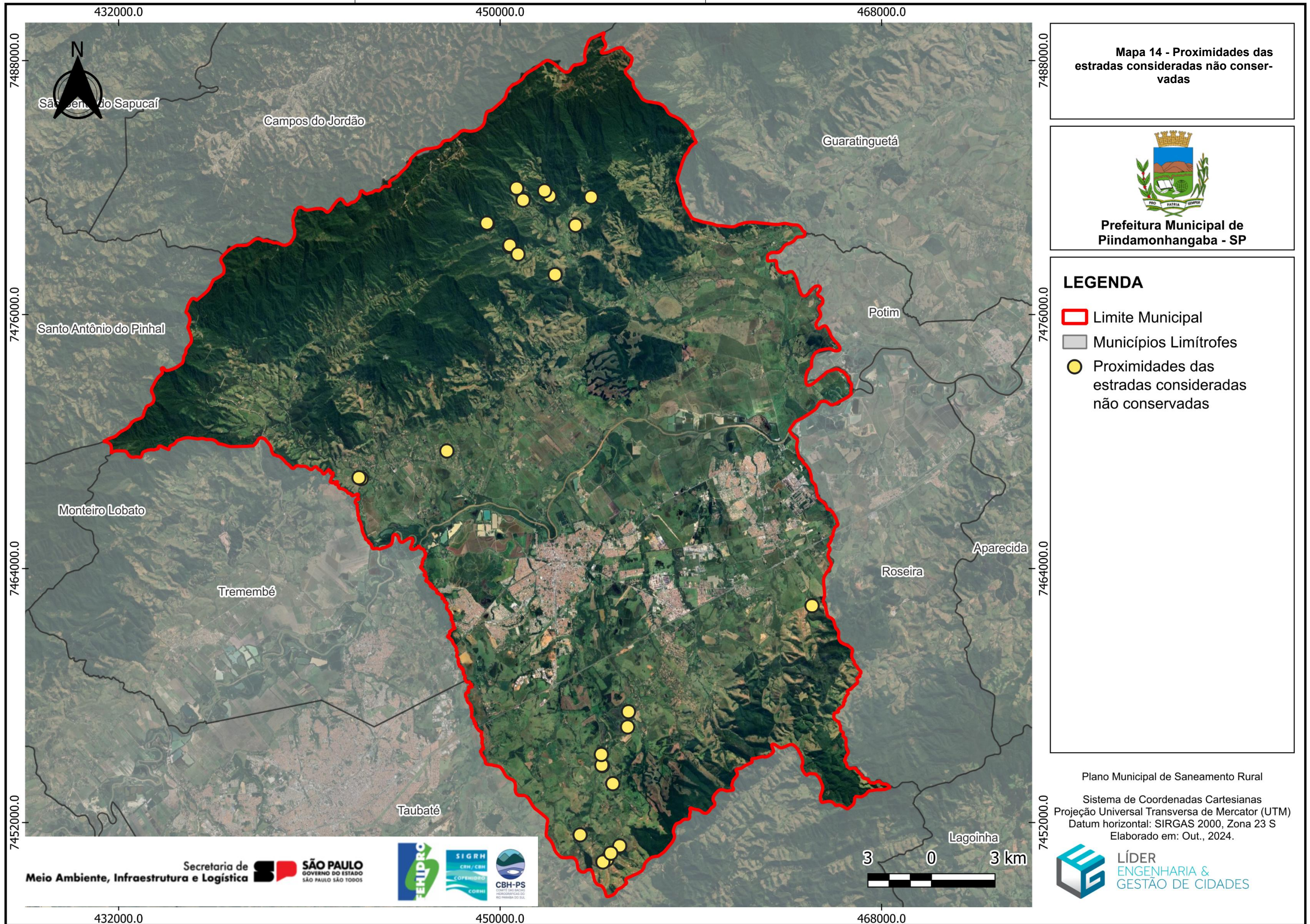
O cruzamento das estradas pelos divisores de água também pode interferir nos padrões naturais de drenagem, aumentando o impacto nas margens e facilitando o transporte de sedimentos para áreas adjacentes. Portanto, as estradas mapeadas que cruzam esses divisores requerem medidas especiais de controle de erosão, como a adequação do traçado, implementação de sistemas de drenagem eficientes e manutenção periódica para garantir um escoamento adequado.

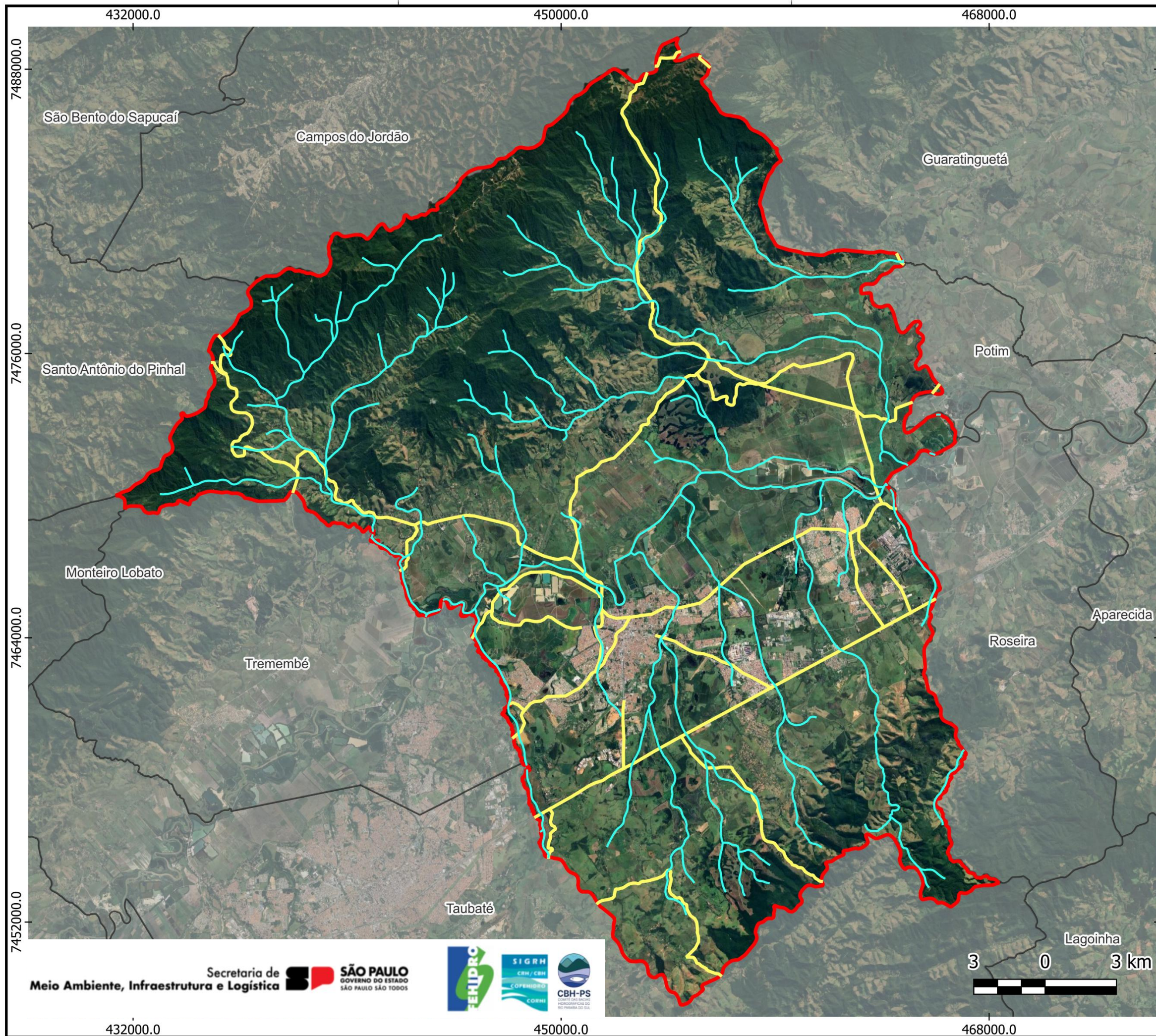
Essas ações visam mitigar o risco de assoreamento dos corpos hídricos e preservar a integridade das microbacias que influenciam a área rural do município de Pindamonhangaba.

