

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO RURAL

DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO RURAL



Município de Engenheiro Coelho – SP



LÍDER
ENGENHARIA &
GESTÃO DE CIDADES

www.liderengenharia.eng.br
contato@liderengenharia.eng.br



PREFEITURA MUNICIPAL DE ENGENHEIRO COELHO – SP

ELABORAÇÃO DO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO RURAL

DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO RURAL

EMPRESA LÍDER ENGENHARIA E GESTÃO DE CIDADES LTDA

PEDRO FRANCO
PREFEITO MUNICIPAL



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 14.020-250 – Ribeirão Preto/SP

www.liderengenharia.eng.br



EQUIPE TÉCNICA

Robson Ricardo Resende
Engenheiro Sanitarista e Ambiental
CREA/SP 5069666179

Juliano Mauricio da Silva
Engenheiro Civil
CREA/PR 117165

Marcelo Gonçalves
Geógrafo
CREA/PR 95232

Solange Passos Genaro
Serviço Social
CRESS/PR 6676

Paula Evaristo R. Ferraz de Barros
Advogada
OAB/MG 107935



GRUPO TÉCNICO DE ACOMPANHAMENTO

Jackson A. Germanovickz
Diretor de Meio Ambiente

Ricardo Chinaglia
Engenheiro Civil
CREA: 506.966.626-8

Francisca Pinheiro da Silveira Costa
Coordenadora Ambiental
CREA: 140.887.512-8

Vinicius Nunes Ferreira de Camargo
Engenheiro Ambiental e Sanitário
CREA: 261.255.530-7

Daniela Reimann
Engenheira de Alimentos
CREA: 060.117.256-1

Yuri School Hereman
Técnico Agrícola

Luiz Oda Homma
Engenheiro Agrônomo
CREA: 060.077.374-3



COMITÊ EXECUTIVO

Jackson A. Germanovickz
Diretor de Meio Ambiente

Ricardo Chinaglia
Engenheiro Civil
CREA: 506.966.626-8

Francisca Pinheiro da Silveira Costa
Coordenadora Ambiental
CREA: 140.887.512-8

Vinicius Nunes Ferreira de Camargo
Engenheiro Ambiental e Sanitário
CREA: 261.255.530-7



SUMÁRIO

1.	DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL	16
1.1.	Sistema de Abastecimento de Água.....	28
1.1.1.	Identificação de Mananciais para o Abastecimento Futuro	29
	Mananciais Superficiais.....	29
	Mananciais Subterrâneos.....	30
1.1.2.	Regulação de Uso dos Recursos Hídricos	33
	Segurança Hídrica	38
1.1.3.	Descrição dos Sistemas de Abastecimento de Águas Atuais	39
1.1.4.	Panorama da Situação Atual dos Sistemas Existentes	47
1.1.4.1.	Abastecimento de Água.....	47
	Poços rasos ou profundos	50
	Nascente ou mina	58
	Represas ou riachos	61
	Armazenamento	62
1.1.4.2.	Tratamento e Qualidade da Água.....	64
1.1.5.	Análise Crítica do Sistema de Abastecimento de Água	68
1.2.	Sistema de Esgotamento Sanitário.....	69
1.2.1.	Características Gerais dos Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário	75
1.2.1.1.	Fossa Rudimentar.....	75
1.2.1.2.	Fossa Séptica	78
1.2.1.3.	Biodigestor.....	80
1.2.2.	Análise Crítica do Sistema de Esgotamento Sanitário	83
1.3.	Sistema de Manejo dos Resíduos Sólidos	84
1.3.1.	Resíduos Sólidos Domiciliares - RDO	85
1.3.2.	Resíduos de Atividades Agrícolas e Pecuárias	91
1.3.3.	Resíduos da Construção Civil	94
1.3.4.	Resíduos Orgânicos	96
1.3.5.	Coleta Seletiva	97
1.3.6.	Análise Crítica do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos	101
1.4.	Sistema de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais	102
1.4.1.	Caracterização das Microbacias de Influência na Zona Rural	105



Análise Morfométrica.....	108
Análise Linear.....	109
Análise Areal	110
Análise Hipsométrica.....	112
1.4.2. Estudos Hidrológicos	114
1.4.2.1. Índices Físicos	115
1.4.2.2. Cobertura do Solo.....	116
1.4.2.3. Chuvas Intensas	119
1.4.2.4. Métodos para Cálculos da Vazão	120
Método I-PAI-WU	122
1.4.3. Drenagem das Águas Pluviais Associada às Estradas Rurais	126
1.4.4. Sistema de Aproveitamento das Águas Pluviais	129
1.4.5. Erosão	132
1.4.6. Análise Crítica do Sistema de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das propriedades do Grupo 01.....	17
Figura 2 - Localização das propriedades do Grupo 02.....	18
Figura 3 - Localização das propriedades do Grupo 03.....	19
Figura 4 - Localização das propriedades do Grupo 04.....	20
Figura 5 - Localização das propriedades do Grupo 05.....	21
Figura 6 - Localização das propriedades do Grupo 06.....	22
Figura 7 - Localização das propriedades do Grupo 07.....	23
Figura 8 - Localização das propriedades do Grupo 08.....	24
Figura 9 - Localização das propriedades do Grupo 09.....	25
Figura 10 - Localização das propriedades do Grupo 10.....	26
Figura 11 - Localização das propriedades participantes da pesquisa de campo.	27
Figura 12 - Formas de abastecimento de água da zona rural do Bioma Mata Atlântica.....	28
Figura 13 - Formas de abastecimento de água da zona rural do Bioma Cerrado.	29
Figura 14 - Sistema Aquífero de Engenheiro Coelho.	32
Figura 15 - Tendência das demandas outorgadas por tipo.	35
Figura 16 - Tendência das demandas outorgadas por finalidade.....	35
Figura 17 - Outorgas catalogadas pelo DAEE.....	37
Figura 18 - Evolução das formas de abastecimento de água nas propriedades rurais brasileiras.	39
Figura 19 – Exemplo de Poço Raso.....	41
Figura 20 - Diferença de profundidade de coleta do poço profundo.....	42
Figura 21 - Exemplo de nascente.....	43
Figura 22 - Represas utilizadas para abastecimento de água na zona rural....	44
Figura 23 - Exemplo de caminhão pipa.....	45
Figura 24 – Exemplo esquemático de um sistema de aproveitamento de água das chuvas.	46
Figura 25 – Exemplo de poço com altura na abertura visando impedir entrada de águas pluviais.....	55
Figura 26 – Exemplo de reservatório elevado e ligado a encanamentos.	63



Figura 27 - Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Mata Atlântica.....	69
Figura 28 - Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Cerrado. ...	69
Figura 29 - Localização das fossas rudimentares identificadas.	72
Figura 30 - Fossa a céu aberto identificada.	73
Figura 31 – Modelo esquemático de uma fossa rudimentar.....	76
Figura 32 - Fossa rudimentar em Engenheiro Coelho – Grupo 04.....	77
Figura 33 - Fossa rudimentar com tampa quebrada em Engenheiro Coelho – Grupo 07.	77
Figura 34 – Modelo esquemático das Fossas Sépticas.	78
Figura 35 - Fossa séptica em Engenheiro Coelho – Grupo 10.....	79
Figura 36 - Fossa séptica em Engenheiro Coelho – Grupo 05.....	79
Figura 37 - Fossa séptica bem vedada em Engenheiro Coelho – Grupo 07....	80
Figura 38 - Modelo esquemático de um biodigestor anaeróbio.....	82
Figura 39 - Evolução das formas de destinação de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros.	85
Figura 40 - Locais onde são praticadas a queima dos resíduos.	90
Figura 41 - Exemplo de biodigestor do tipo batelada em área rural.	91
Figura 42 - Mapa das localidades que aderem ou não à coleta seletiva.	100
Figura 43 - Situação dos imóveis rurais em relação ao eixo de drenagem das águas pluviais (considerando a delimitação de rural do PNSR).....	103
Figura 44 - Microbacias hidrográficas de Engenheiro Coelho.	107
Figura 45 - Mapa de uso e ocupação do solo nas microbacias identificadas.	117
Figura 46 - Determinação da largura média da bacia.	124
Figura 47 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).....	125
Figura 48 – Exemplo de erosão em estrada rural.	126
Figura 49 – Exemplo de pedras utilizadas para o melhoramento da via.	127
Figura 50 - Modelo esquemático de telhado coletor de águas pluviais.	130
Figura 51 - Cisterna de superfície para armazenamento de águas pluviais... ..	131
Figura 52 – Sistema de irrigação de culturas agrícolas por gotejamento utilizando águas pluviais.	131
Figura 53 - Exemplo de ravinas.....	133
Figura 54 - Exemplo de voçoroca.....	134



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades visitadas por grupo de separação.	17
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens para as fontes de obtenção de água... ..	48
Tabela 3 - Hierarquia do fluxo de drenagem computado.	108
Tabela 4 – Dados extraídos das microbacias.....	113
Tabela 5 - Tempo de Concentração para as microbacias rurais de Engenheiro Coelho.....	116
Tabela 6 – Área (em km ²) de cada classe identificada nas microbacias.....	118
Tabela 7 - Valores da Equação de intensidade da chuva.	120
Tabela 8 - Valores para determinação de C2.....	124
Tabela 9 - Vazões para diferentes Tempos de Retorno pelo Método I-PAI-WU.	125