Tabela 14 - Localização aproximada das estradas rurais mais suscetíveis.

Estrada Rural	Coordenadas de Referência	
	S	W
Estrada rural	23.0156049 S	45.44080500 W
Estrada rural	23.0153949 S	45.44107500 W
Estrada rural	23.0108233 S	45.44127500 W
Estrada rural	22.8059633 S	45.46189000 W
Estrada rural	22.7842166 S	45.49273160 W
Estrada rural	22.7838700 S	45.49315499 W
Estrada rural	22.7741252 S	45.47647376 W
Estrada rural	23.0567173 S	45.44072075 W
Estrada rural	23.0529916 S	45.43706260 W
Estrada rural	23.0451380 S	45.45115600 W
Estrada rural	23.0530030 S	45.43705200 W
Estrada rural	23.0498584 S	45.43295910 W
Estrada rural	22.8927229 S	45.55132840 W
Estrada rural	22.7729634 S	45.44522040 W
Estrada rural	22.9926101 S	45.42874200 W
Estrada rural	22.8810771 S	45.51192490 W
Estrada rural	22.7723818 S	45.46430230 W
Estrada rural	22.8923419 S	45.55240040 W
Estrada rural	22.7701463 S	45.46659040 W
Estrada rural	22.7701428 S	45.46659060 W
Estrada rural	22.7848485 S	45.45233480 W
Estrada rural	22.7849449 S	45.45238940 W
Estrada rural	23.0233033 S	45.43604330 W
Estrada rural	22.9476300 S	45.34405700 W
Estrada rural	22.9991183 S	45.42914880 W
Estrada rural	22.7938766 S	45.48281990 W
Estrada rural	22.7933800 S	45.48265330 W
Estrada rural	22.7972050 S	45.47892000 W
Estrada rural	22.7690066 S	45.47943000 W
Estrada rural	23.0153940 S	45.441072B0 W

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.





Mapa 15 - Principais Estradas rurais que cruzam divisores de águas.



Prefeitura Municipal de
Piindamonhangaba - SP

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limítrofes
- Córregos
- Principais estradas rurais que cruzam divisores de água



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Out., 2024.



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



Fonte dos mapas 14 e 15: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

1.4.15 Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

A gestão sustentável dos recursos hídricos é uma preocupação crescente em todo o mundo, impulsionada pela necessidade de conservação e pela busca por alternativas ecologicamente responsáveis. Nesse contexto, os métodos de aproveitamento de águas pluviais desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade hídrica (Oliveira e Sousa Pereira, 2023).

Os métodos de aproveitamento de águas pluviais referem-se à captação, armazenamento, tratamento (caso necessário, dependendo do tipo de uso futuro) e reutilização da água proveniente das chuvas. Essa prática visa reduzir a dependência de fontes convencionais de água, contribuindo para a preservação desses recursos e a mitigação dos impactos ambientais (Oliveira e Sousa Pereira, 2023).

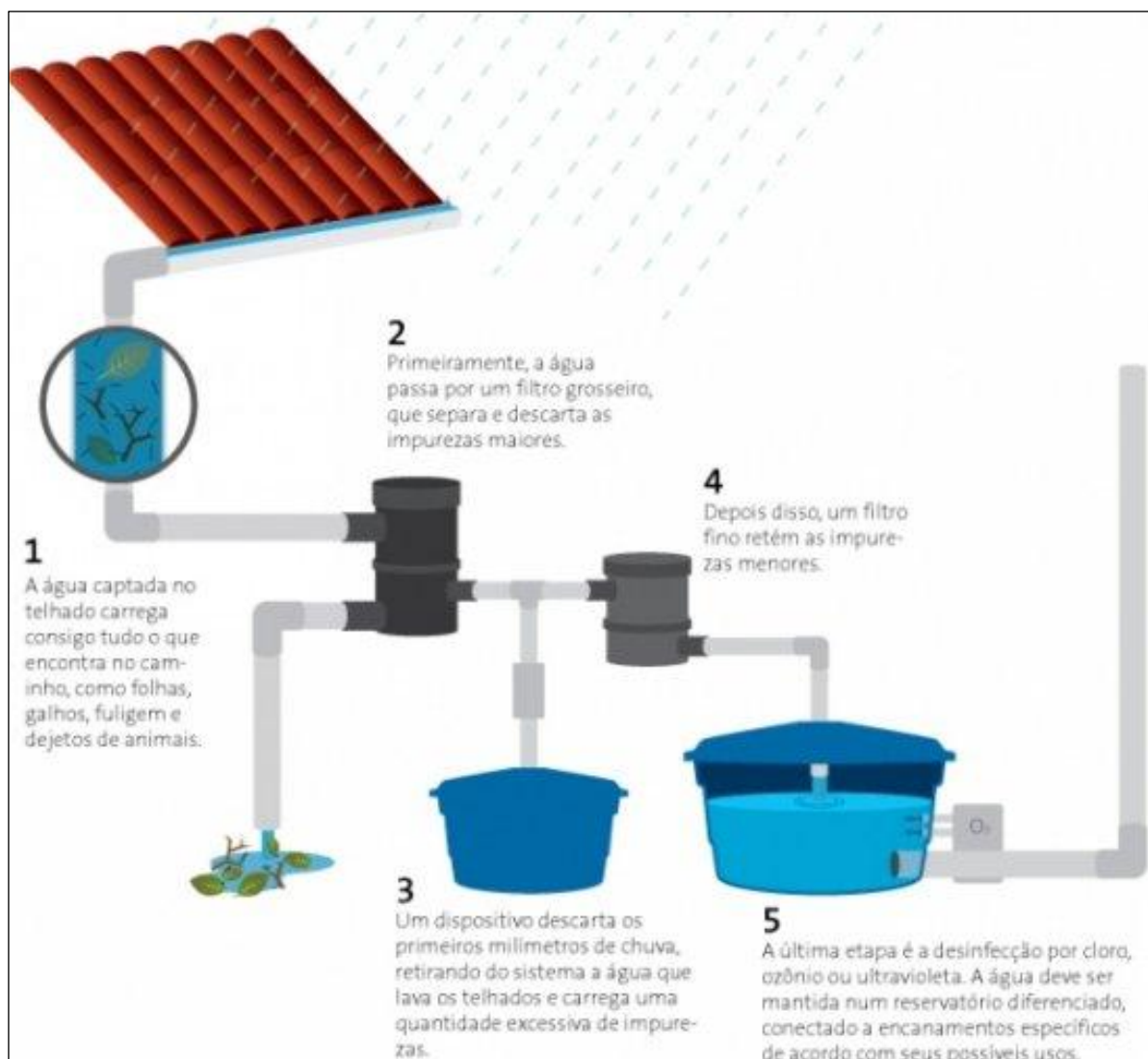
O Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais, conhecido como Programa Cisternas, foi estabelecido em 2003 e recebeu financiamento do antigo Ministério do Desenvolvimento Social (MDS). Este programa, regulamentado pela Lei Nº 12.873/2013, tem como principal objetivo facilitar o acesso à água para consumo humano e produção de alimentos no meio rural.