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Formas de obtenção de água na zona rural de Engenheiro Coelho.	47
Gráfico 2 – Finalidade do uso de água oriunda de poços na zona rural.	50
Gráfico 3 – Distância dos poços em relação as fontes de contaminação.	51
Gráfico 4 – Localização em relação a fossa.....	52
Gráfico 5 – Revestimento interno dos poços.....	52
Gráfico 6 – Alagamentos ao redor do poço.....	53
Gráfico 7 – Proteção ao redor da abertura do poço.	54
Gráfico 8 – Poço é protegido por tampa.....	55
Gráfico 9 – Integridade da tampa de proteção.	56
Gráfico 10 – Condições da tampa de proteção.	57
Gráfico 11 – É feito algum tratamento para desinfecção da água dentro do poço.	58
Gráfico 12 – Finalidade do uso em Nascentes ou minas.	59
Gráfico 13 – Foi construída na nascente caixa com alvenaria com tampa.	60
Gráfico 14 – A vegetação próxima da nascente está preservada.	61
Gráfico 15 – Usa tonéis, latões ou galões para armazenar a água.....	63
Gráfico 16 – Costuma ter problemas com a qualidade da água que utilizam. .	65
Gráfico 17 – Percebeu alteração na cor, odor, sabor ou na transparência da água.	65
Gráfico 18 – Recebeu orientação de como fazer o tratamento da água que consome.....	66
Gráfico 19 - Destino do esgoto.....	71
Gráfico 20 - A limpeza da fossa é feita periodicamente?	74
Gráfico 21 – Na sua rua, você sente cheiro de esgoto?.....	74
Gráfico 22 - Propriedades da zona rural que possuem coleta de RDO.....	87
Gráfico 23 - Propriedades rurais de Engenheiro Coelho que utilizam lixeira para armazenamento do lixo.	88
Gráfico 24 - Diferentes finalidades do RDO nas propriedades rurais de Engenheiro Coelho.....	88
Gráfico 25 - Propriedades que possuem hortas ou outro tipo de plantação.....	93



Gráfico 26 - Distância aproximada (em metros) da fonte de água mais próxima.	93
Gráfico 27 - Propriedades que utilizam insumos agrícolas em Engenheiro Coelho.....	94
Gráfico 28 - Coleta Seletiva.....	98
Gráfico 29 - Sistema de Manejo das Águas Pluviais.....	104
Gráfico 30 - Ocorrência de alagamentos próximos aos imóveis.	104
Gráfico 31 – As estradas rurais municipais são consideradas conservadas?	128
Gráfico 32 – As estradas rurais particulares são consideradas conservadas?	128
Gráfico 33 – Estado de conservação das estradas de servidão de acordo com os munícipes.	129
Gráfico 34 - Identificação de pontos de erosão próximos às propriedades rurais.	133



APRESENTAÇÃO

Este documento é parte integrante à elaboração do Plano Municipal de Saneamento Rural (PMSR) de Engenheiro Coelho - SP, referente ao contrato nº 072/2024 – Proc. Adm. 071/2024.

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, engloba o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e a drenagem e o manejo de águas pluviais rurais.

O Plano Municipal de Saneamento Rural – PMSR de Engenheiro Coelho visa estabelecer um planejamento das ações de saneamento na área rural do Município, atendendo aos princípios da Política Nacional de Saneamento Básico - Lei nº 11.445/2007, alterada pela Lei nº 14.026/2020, assim como as diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos - Lei Federal nº 12.305/2010, com vistas à melhoria da salubridade ambiental, à proteção dos recursos hídricos e à promoção da 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 ao planejamento de ações voltadas para o saneamento básico em áreas rurais tem enfrentado vários desafios que impõem dificuldades a sua consolidação e obstáculos a sua incorporação nos municípios. Os objetivos do PMSR devem estar sintonizados com a Lei nº 11.445 de 2007 que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico, atualizada pelo Novo Marco Legal do Saneamento, Lei 14.026 de 2020 e do Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab (2013).

Entendendo saneamento básico rural como o desenvolvimento de ações que busca a universalização do acesso, através de estratégias que garantam a equidade, a integralidade, a intersetorialidade, a sustentabilidade dos serviços, em presença de participação e de controle social.

O planejamento estratégico pressupõe uma visão prospectiva da área e itens de planejamento, por meio de instrumentos de análise e antecipação, de forma coletiva, mediante informações construídas durante a elaboração do diagnóstico do cenário atual da área rural do Município de Engenheiro Coelho.

O seguinte documento apresenta o Produto IV – Diagnóstico da Situação Atual do Saneamento Rural do PMSR de Engenheiro Coelho – SP.



1. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

O presente diagnóstico técnico contempla a caracterização dos serviços de saneamento básico na zona rural do município de Engenheiro Coelho, abrangendo os componentes de abastecimento individual de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais. As informações apresentadas foram obtidas por meio de atividades de campo, com aplicação de questionários estruturados a moradores e proprietários rurais, e são consideradas representativas da realidade predominante nas diversas regiões rurais do município.

A amostragem foi realizada em propriedades rurais distribuídas em diferentes setores geográficos do território municipal, de forma a contemplar a diversidade de condições socioambientais e de infraestrutura presentes no meio rural. As entrevistas com os moradores da zona rural de Engenheiro Coelho foram realizadas entre os dias 31 de março e 15 de abril de 2025, com o objetivo de levantar informações primárias sobre as condições dos serviços de saneamento básico nas propriedades.

Do total de 169 imóveis previamente selecionados para a amostragem, 134 participaram efetivamente da pesquisa, resultando em uma taxa de adesão de aproximadamente 79,3%. Ressalta-se que, em apenas dois casos, os proprietários não autorizaram o acesso às áreas internas para o registro fotográfico dos dispositivos de saneamento, em especial das unidades de tratamento individual de esgoto, como fossas sépticas ou rudimentares.

Para fins de organização da amostragem e posterior análise espacial dos dados, as propriedades visitadas foram agrupadas em 10 grupos distintos, definidos previamente com base em critérios territoriais e logísticos, de forma a assegurar a cobertura de diferentes regiões do município. Ademais, em relação ao nome das comunidades/bairros rurais amostrados, estes foram representados a partir da localização das bacias existentes no território do município, sendo as bacias do Guaiquica, Mato Dentro e Correias.

A distribuição das visitas realizadas por grupo está apresentada na tabela a seguir.

Tabela 1 - Propriedades visitadas por grupo de separação.

Grupo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10
Nº de visitas	11	10	18	5	16	11	15	13	7	28

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades pertencentes ao Grupo 01 estão localizadas na microbacia do córrego Guaiquica e são acessadas, predominantemente, pelas estradas rurais EC-400, EC-412, EC-420 e EC-422. Essas vias apresentam boas condições de trafegabilidade e exercem um papel importante na conexão entre o município de Engenheiro Coelho e o município vizinho de Artur Nogueira, funcionando como rota alternativa ao pedágio da Rodovia Professor Zeferino Vaz (SP-332).

A região abriga alguns condomínios de chácaras, caracterizados por estrutura de portaria e fechamento perimetral, no entanto, o foco da amostragem esteve voltado para as propriedades rurais abertas. Destaca-se que está em fase de implantação o projeto de pavimentação da EC-400, o qual tende a valorizar significativamente as áreas lindeiras a este acesso rural.

Figura 1 - Localização das propriedades do Grupo 01.

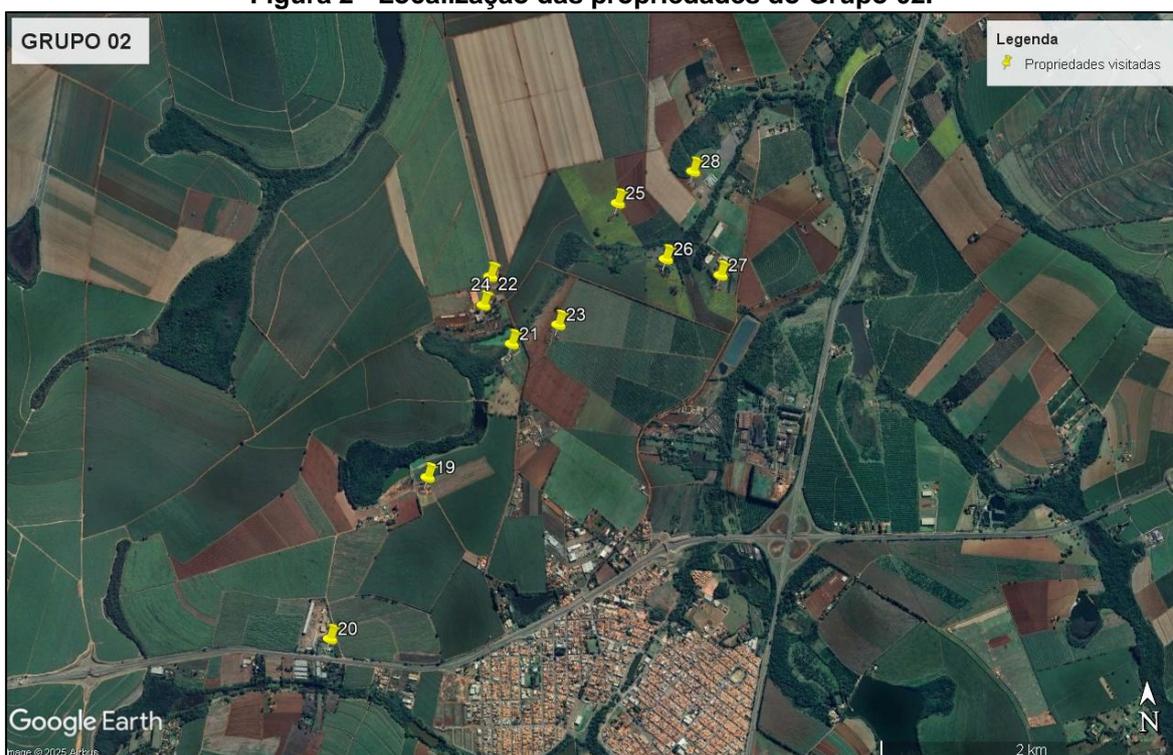


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades do Grupo 02 também se situam na microbacia do córrego Guaiquica e são acessadas principalmente pela estrada rural EC-100, a qual apresenta boas condições de trafegabilidade. Essa via estabelece ligação entre os municípios de Engenheiro Coelho e Conchal, atravessando a Fazenda Pinhalzinho — local estratégico por abrigar o ponto de captação de água que abastece a área urbana de Engenheiro Coelho.