Além disso, o Programa Cisternas visa promover práticas sustentáveis por meio da implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo. Essas tecnologias incluem a instalação de cisternas para captação de água de chuva, beneficiando comunidades que muitas vezes enfrentam desafios no acesso a fontes convencionais de água.

A legislação que respalda o Programa Cisternas destaca a importância de ações que visem não apenas suprir as necessidades básicas de água, mas também promover a segurança hídrica e a agricultura sustentável. O Programa Cisternas representa, assim, uma iniciativa abrangente que contribui para a melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais, além de fortalecer a resiliência das comunidades diante de desafios ambientais e climáticos.

Abaixo seguem exemplos de métodos de aproveitamento das águas pluviais que apresentam potencial de utilização no meio rural.

Figura 36 - Modelo esquemático de telhado coletor de águas pluviais.



Fonte: Fonseca e Menezes Filho, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 37 - Cisterna de superfície para armazenamento de águas pluviais.



Fonte: Comissão de Meio Ambiente – CMA, 2019. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 38 - Sistema de irrigação de culturas agrícolas por gotejamento utilizando águas pluviais.



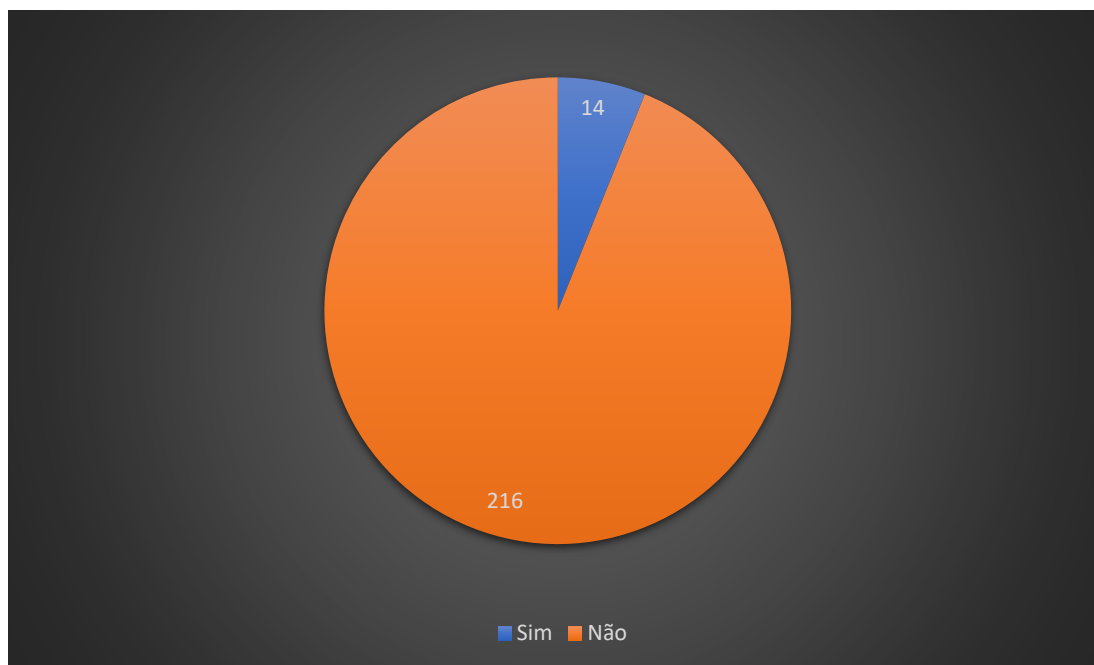
Fonte: Klaus Bernardino, 2021. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Nos contextos rurais, a gestão eficiente dos recursos hídricos é igualmente crucial para promover a sustentabilidade ambiental e garantir o fornecimento adequado de água para as atividades agrícolas e as comunidades locais. Os métodos de aproveitamento de águas pluviais desempenham um papel vital nesse cenário, oferecendo soluções inovadoras e sustentáveis.

No que tange a Pindamonhangaba, de acordo com as informações levantadas a partir da aplicação do Questionário, apenas 14 propriedades entrevistadas possuem algum tipo de sistema de aproveitamento de águas pluviais para utilização nas atividades rurais, como é possível observar no gráfico abaixo.

Quando extrapolado para toda a área rural do município, tem-se o número de 89 propriedades possuem tais dispositivos, em contrapartida, 1.381 propriedades não possuem nenhuma forma de aproveitamento dessas águas voltada para as atividades rurais, demonstrando assim, um público-alvo em potencial para aplicação destas ações.

Gráfico 47 - Propriedades que apresentam alguma forma de sistema de aproveitamento de água pluvial da zona rural de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2024.

1.4.16 Erosão

A erosão é um fenômeno natural, em que a superfície terrestre sofre desgaste e se afeiçoa por ação de processos físicos, químicos e biológicos (Suguio, 2003). Pode ser definido como o processo de desagregação, transporte, e deposição de partículas de solo pela ação do vento, da água e de outros agentes (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Morgan, 2005; Wishmeier e Smith, 1978).

Esses agentes agem na superfície terrestre quebrando as partículas de solo dispersando-as para regiões diferentes dos locais de origem, sendo que esse processo pode ser acelerado pela ação antrópica por meio de práticas de uso e manejo inapropriados.