A região é caracterizada por propriedades de maior extensão territorial, com predominância das atividades de cultivo de cana-de-açúcar e criação de ovinos, sendo reconhecida como uma das áreas rurais economicamente mais consolidadas do município. Ressalta-se ainda que, em uma das propriedades visitadas, o proprietário estuda a implantação de uma mini-indústria geradora de energia elétrica a partir da captação de biogás produzido na biodigestão de resíduos sólidos orgânicos gerados na própria fazenda.

Figura 2 - Localização das propriedades do Grupo 02.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades do Grupo 03 estão inseridas na microbacia do córrego Guaiquica e são acessadas principalmente pela estrada rural EC-110, conhecida como estrada do Bode Branco. Esta via principal interliga-se com outras estradas secundárias, como a EC-112, EC-114, EC-116 e EC-118, todas em condições

satisfatórias de tráfego. Embora o leito das estradas não apresente buracos, foram observadas situações pontuais de interferência da vegetação marginal, especialmente da cerca viva de sansão-do-campo, que invade parcialmente a via em alguns trechos, demandando manutenção.

Nessa região está localizada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município, o que reforça sua relevância estratégica. O grupo é composto por propriedades dispersas, com destaque para um núcleo de aproximadamente 10 pequenas chácaras. Contudo, a desatualização do Cadastro Ambiental Rural (CAR) dificultou a identificação completa dos imóveis, e em algumas residências não foi possível realizar entrevistas. No total, foram visitadas 18 propriedades, incluindo uma clínica destinada à recuperação de pessoas com dependência química.

A região também abriga um pequeno centro comunitário vinculado à Igreja Católica, popularmente conhecido como “Igrejinha do Bode Branco”.

Figura 3 - Localização das propriedades do Grupo 03.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Grupo 04 está localizado na microbacia do córrego Guaiquica, com acesso principal pelas estradas rurais EC-410 e EC-412, ambas em boas condições de tráfego, incluindo pontes e travessias, que se encontram bem conservadas. As propriedades rurais da região são, em sua maioria, de pequena a média extensão,

com uso diversificado do solo, destacando-se os cultivos de café, mandioca e manga.

Embora existam nascentes no território pertencente a Engenheiro Coelho, grande parte dos cursos d'água originados percorre áreas do município vizinho de Artur Nogueira. Ressalta-se que há, na região, um campo de tiro utilizado para treinamentos, o qual não foi incluído na amostragem de aplicação dos questionários.

Figura 4 - Localização das propriedades do Grupo 04.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades do Grupo 05 estão inseridas na microbacia do córrego dos Correias e são acessadas pela rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147) e pela estrada rural EC-310, conhecida como estrada do Taperão. Ambos os acessos apresentam boas condições de tráfego. As propriedades visitadas localizam-se entre os bairros rurais da Caveira e dos Correias, totalizando 15 residências.

A área é composta predominantemente por pequenas propriedades voltadas à produção de subsistência ou ao comércio local, com cultivos como mandioca, hortaliças, manga e abacate. Também foi identificado o comércio doméstico de animais, como galinhas e suínos, em escala reduzida. Parte das propriedades é utilizada como residência secundária, voltada ao lazer familiar.

Figura 5 - Localização das propriedades do Grupo 05.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades pertencentes ao Grupo 06 estão inseridas na microbacia do córrego dos Correias e são acessadas por meio da rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147), das estradas rurais EC-310 (estrada do Taperão), EC-320 (estrada dos Correias), EC-350 e EC-352. Os acessos apresentam boas condições de tráfego.

As propriedades visitadas estão situadas entre os bairros dos Correias e Pereirinhas, com possibilidade de acesso também pelo município vizinho de Artur Nogueira. A estrada EC-320 possui papel estratégico ao interligar a SP-147 a Artur Nogueira, percorrendo toda a extensão da microbacia dos Correias dentro dos limites de Engenheiro Coelho.

A região é composta por propriedades rurais, além de apresentar um conjunto de chácaras em formato de condomínio e a presença de um pesqueiro voltado ao lazer.

Figura 6 - Localização das propriedades do Grupo 06.

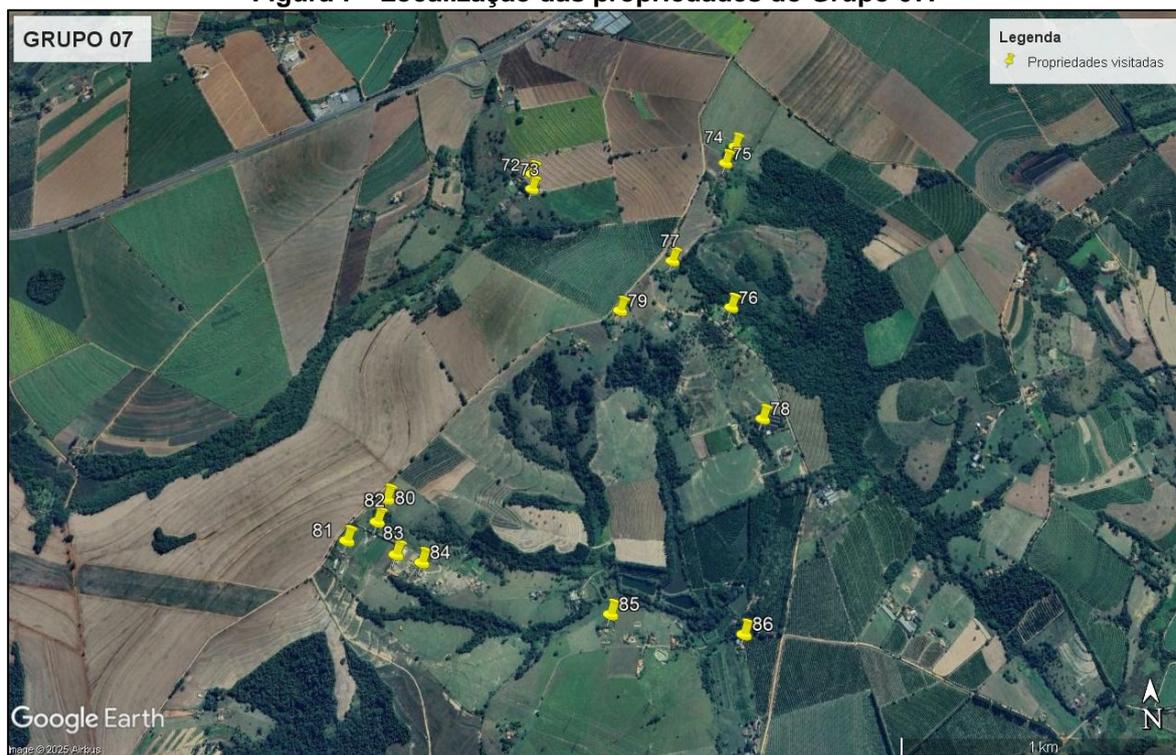


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades do Grupo 07 estão localizadas na microbacia do córrego do Mato Dentro, em região limítrofe com a microbacia dos Correias. O acesso principal se dá pela rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147) e pela estrada rural EC-332, nas proximidades do bairro Santo Antônio do Mato Dentro. Outras propriedades são acessadas por vias secundárias, como as estradas rurais EC-330, EC-312, EC-314 e EC-316, todas em boas condições de tráfego.

Apesar de ser a menor microbacia do município em área, esta região abriga um número expressivo de pequenas propriedades rurais. O relevo acidentado e a abundância de nascentes configuram um ambiente de elevada sensibilidade ambiental e importância hídrica para o município

Figura 7 - Localização das propriedades do Grupo 07.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades deste grupo estão situadas na microbacia dos Correias, em região limítrofe com a microbacia do Mato Dentro. O acesso ocorre pela rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147) e pela estrada rural EC-320 (Estrada dos Correias), ambas em boas condições de tráfego, inclusive as travessias e pontes. O relevo da área apresenta ondulações suaves, com presença de morros baixos, o que favorece, em períodos chuvosos, a ocorrência pontual de processos erosivos nas estradas não pavimentadas.