Existem duas classes distintas de erosão: a erosão acelerada, advinda das atividades antrópicas e a erosão geológica, ou natural. A primeira é caracterizada pelo alto poder destrutivo em um curto intervalo de tempo, enquanto a segunda é um processo lento e contínuo da evolução da superfície terrestre. A erosão do solo, quando ocorre de forma acelerada, torna-se um problema ambiental no que se refere a ocupação para práticas agropecuárias e florestais, o que afeta sua capacidade produtiva.

O processo erosivo reduz a porosidade do solo, interferindo em sua capacidade de retenção e infiltração da água, aumentando o escoamento superficial, transporte de sedimentos e assoreamento de corpos de água (Durães e Mello, 2016).

Em relação a zona rural de Pindamonhangaba, de acordo com informações do Questionário, 8 propriedades identificaram pontos de erosões próximos, como exposto pelo gráfico, em muitos desses casos, o entrevistado ressaltou que os processos erosivos estavam atrelados às estradas e acessos rurais sem pavimentação, que em casos de chuvas mais fortes, agravam a situação.

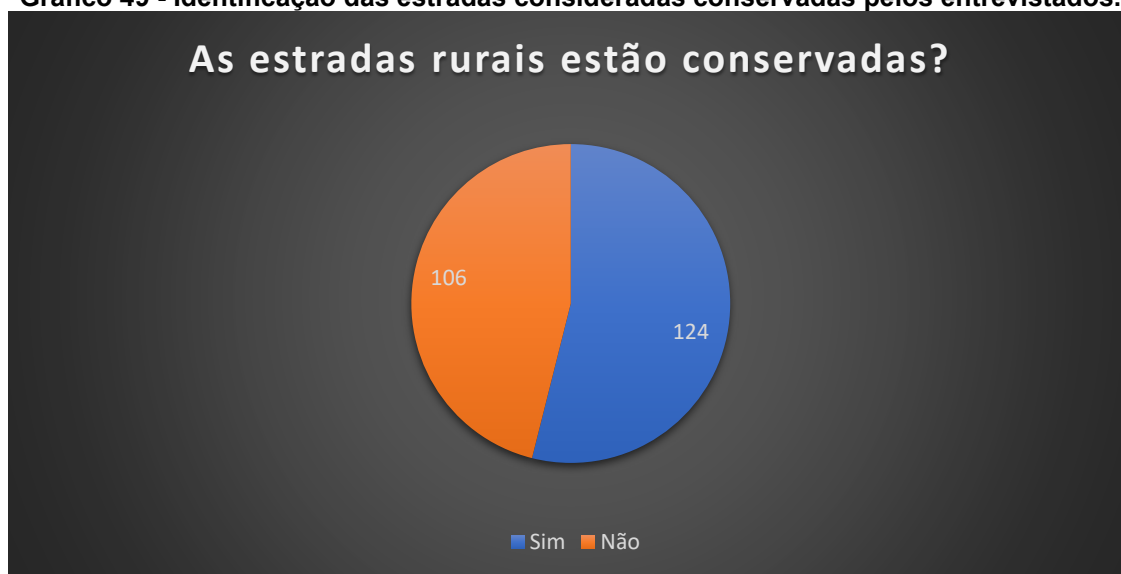
Quando extrapolado para todo o limite rural de Pindamonhangaba, chega-se no número de 51 propriedades que afirmaram estarem próximas destes pontos, vale ressaltar que esta estimativa não deduz o número de processos erosivos no município, visto que uma mesma erosão pode ter sido identificada por mais de uma residência durante a aplicação dos questionários.

Gráfico 48 - Identificação de pontos de erosão próximos às propriedades rurais de Pindamonhangaba/SP.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 49 - Identificação das estradas consideradas conservadas pelos entrevistados.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 39 - Processos erosivos nas estradas rurais do município.



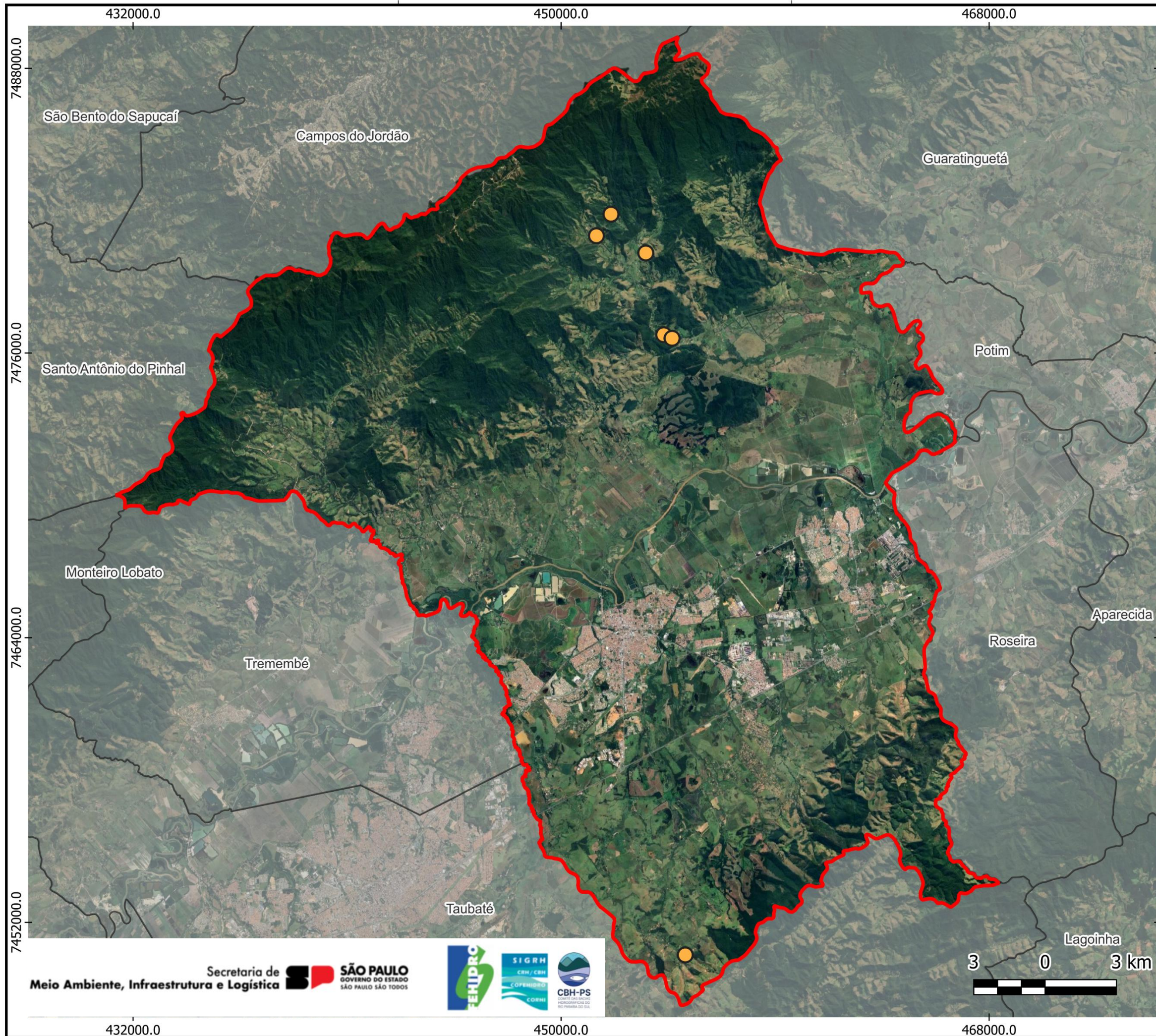
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 40 - Processos erosivos nas estradas rurais do município.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

No Mapa 16 é apresentada a localização dessas propriedades que afirmaram existir pontos de erosão em estradas municipais ou nas proximidades das residências rurais.