As propriedades são majoritariamente familiares, com estruturas produtivas mais simples e voltadas principalmente para o cultivo de subsistência e comercialização em pequena escala.

Figura 8 - Localização das propriedades do Grupo 08.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades incluídas no Grupo 09 estão localizadas na microbacia do Mato Dentro, com acesso principal pela rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147) e pela estrada rural EC-322 (Estrada Pederneiras). As vias de acesso, incluindo pontes, passaram por melhorias no ano anterior, porém a região é caracterizada por relevo sinuoso e elevada densidade de nascentes, o que torna os acessos mais desafiadores, especialmente devido à presença de curvas acentuadas e à suscetibilidade a processos erosivos.

As propriedades visitadas são predominantemente familiares, com infraestrutura mais modesta e produção agrícola voltada à subsistência. Foram realizadas visitas em seis propriedades; no entanto, algumas delas não possuíam o Cadastro Ambiental Rural (CAR) atualizado, o que inviabilizou a elaboração precisa do mapa dessas áreas

Figura 9 - Localização das propriedades do Grupo 09.



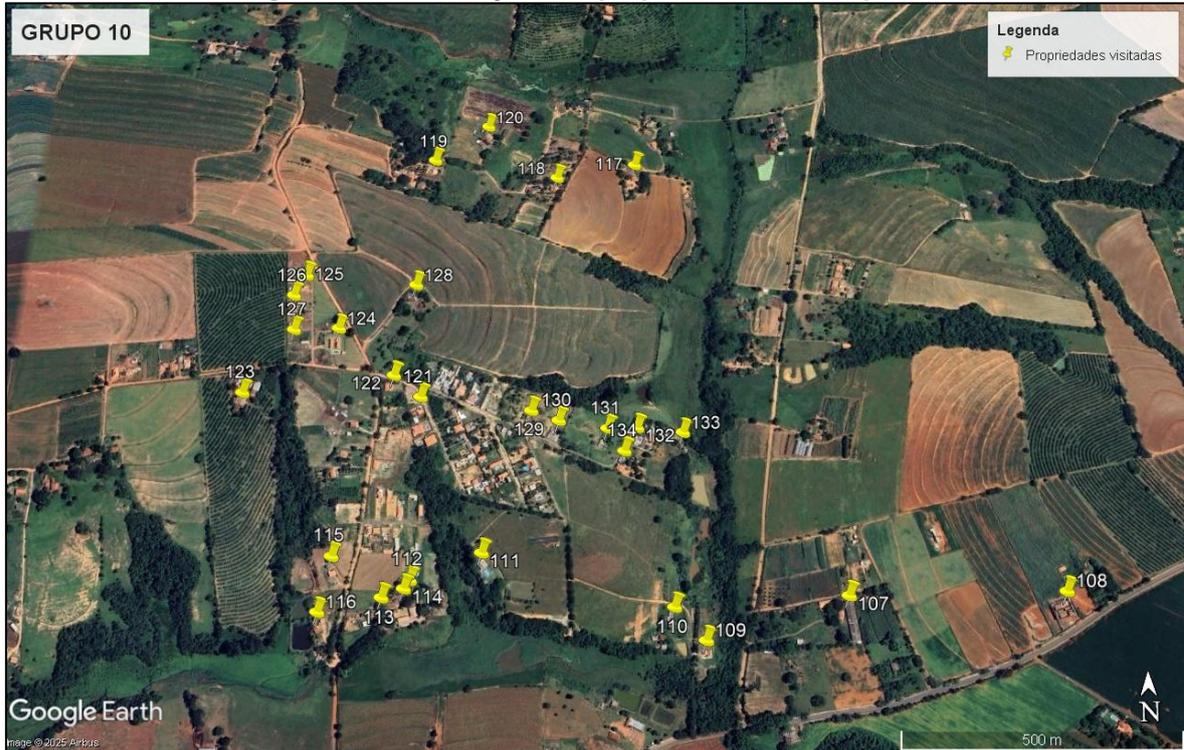
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

As propriedades deste grupo estão situadas na microbacia do Mato Dentro, com acessos principais pela rodovia Engenheiro João Toselho (SP-147) e pelas estradas rurais EC-350 e EC-352. Também é possível acessar a região pela Rodovia dos Agricultores (MMR-347), que conecta os municípios de Artur Nogueira e Mogi Mirim.

Embora as vias tenham recebido melhorias no ano anterior, a morfologia acidentada da área, com relevo sinuoso e alta concentração de nascentes, torna os acessos mais complexos, com predominância de curvas acentuadas e maior propensão à ocorrência de processos erosivos.

Esta região está próxima à divisa com o município de Artur Nogueira e apresenta um número significativo de chácaras voltadas ao lazer, utilizadas como residências de veraneio ou para aluguel em fins de semana. As propriedades visitadas não possuem o Cadastro Ambiental Rural (CAR) atualizado, o que inviabilizou a elaboração dos respectivos mapas individuais.

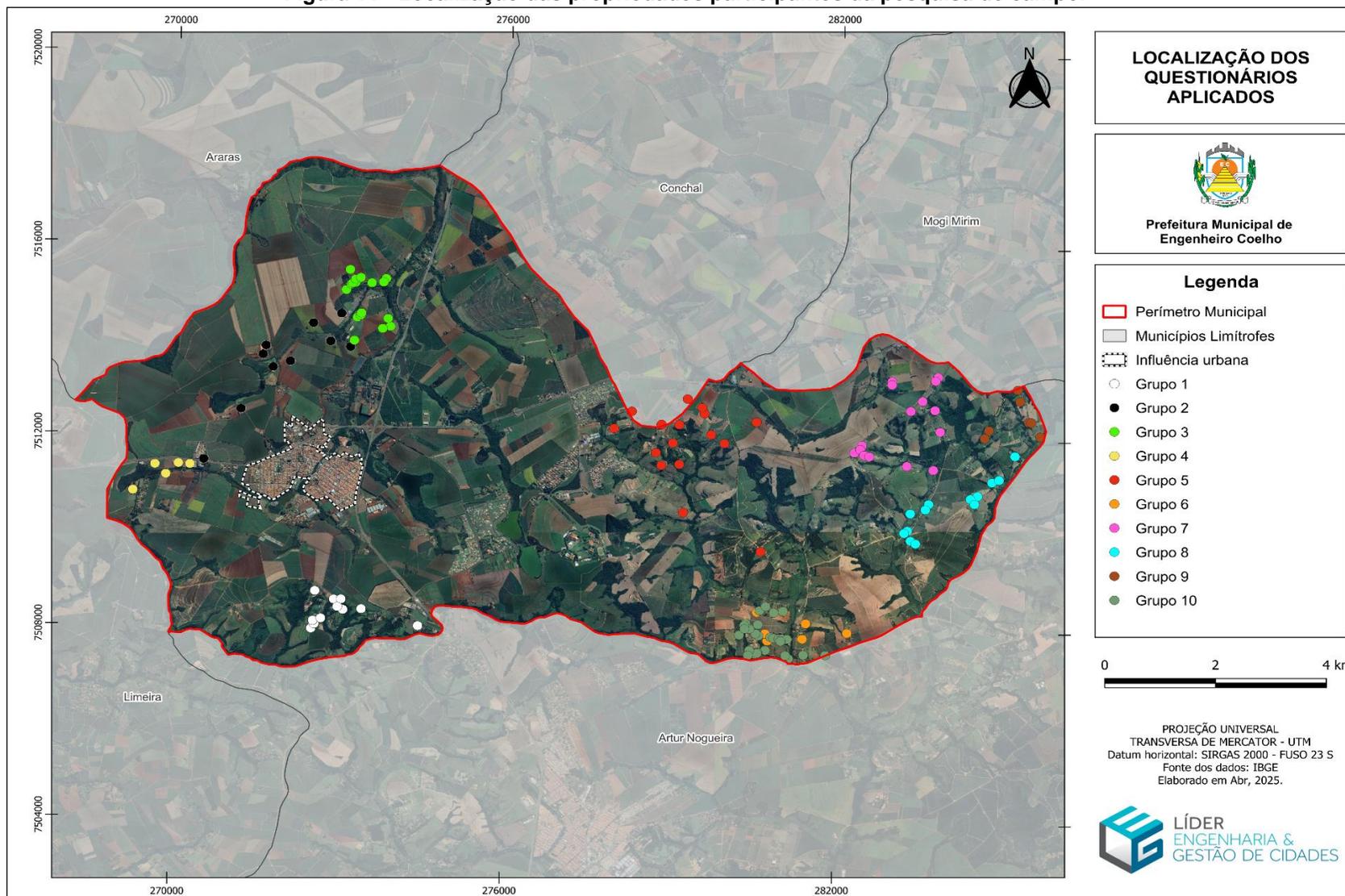
Figura 10 - Localização das propriedades do Grupo 10.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Complementarmente, o mapa a seguir ilustra a localização geográfica de cada uma das propriedades participantes, devidamente classificadas conforme o grupo ao qual pertencem.

Figura 11 - Localização das propriedades participantes da pesquisa de campo.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

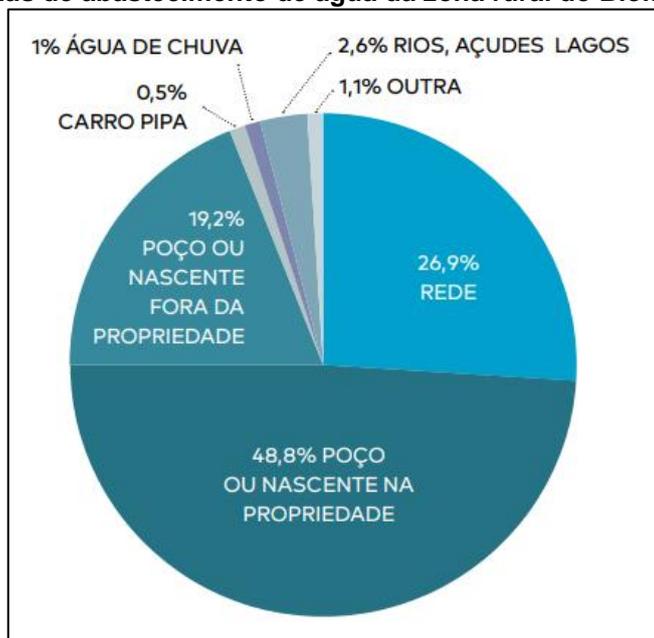
1.1. Sistema de Abastecimento de Água

Os serviços de saneamento são essenciais para garantir a saúde e o bem-estar da população, abrangendo tanto áreas urbanas quanto rurais. Entretanto, no contexto rural, existe uma carência no acesso ao abastecimento de água de qualidade, o que compromete a qualidade de vida das comunidades e representa riscos ao meio ambiente.

A ausência de sistemas adequados de abastecimento de água nas áreas rurais pode levar à contaminação dos recursos hídricos e do solo, agravando os problemas sanitários nessas localidades. De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), os biomas Mata Atlântica e Cerrado, que abrangem o município de Engenheiro Coelho, concentram uma grande quantidade de propriedades rurais em relação a outros biomas brasileiros.

No Bioma Mata Atlântica, o abastecimento de água na zona rural ocorre, em sua maioria, por meio de poços e nascentes localizados dentro das propriedades. A Figura 12 ilustra essa realidade.

Figura 12 - Formas de abastecimento de água da zona rural do Bioma Mata Atlântica.

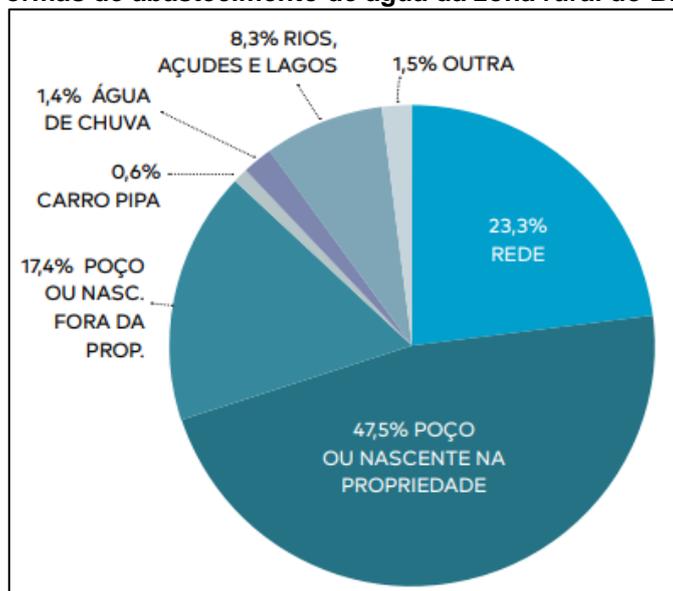


Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

No Bioma Cerrado, o abastecimento de água também ocorre predominantemente por meio de poços ou nascentes localizados dentro das

propriedades. Essa forma de captação corresponde a quase metade dos casos registrados, como apresentado na figura abaixo.

Figura 13 - Formas de abastecimento de água da zona rural do Bioma Cerrado.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

Nas áreas rurais de Engenheiro Coelho, a água utilizada pelas comunidades é obtida, principalmente, por meio de poços e nascentes, que se destacam como fontes hídricas de grande relevância. As nascentes, em particular, são valorizadas pela qualidade superior da água que oferecem, sendo frequentemente consumida diretamente, sem passar por algum tipo de tratamento.

A rica disponibilidade hídrica, proporcionada pelos biomas Cerrado e Mata Atlântica, sustenta o uso predominante dessas fontes nas propriedades rurais. No entanto, a ausência de infraestrutura para tratamento de água, aliada à possibilidade de contaminação das fontes, pode gerar riscos à saúde das comunidades. Por isso, é fundamental avaliar as condições dessas captações para propor soluções que garantam o acesso a água potável de forma segura.

1.1.1. Identificação de Mananciais para o Abastecimento Futuro

Mananciais Superficiais

O município de Engenheiro Coelho está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 9 – Baixo Piracicaba, conforme



definido pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH). Essa unidade abrange diversas bacias hidrográficas, incluindo a do Ribeirão do Pinhal, que percorre os municípios de Engenheiro Coelho, Conchal, Mogi Mirim e Araras (SSRH, 2015).

Entre os recursos hídricos superficiais presentes no município, destaca-se o Ribeirão da Guaiaquica, que possui outorga para captação de água superficial para fins de irrigação, com volume diário autorizado de 367,80 m³. Além disso, o município conta com outras microbacias, como as dos córregos dos Correias e Mato Dentro, que apresentam relevância local para o abastecimento e necessitam de proteção e monitoramento adequados (DAEE, 2020).

A Política Municipal de Recursos Hídricos de Engenheiro Coelho, instituída pela Lei Complementar nº 25/2022, estabelece diretrizes para a gestão sustentável dos recursos hídricos, priorizando o abastecimento humano e integrando o planejamento urbano e rural com a gestão das bacias hidrográficas.

Considerando o crescimento populacional e as demandas futuras por água, é essencial identificar e proteger os mananciais superficiais existentes, bem como avaliar a viabilidade de novas fontes de abastecimento, garantindo a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental do município.

Mananciais Subterrâneos

A captação de água por poços é uma prática amplamente disseminada no Brasil, sendo necessária para garantir o abastecimento hídrico em várias regiões, especialmente naquelas onde o acesso a fontes superficiais, como rios e lagos, é limitado ou inexistente. A exploração de águas subterrâneas via poços torna-se, portanto, uma solução indispensável para atender às necessidades humanas e produtivas, assegurando o acesso à água potável.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2019 o país contabilizava aproximadamente 800 mil poços tubulares profundos em operação. A água extraída desses poços é utilizada para múltiplas finalidades, abrangendo desde a agricultura e irrigação até a indústria e o consumo doméstico, reforçando sua importância para a economia e o bem-estar social.



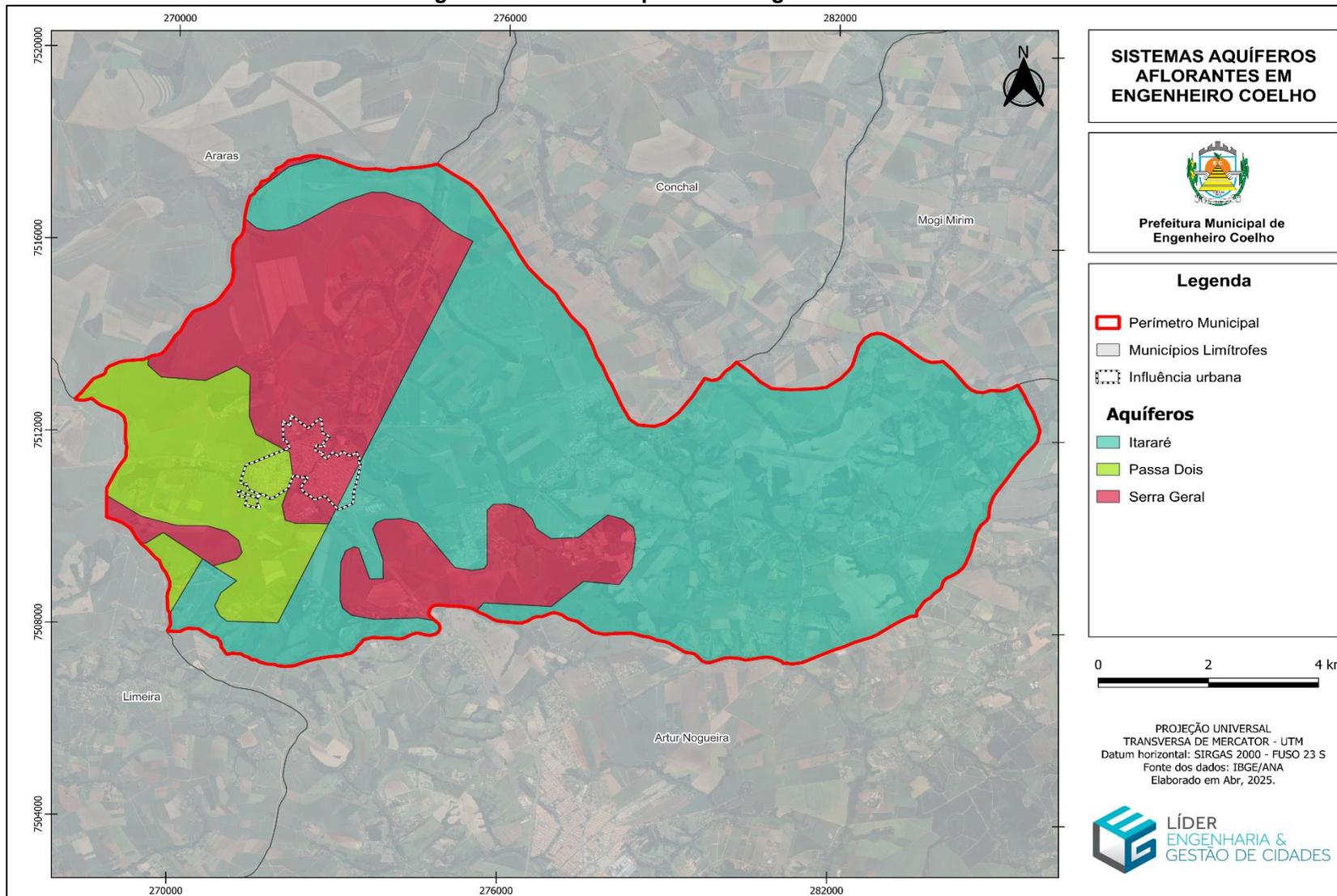
Entretanto, a locação e a perfuração de poços profundos enfrentam desafios em algumas regiões devido à presença de aquíferos fissurados, cuja estrutura geológica dificulta a obtenção de água em volume satisfatório. Nessas situações, é necessário empregar técnicas avançadas de perfuração para garantir que a captação seja adequada às demandas locais, sem comprometer a viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