Mapa 16 - Localização das propriedades que confirmaram pontos de erosão nas proximidades.



Prefeitura Municipal de
Piindamonhangaba - SP

LEGENDA

- Limite Municipal
- Municípios Limítrofes
- Ponto de erosão



Plano Municipal de Saneamento Rural

Sistema de Coordenadas Cartesianas
Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23 S
Elaborado em: Out., 2024.



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS



Fonte: Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

Neste contexto, o processo erosivo causado por intemperismo hídrico é responsável pela formação de ravinas e voçorocas. A ravina é caracterizada pela formação de uma vala profunda e estreita que é moldada pela erosão da água. As ravinas são normalmente encontradas em áreas montanhosas ou com muita chuva. A água da chuva corre pelas ravinas, levando consigo terra e detritos. Isso pode causar a formação de ravinas maiores e mais profundas (Franco, 2015).

Figura 41 - Exemplo de ravinas.



Fonte: Brasil Escola, 2024. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Enquanto as voçorocas são normalmente encontradas em áreas com solos frágeis e muita chuva. A água da chuva corre pelas voçorocas, levando consigo grandes quantidades de terra e detritos. Isso pode causar a formação de voçorocas muito grandes e profundas, onde em níveis mais avançados do processo erosivo pode comprometer construções e estradas (Silva Marques *et al.*, 2020).

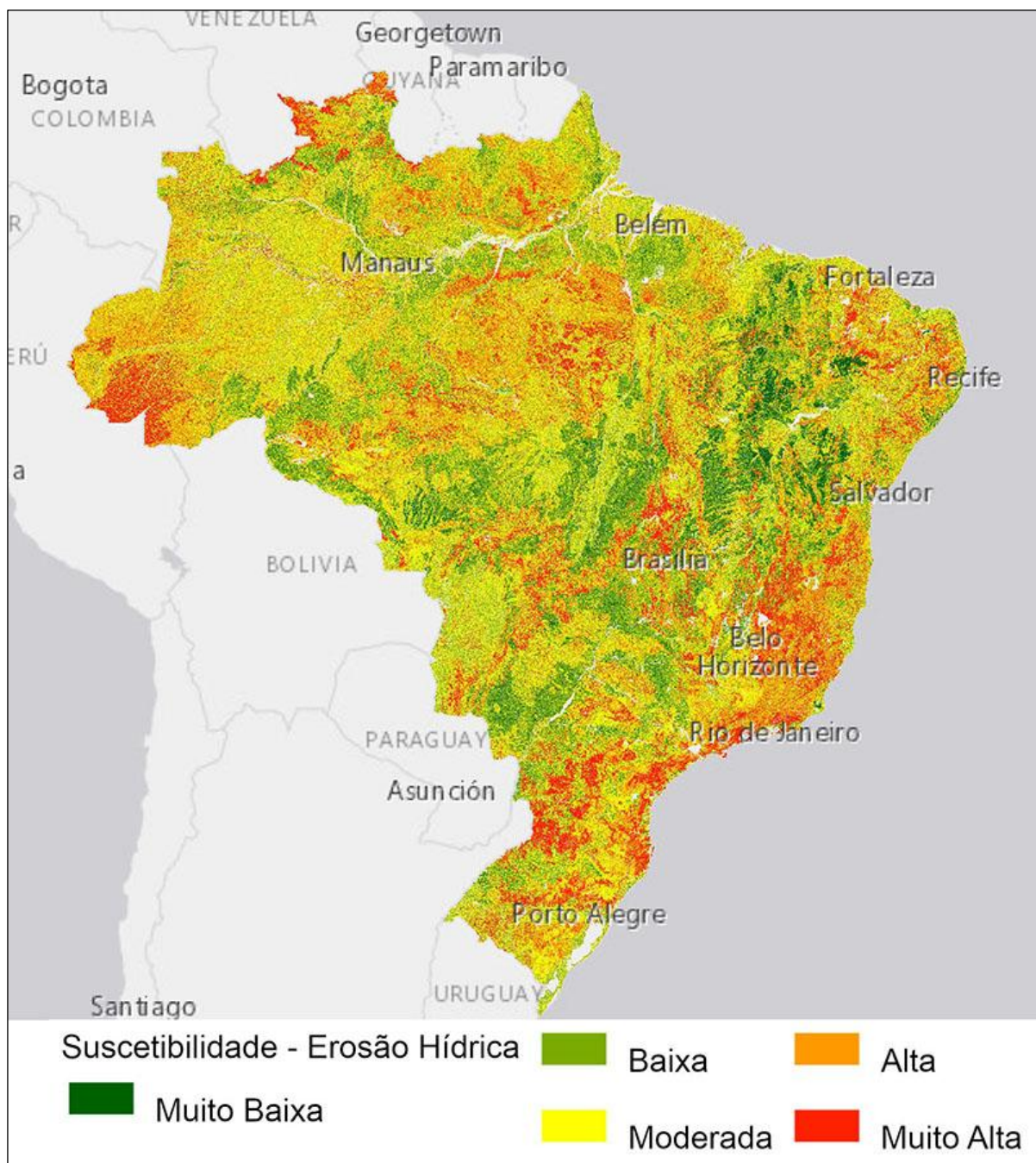
Figura 42 - Exemplo de voçoroca.