A crescente escassez de recursos hídricos superficiais, observada tanto em áreas urbanas quanto em comunidades rurais isoladas, tem intensificado a dependência das águas subterrâneas. Esse cenário evidencia a urgência de fortalecer a regulamentação sobre o uso desse recurso, de modo a prevenir sua superexploração. A retirada de água em volumes superiores à recarga natural compromete o equilíbrio do ciclo hidrológico, afetando diretamente a disponibilidade hídrica futura e os ecossistemas associados.

A quantidade, qualidade e fluxo das águas subterrâneas dependem diretamente das características geotécnicas das formações rochosas e dos sedimentos presentes na região. Assim, uma análise criteriosa dessas características é imprescindível para garantir o uso sustentável do recurso, assegurando o abastecimento hídrico para a população rural de forma duradoura.

A partir da figura apresentada a seguir, elaborada a partir da cartografia disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), é possível observar a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos no território de Engenheiro Coelho.

Figura 14 - Sistema Aquífero de Engenheiro Coelho.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



No território de Engenheiro Coelho, afloram três importantes aquíferos: Itararé, Passa Dois e Serra Geral, todos integrantes do Sistema Aquífero Paraná. A presença desses aquíferos contribui significativamente para a disponibilidade hídrica subterrânea da região, embora com características distintas entre si.

O Aquífero Itararé, de natureza sedimentar, possui porosidade relativamente baixa, o que limita sua capacidade de armazenamento e vazão, sendo comum encontrar águas com maior teor de ferro e manganês (CPRM, 2011).

O Aquífero Passa Dois, também sedimentar, é constituído por arenitos finos e argilitos, com permeabilidade ainda mais restrita, o que dificulta a exploração de poços com alta produtividade (DAEE, 2020).

Já o Aquífero Serra Geral, de origem basáltica, apresenta fraturas e zonas de falhamento que permitem o acúmulo e a movimentação de água subterrânea, sendo considerado um dos principais reservatórios da região em termos de qualidade e volume de extração (Tundisi & Tundisi, 2010; DAEE, 2020).

Apesar da presença desses aquíferos, a perfuração e o uso sustentável dos poços requerem atenção técnica específica, especialmente em relação à profundidade, vulnerabilidade à contaminação e ao tipo de rocha predominante (CPRM, 2011).

1.1.2. 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, no entanto, essa autorização não dá ao usuário a propriedade da água. A outorga de direito de uso de recursos hídricos 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 regularização 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.*

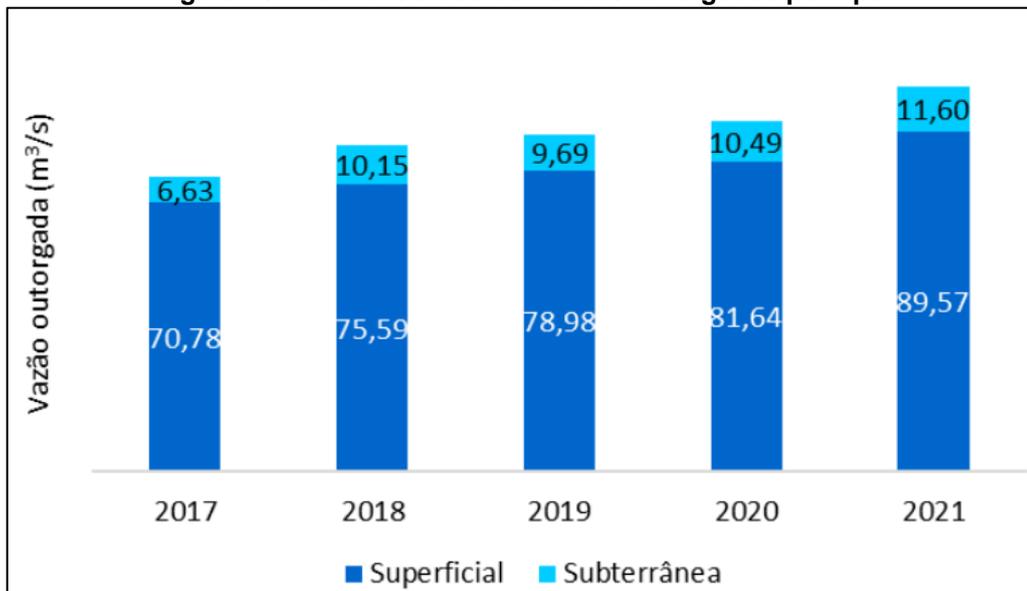
No artigo 6º da portaria, é estabelecido que os usos e interferências que são dispensados de outorgas estão sujeitos a um cadastro correspondente, exceto para os casos previstos na portaria e em outras normas e portarias do DAEE.

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), a

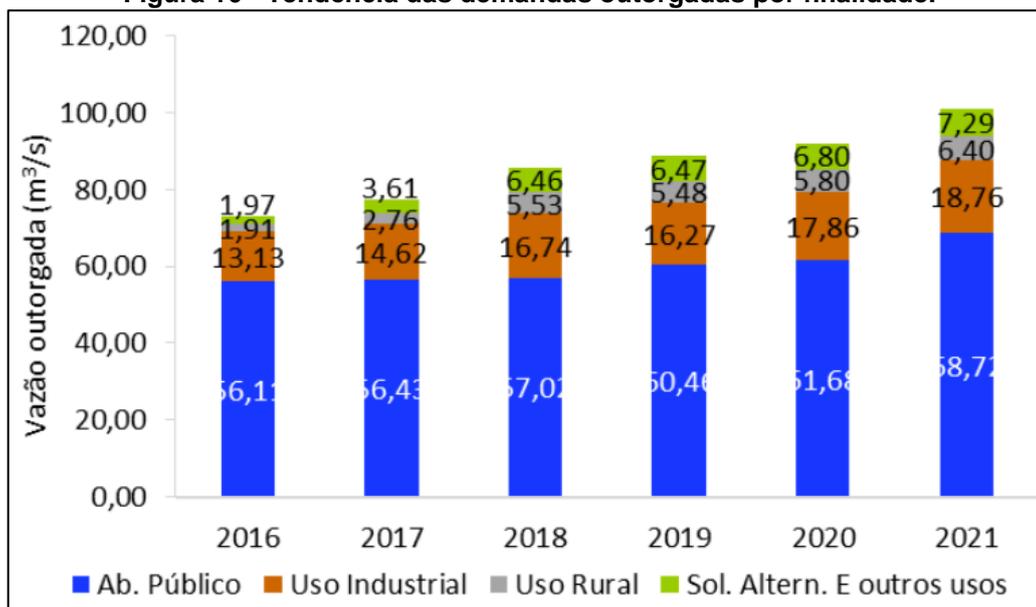
Figura 15 e Figura 16 expõe as demandas outorgadas por tipo e por finalidade, respectivamente.

Figura 15 - Tendência das demandas outorgadas por tipo.



Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, 2022, ano base 2021.

Figura 16 - Tendência das demandas outorgadas por finalidade.



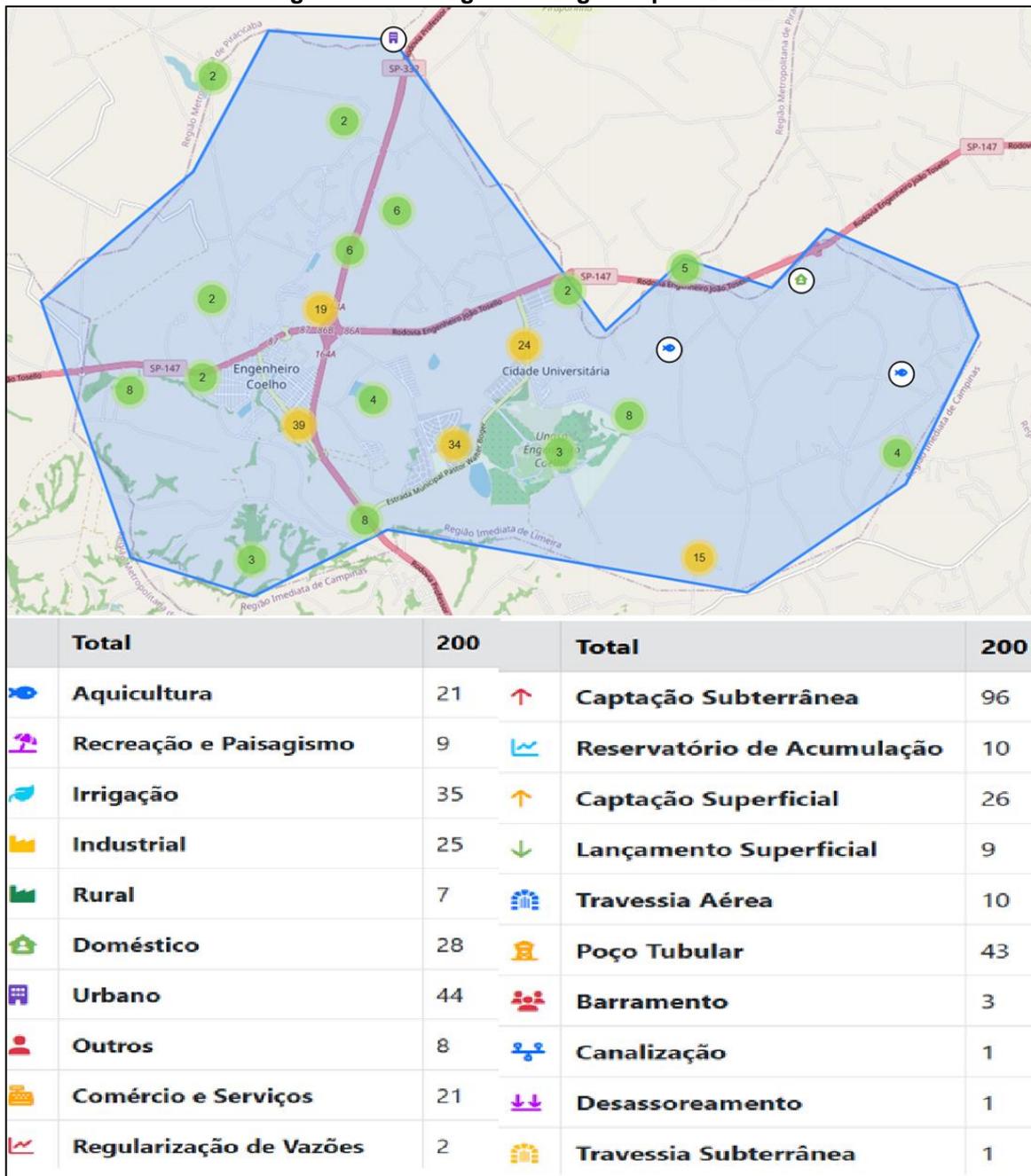
Fonte: Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, 2022, ano base 2021.

De acordo com as figuras acima, infere-se que a vazão outorgada classificada como Uso Rural no ano de 2020 correspondia a 5,80 m³/s, apresentando aumento de 9,37% no ano de 2021, totalizando 6,40 m³/s.



Abaixo são demonstradas as outorgas catalogadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE para o ano de 2024, totalizando 200 outorgas para Engenheiro Coelho.

Figura 17 - Outorgas catalogadas pelo DAEE.



Fonte: DAEE, 2024.

De acordo com o apresentado, até janeiro de 2025, foram catalogadas 200 outorgas de uso de recursos hídricos em Engenheiro Coelho. A maior parte delas (96) refere-se à captação subterrânea, enquanto 26 são de captação superficial. Quanto ao uso final, predominam as outorgas destinadas ao abastecimento urbano (44) e ao uso doméstico (28). Também se destacam 35 outorgas voltadas para irrigação e 21 destinadas à prática de aquicultura.



Segurança Hídrica

O conceito de segurança hídrica, segundo a Organização das Nações Unidas – ONU/2014, é dado como a capacidade da população possuir 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 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 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.

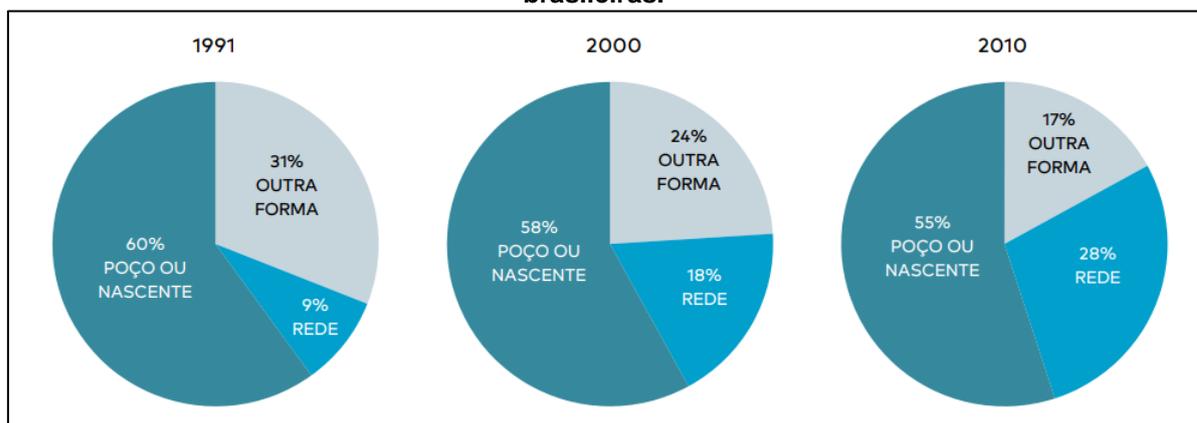
Deve-se ainda considerar a Lei Estadual nº 16.337/2016, a qual dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, responsável por regulamentar o regime de outorga de águas no Estado de São Paulo.

1.1.3. 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 a maior 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). A Figura 18 demonstra as informações citadas.

Figura 18 - Evolução das formas de abastecimento de água nas propriedades rurais brasileiras.



Fonte: Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

Na zona rural de Engenheiro Coelho, assim como na maior parte dos municípios brasileiros, o abastecimento de água 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 Engenheiro Coelho, divide-se em: poços profundos, nascentes ou minas, captação em represas/riachos e armazenamento de água da chuva, além de tanques para criação de peixes. A seguir serão descritas as principais características dos sistemas individuais mais usuais em propriedades rurais.

Poços rasos

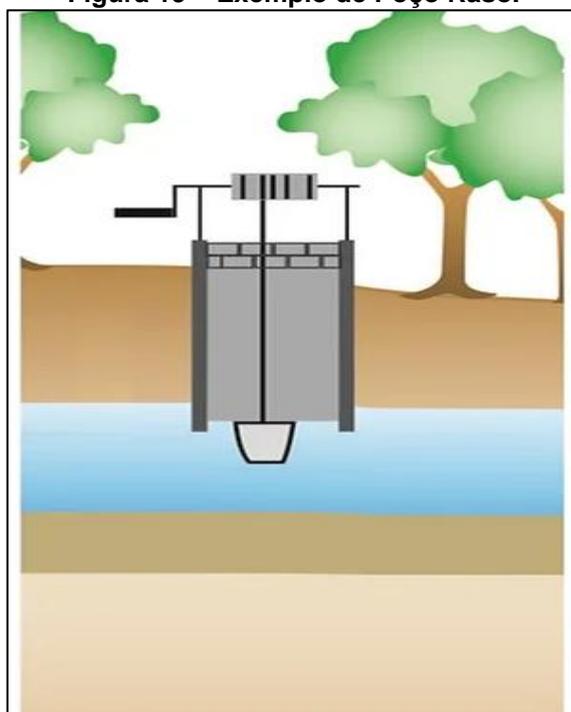
Os poços rasos são estruturas utilizadas para a captação de água subterrânea em lençóis freáticos superficiais, geralmente localizados entre 15 e 20 metros de profundidade. Por estarem próximos à superfície, esses lençóis são recarregados principalmente pela infiltração das águas das chuvas, o que os torna mais suscetíveis a flutuações sazonais de disponibilidade hídrica.

A extração da água pode ser realizada de forma manual, utilizando bombas manuais, ou por meio de bombas elétricas, dependendo das características do poço, como profundidade e demanda por vazão (Santos Valias *et al.*, 2000).

Entretanto, poços rasos apresentam maior vulnerabilidade à contaminação, dada a sua proximidade com a superfície. Essa exposição aumenta o risco de poluição por agentes como produtos químicos provenientes da agricultura, resíduos sólidos e outros contaminantes da cobertura do solo. Por isso, a manutenção regular desses sistemas é imprescindível para garantir tanto a qualidade da água quanto o funcionamento adequado e contínuo do poço.

As atividades de manutenção incluem limpeza periódica, substituição de bombas desgastadas e monitoramento frequente dos níveis de água e qualidade hídrica (Santos Valias *et al.*, 2000). Essas ações são fundamentais para preservar a segurança do abastecimento, especialmente em áreas rurais que dependem dessa fonte para suprir suas necessidades hídricas. A figura a seguir ilustra o exemplo de um poço raso.

Figura 19 – Exemplo de Poço Raso.



Fonte: Foto de divulgação, 2024.