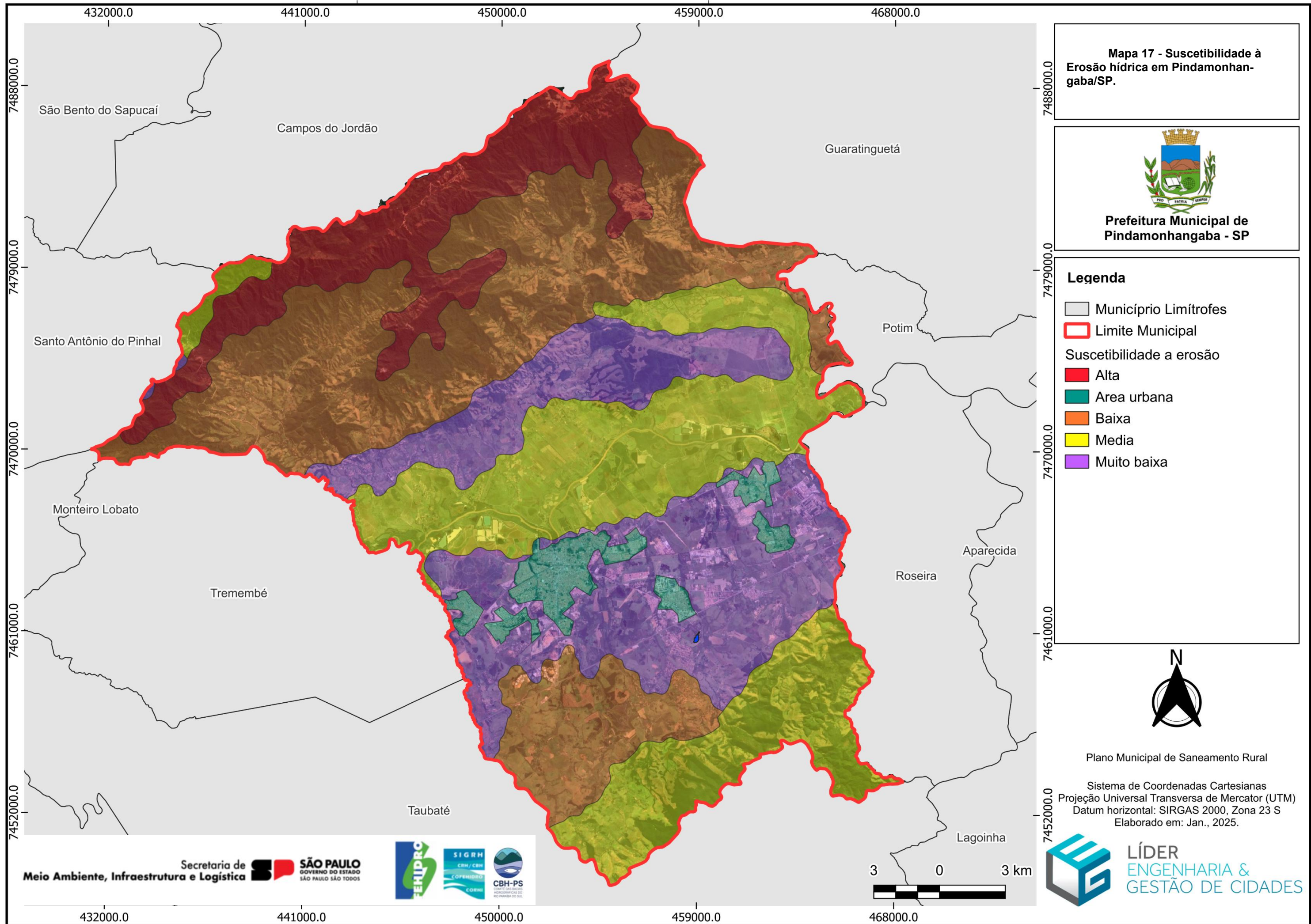
Fonte: Mannarino, 2022. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Diante do exposto, segue o mapa de suscetibilidade a erosão hídrica no Brasil e os mapas que indicam a suscetibilidade a formação de ravinas e voçorocas no perímetro territorial do município de Pindamonhangaba, produzido a partir do Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Estado de São Paulo, com o *shapefile* disponibilizado pelo IPA – Instituto de Pesquisas Ambientais.

Figura 43 - Suscetibilidade a erosão hídrica no Brasil.



Fonte: Embrapa, 2020. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



Fonte: Instituto de Pesquisas Ambientais. Adaptado por Líder Engenharia, 2025.

A erosão laminar é um tipo de erosão do solo que ocorre quando uma camada de solo é removida de uma superfície de maneira gradual, contínua e uniforme pela ação da água em movimento, sendo de difícil detecção. Esse processo é caracterizado pela formação de pequenos sulcos ou linhas paralelas na superfície do solo, associada com o carreamento da camada fértil do solo (Lorandi *et al.*, 2001).

As variáveis que influenciam diretamente na ocorrência da erosão laminar são: declividade, uso e ocupação do solo, precipitação, erodibilidade do solo e adoção de práticas conservacionistas (Brito *et al.*, 1998). As consequências da erosão laminar são diversas, resultando em perda da camada fértil do solo, assoreamento de recursos hídricos, deslizamentos, impactos negativos nas estradas e perda de produtividade agrícola e da silvicultura (Nascimento Silva e Luchiari, 2016).

O estudo das características do solo é fundamental para compreender sua tendência à erosão. Neste contexto, considerando as informações pedológicas identificadas no município de Pindamonhangaba, analisaremos as características dos solos Argissolo, Latossolo e Gleissolo e Cambissolo em relação a essa tendência.

- **Cambissolo Húmico Distrófico:** Solos jovens, pouco evoluídos, encontrados em áreas de relevo suave a ondulado. Caracterizam-se pela alta capacidade de retenção de água e pela presença de matéria orgânica, o que lhes confere uma cor mais escura. A baixa fertilidade natural é uma característica marcante, associada ao caráter distrófico.
- **Cambissolo Háplico Tb Distrófico:** Similar aos Cambissolos Húmicos, porém com menor teor de matéria orgânica. Estes solos são comuns em áreas de relevo inclinado, onde a rápida drenagem favorece a lixiviação dos nutrientes.
- **Gleissolo Melânico Tb Distrófico:** Solos saturados com água, encontrados em áreas de baixada e próximos a corpos d'água. Possuem alta fertilidade natural, mas são limitados pelo excesso de umidade, que pode prejudicar o desenvolvimento de plantas em culturas agrícolas.
- **Latossolo Amarelo Distrófico:** Solos profundos e bem drenados, encontrados em áreas de relevo suave. Apresentam baixa fertilidade natural devido à

intensa lixiviação de bases, com predomínio de minerais de ferro na forma de goethita, responsável pela coloração amarela.

- **Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico:** Solos similares aos Latossolos Amarelos, mas com maior proporção de hematita, que confere uma coloração avermelhada em certas áreas. São também solos ácidos e de baixa fertilidade, mas muito utilizados na agricultura devido à sua estrutura favorável.
- **Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico:** Solos caracterizados pela alta acidez e presença significativa de alumínio trocável. Encontrados em áreas de relevo ondulado, apresentam problemas de toxicidade para plantas, exigindo correção para uso agrícola.
- **Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico:** Solos com baixa saturação de bases, moderadamente férteis, localizados em áreas de relevo variado. A coloração vermelho-amarelada é influenciada pela presença de óxidos de ferro, e sua fertilidade depende de intervenções agrônômicas.

Em suma, a compreensão das características do solo é essencial para antecipar e mitigar os riscos de erosão. Os diferentes tipos de solo do Município de Pindamonhangaba apresentam diferentes desafios, e as práticas de manejo devem ser adaptadas a cada situação a fim de mitigar os possíveis impactos ambientais.

1.4.17 Análise Crítica do Sistema de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais

A seguir, serão descritos os principais problemas relacionados ao sistema de drenagem das águas pluviais da zona rural de Pindamonhangaba, os quais embasarão as soluções propostas no Prognóstico. Para compreender melhor a situação local e embasar as ações propostas, foi realizada uma pesquisa de opinião com duas pessoas de referência na comunidade, cujas percepções refletem os desafios enfrentados pela população rural. As questões levantadas durante essas consultas são fundamentais para a formulação de estratégias eficazes de gestão da drenagem pluvial na área rural:

-
- Falta de manutenção por parte do Poder Público das vias rurais do município, incluindo a falta de interesse em pavimentar as principais vias rurais do município;
 - Ocorrência de alagamentos próximos às propriedades entrevistadas;
 - Ocorrência de pontes com manutenção inadequada;
 - Durante a aplicação dos questionários, foram registradas diversas queixas dos moradores sobre a ocorrência de processos erosivos nas estradas e acessos rurais, especialmente em períodos de chuvas intensas.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência-ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011.
- BELLINGIERI, J. C. Água de beber: a filtração doméstica e a difusão do _ltro de água em São Paulo, **Anais do Museu Paulista**. São Paulo, v. 12, p. 161-191, 2004.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2ª ed, 355p. 1990.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas**.
- BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a **Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília DF, 1981.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília – DF, 1988.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.445/2007 – **Política Nacional de Saneamento Básico**. Brasília – DF, 2007.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.985/2000 – **Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Brasília – DF, 2007
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305/2010 – **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília - DF, 2010.
- BRASIL. Lei Federal nº 14.026/2020 – **Novo Marco Legal do Saneamento**. Brasília - DF, 2020.
- BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 05, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, Brasília, série E, 2017.
- BRITO, J. L. S. et al. Uso do Geoprocessamento na estimativa da perda de solos por erosão laminar em Irai de Minas - MG. **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 9, p. 501-512, 1998.
- CALHEIROS, R. O. et al. **Recuperação e conservação de nascentes. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, Piracicaba - São Paulo**, 53p. 2004.

CARVALHO, W. A.; FREIRE, O.; RENNÓ, C. D. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Santo Anastácio**. Boletim Científico, v. 2, n. 2, p. 490-498, 2005.

CÂNDIDO, B. M. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.

CARVALHO, A. C. B. de; RIBEIRO, C. B. de M.; ROCHA, W. S. D. da; MARTINS, C. E.; SOUZA SOBRINHO, F. de. **Erosão potencial laminar hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob três formas de cultivo**. 2014. EMBRAPA.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: instrumento para o desenvolvimento sustentável: estudo das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2007.

CARVALHO, A. M. **Qualidade da água distribuída pelos caminhões-pipa para consumo humano**. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução N°. 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução N°. 430, de 13 de maio de 2011**. Complementa e altera a Resolução nº. 357/2005. Brasília: 2011.

CORDEIRO, B. S. **A gestão de lodos de fossas sépticas: uma abordagem por meio da análise multiobjetivo e multicritério**. 2011.

CORDEIRO, W. S. Alternativas de tratamento de água para comunidades rurais. **Campos dos Goytacazes, RJ. 97p**, 2008.

COSTA, C. C. da; GUILHOTO, J. J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 51-60, 2014.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

ENRIQUEZ, A. G. et al. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 160-165, 2015.

FARIAS, C. A. **Resíduos orgânicos alternativos nos processos de compostagem e vermicompostagem**. 2001.

FERNANDES, A. J. Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. **Revista do Instituto Geológico** (Descontinuada), v. 29, n. 1-2, p. 49-72, 2008.

FERNANDES, A. J. et al. Potencial dos aquíferos fraturados do estado de São Paulo: condicionantes geológicos. **Águas Subterrâneas**, v. 21, n. 1, 2007.

FERREIRA, S. S.; FERREIRA, S. S. Contexto da Captação de Águas Superficiais Utilizadas para Abastecimento nas Pequenas Propriedades Rurais. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** - Vol. 4: Congestas, 2016.

FERREIRA, M. J.; FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A. Avaliação da regeneração natural do entorno de uma nascente como estratégia para sua recuperação. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S1, p. 573-575, 2007.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água**: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017, 463p.

FONSECA, V. L. A.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Estudo comparativo entre métodos de dimensionamento para reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais**. Holos Environment, v. 19, n. 2, p. 287-303, 2019.

FRANCO, M. R. S. **Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica**. 2015. Tese de Doutorado.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de fluoretação da água para consumo humano**. Brasília: Funasa, 2012.

FUNDAÇÃO SEADE. **Informações Demográficas dos Municípios de São Paulo**. Disponível em: < <https://populacao.seade.gov.br/> >

FUNDAÇÃO SEADE. **Informações sobre Agropecuária dos Municípios de São Paulo**. Disponível em: < <https://painel.seade.gov.br/agropecuaria/> >

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E FUNDAÇÃO FLORESTAL. (2018). **Plano de Manejo Parque Estadual de Itapetinga**. PE Itapetinga. São Paulo, Brasil. 181 páginas.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E FUNDAÇÃO FLORESTAL. (2018). **Plano de Manejo Monumento Natural Estadual Pedra Grande**. MONA Pedra Grande. São Paulo, Brasil. 186 páginas.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E FUNDAÇÃO FLORESTAL. (2020). **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Sistema Cantareira**. Área de Proteção Ambiental Sistema Cantareira. São Paulo, Brasil. 90 páginas.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO E FUNDAÇÃO FLORESTAL. (2020). **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Represa do Bairro da Usina**. Área de Proteção Ambiental Represa do Bairro da Usina. São Paulo, Brasil. 57 páginas.

GUIMARÃES, J.R.; NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: Processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola** – Química Ambiental. p. 19-30, 2001.

GAZAL, V. L. R. A. **Estudo do caso: análise das condições de saneamento básico da comunidade isolada de marsilac**. 2022.

GUSMÃO, P. T. R.; OLIVEIRA, J. W. S.; SANTOS, D. L. S. Filtros domésticos: avaliação de eficácia e eficiência na redução de agentes patogênicos. p. 89-120. **3º Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública**. Brasília: Funasa, 2010. 256 p.

HAIR, J. F. *et al.* Análise multivariada de dados. **Bookman editora**, 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pindamonhangaba/panorama>>.

IBGE. **Banco de Informações Ambientais** (Geologia, Geomorfologia e Pedologia). Disponível em: < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>>

INDE - **Catálogo de Metadados Geográficos**. Disponível em: <https://metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search>>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICM-BIO. **Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN Ecoworld**. Disponível em: <https://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/detalhe/394/>. Acesso em: 05/2024.

LEITE, Antônio Felipe Guimarães et al. **Estradas Rurais: orientações para construção, adequação e manutenção**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília, 2021.

LORANDI, R. et al. Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do Córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 53, p. 111-117, 2001.

MARINHO, J. P. M. **Conceitos, métodos e propostas alternativas na gestão de resíduos sólidos**. Revista Mato-Grossense de Geografia, v. 14, n. 01, p. 75-96, 2009.

MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O. Captação de Água da Chuva em Propriedades Rurais. **Nucleus** (16786602), v. 12, n. 1, 2015.

MELO, C. X.; DUARTE, S. T. **Análise da compostagem como técnica sustentável no gerenciamento dos resíduos sólidos**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, n. 10, p. 691-710, 2018.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria da Consolidação nº 5 de setembro de 2017.** Brasília: 2017.

MORGAN, R.P.C. *Soil Erosion and Conservation*. **Blackwell Publishing**. Inglaterra, 3. Ed. 304p. 2005.

NETO, R. P. **Pequenos Sistemas de Abastecimento de Água no Meio Rural: Estudo de Caso de Três Comunidades Rurais**. 2011.

NASCIMENTO SILVA, L. C.; LUCHIARI, A. Estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Bagaçu-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 15-28, 2016.

OLIVEIRA, C. R. C. **Resíduo sólido domiciliar: do descarte à efetividade dos pontos de entrega voluntária**. 2019.

OLIVEIRA, E. L. et al. **Compostagem de resíduos da produção e abate de pequenos ruminantes**. 2015.

OLIVEIRA, F. S. **Ganhos ambientais e energéticos com a utilização da biomassa residual de gado leiteiro em Lagoa da Prata-MG**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.

OLIVEIRA, M. H. C. **Aproveitamento da água de chuva**. 2014.

OLIVEIRA, J. R. de et al. **Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 140-147, 2010.

OLIVEIRA, P. G. S.; SOUSA PEREIRA, M. **Estudo sobre a economia de água por meio de reaproveitamento da água da chuva**. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 2, p. e18412240169-e18412240169, 2023.

PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL. **Análise situacional dos programas e ações federais**. Volume III - Ministério das Cidades Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011.

PEREIRA, A. L.; MAIA, K. M. P. **A contribuição da gestão de resíduos sólidos e educação ambiental na durabilidade de aterros sanitários**. *Sinapse Múltipla*, v. 1, n. 2, 2012.

PEIXOTO, K.; CAMPOS, V. B. G.; D'AGOSTO, M. de A. A coleta seletiva e a redução dos resíduos sólidos. Rio de Janeiro: **Instituto Militar de Engenharia**, 2005.

RODRIGUES, A. S. L., et al. (2004). Global Gap Analysis: **Priority regions for expanding the global protected-area network**. *BioScience*, 54(12), 1092-1100.

SCHALCH, V. et al. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. **São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos–Universidade de São Paulo**, 2002.

SANTOS VALIAS, A. P. G. et al. Qualidade Microbiológica de Águas de Poços Raros e de Nascentes de Propriedades Rurais do Município de São João da Boa Vista - São Paulo. **Águas Subterrâneas**, 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO SMA Nº 44, DE 05 DE JUNHO DE 2013**. São Paulo, 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO SMA Nº 54, DE 29 DE JUNHO DE 2012**. São Paulo, 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO SMA Nº 09, DE 30 DE JANEIRO DE 2018**. São Paulo, 2018.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA, Guia de Áreas Protegidas, 2024. **Parque Estadual Itapetinga**. Disponível em: <https://guiadeareasprotegidas.sp.gov.br/ap/parque-estadual-itapetinga/>. Acesso em 04/2024.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA, Guia de Áreas Protegidas, 2024. **MONA Pedra Grande**. Disponível em: <https://guiadeareasprotegidas.sp.gov.br/ap/monumento-natural-estadual-da-pedra-grande/#:~:text=O%20Monumento%20Natural%20Estadual%20da,Perd%C3%B5es%2C%20Nazar%C3%A9%20Paulista%20e%20Mairipor%C3%A3>. Acesso em 04/2024.

SIGAM, 2024. **Área de proteção ambiental Represa do Bairro da Usina**. Disponível em: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=16435>. Acesso em 04/2024.

SIGAM, 2024. **Área de proteção ambiental Sistema Cantareira**. Disponível em: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=16434>. Acesso em 04/2024.

SILVA, A. M. da et al. **Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, p. 1223-1230, 2005.

SILVA MARQUES, M. L. et al. Erosão em voçoroca e impacto nas propriedades químicas do solo e da água. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e773998154-e773998154, 2020.

SILVA, A. G. **Proposição de técnicas e modelos de gestão para o esgotamento sanitário em áreas rurais brasileiras**. 2017.

SILVA, O. H. et al. Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, p. 39-48, 2015.

SILVEIRA, K. A. et al. Contaminação no lençol freático por fossas rudimentares. **Ca-
derno Progressus**, v. 3, n. 5, p. 40-47, 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Série
Histórica – Pindamonhangaba/SP. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambien-
tal**. Brasília: 2023.

SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. **1st Edition, Edgard Blucher**, Sao Paulo, 400 p.
2003.

TAKENAKA, E. M. M.; ARANA, A. R. A.; ALBANO, M. P. **Construção civil e resí-
duos sólidos: coleta e disposição final no município de Presidente Prudente-
SP**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 12, 2012.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DIAS, W. A. Estimativa de proveniência de sedi-
mento em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais não pavi-
mentadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 2, p. 25-37, 2011.

THOMAZ, E. L.; PEREIRA, A. A. Estrada rural não pavimentada como fonte de esco-
amento superficial e sedimento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1,
2013.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEI-
DER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.;
GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em co-
munidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP.: Bi-
blioteca/Unicamp, 2018.

TORRES, V. S. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do sane-
amento rural. **6º EXPOTEC**, 2019.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 3. ed.
Rio de Janeiro: ABES, 2011.

VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de
conceitos e proposta de nomenclatura. **Águas Subterrâneas**, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgo-
tos**. Vol. 1, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Uni-
versidade Federal de Minas Gerais, 2014, 240p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to con-
servation planning*. **Department of Agriculture, Science and Education Admin-
istration**. Washington D.C.: 1978.

ZARONI, Maria José. **Latossolos: uso e manejo**. EMBRAPA, 2021. Disponível
em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/tematicas/solos-tropi-
cais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/tematicas/solos-tropi-
cais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos). Acesso em: 2024.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.

ABEP – Associação Brasileira de Estudos Populacionais. **Internações e óbitos por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado no Brasil (2016-2020)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 22., 2022, Águas de Lindóia. Anais [...]. Águas de Lindóia: ABEP, 2022. Disponível em: https://www.encontro2022.abep.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=11315. Acesso em: 3 set. 2025.

BOLETIM DO SANEAMENTO. **Internações por doenças de veiculação hídrica – ano base 2019**. 2020. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/interna-coes-por-doencas-de-veiculacao-hidrica>. Acesso em: 3 set. 2025.