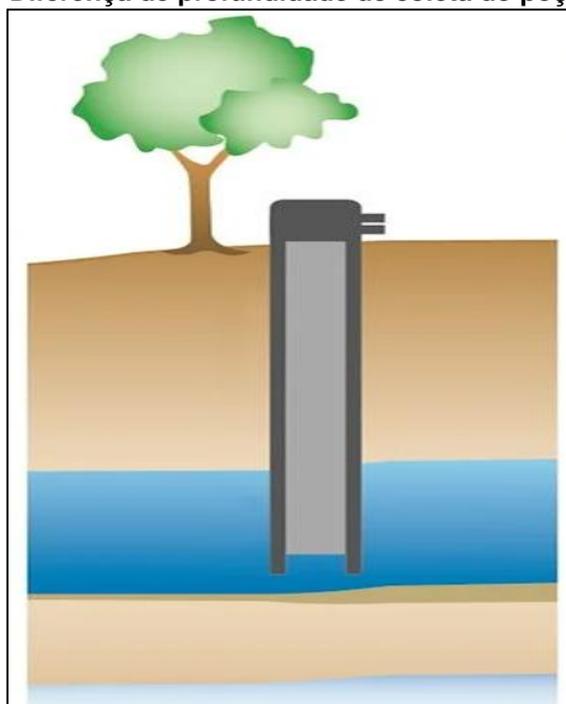
Poço profundo

A principal distinção entre poços rasos e poços profundos está relacionada à profundidade de perfuração e à camada de água subterrânea acessada. Enquanto os poços rasos atingem profundidades de até 20 metros, os poços profundos ultrapassam essa marca, podendo alcançar centenas de metros abaixo da superfície. Essa característica permite a captação de água de aquíferos mais profundos e protegidos (Vasconcelos, 2014).

Os poços profundos são amplamente utilizados em situações que demandam maior volume de água, como no abastecimento de cidades, no suporte a indústrias ou na irrigação de grandes áreas agrícolas. Sua capacidade de fornecer vazões significativas torna-os indispensáveis para atender a demandas de larga escala (Vasconcelos, 2014).

A escolha entre utilizar um poço raso ou profundo depende de fatores como as condições hidrogeológicas locais, as necessidades de consumo, os custos envolvidos e as regulamentações vigentes na região. Ambos os tipos apresentam vantagens e desvantagens, mas, em qualquer caso, é fundamental que o projeto, a construção e a manutenção sejam realizadas adequadamente para assegurar o fornecimento de água potável de forma segura e eficiente (Vasconcelos, 2014).

Figura 20 - Diferença de profundidade de coleta do poço profundo.



Fonte: Foto de divulgação, 2024.

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, a Figura 21 representa um exemplo de captação em nascente.

Vale ressaltar, que durante as visitas técnicas realizadas, houve dificuldade no registro fotográfico das captações de água em nascentes. Isso se deve, 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 inviabilizou o registro visual dessas estruturas de captação.

Figura 21 - Exemplo de nascente.



Fonte: Foto de Divulgação, 2023.

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).

A figura a seguir demonstra a forma utilizada para o abastecimento de água com forma de captação superficial.

Figura 22 - Represas utilizadas para abastecimento de água na zona rural.



Fonte: SAEMI, 2024.

Caminhão Pipa

O abastecimento de água por caminhão pipa é um método de distribuição de água que envolve o transporte de grandes quantidades de água em caminhões-tanque para áreas que não possuem acesso a outras formas de abastecimento de água potável. Isso se torna necessário em situações em que a infraestrutura de fornecimento de água não está disponível ou foi interrompida devido a desastres naturais, secas prolongadas, crises de abastecimento ou em áreas remotas, como comunidades rurais ou propriedades isoladas (Carvalho, 2015).

Os caminhões pipa desempenham um papel vital em fornecer água para o consumo humano, agricultura, indústria e outros usos essenciais. No entanto, é importante ressaltar que o abastecimento por caminhão pipa é geralmente uma solução temporária e esforços a longo prazo devem ser direcionados para o estabelecimento de infraestruturas de abastecimento de água mais sustentáveis e confiáveis nas áreas atendidas (Carvalho, 2015).

Figura 23 - Exemplo de caminhão pipa.



Fonte: Foto de divulgação, 2020.

Reservatório de Água da Chuva

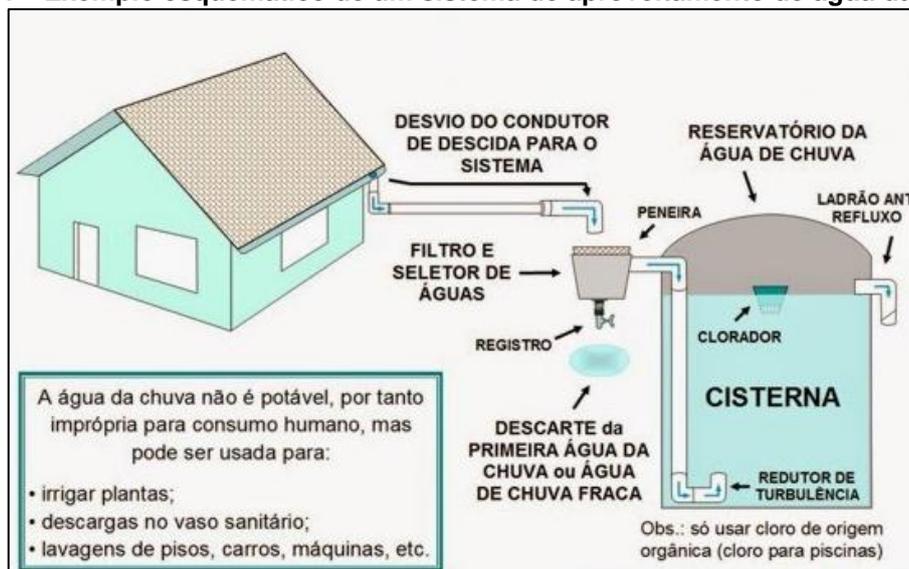
Os reservatórios de águas pluviais são estruturas vitais na gestão hídrica das áreas rurais, proporcionando uma série de benefícios essenciais. Além de abastecerem as comunidades rurais com água potável para uso doméstico e

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 essencial 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). A Figura 24 é um exemplo de projeto para captação e armazenamento de águas pluviais.

Figura 24 – Exemplo esquemático de um sistema de aproveitamento de água das chuvas.



Fonte: Fürst, 2014.

Em Engenheiro Coelho, não existem especificações definidas para a armazenagem de águas pluviais e a prática de captação da água da chuva não é amplamente adotada por todas as propriedades.

1.1.4. Panorama da Situação Atual dos Sistemas Existentes

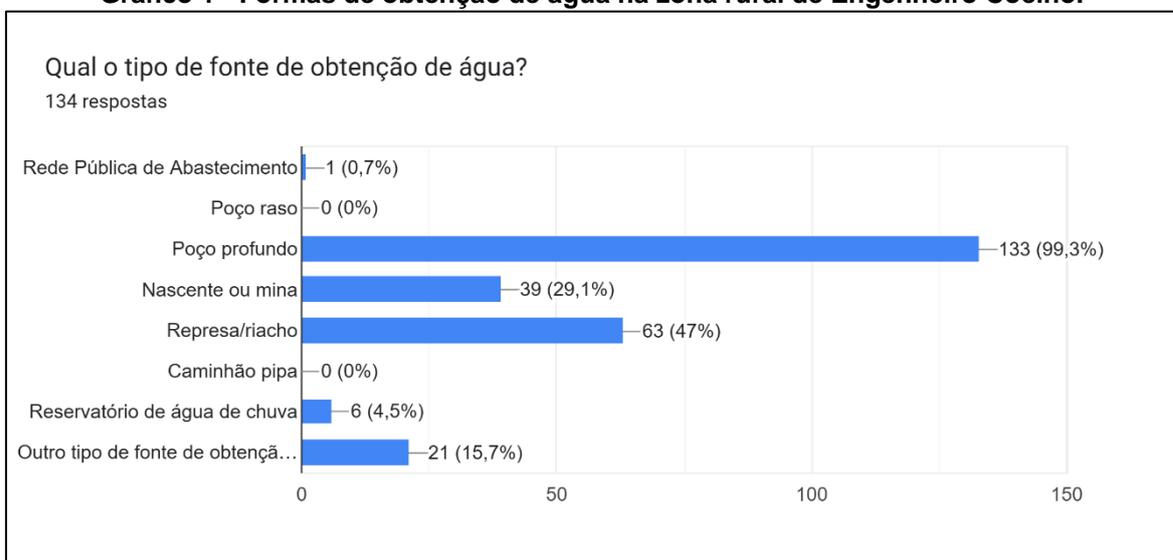
Os tópicos a seguir irão demonstrar a situação atual dos sistemas individuais existentes na zona rural de Engenheiro Coelho, baseando-se nos resultados obtidos através dos questionários presenciais aplicados durante as visitas técnicas às propriedades rurais. Esses dados fornecem uma visão detalhada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

1.1.4.1. Abastecimento de Água

Conforme descrito em tópicos anteriores, as principais formas de obtenção de água na zona rural de Engenheiro Coelho são os poços profundos, nascentes ou minas e captação superficial em represas ou riachos, além de tanques usado para a criação de peixes.

O gráfico a seguir ilustra essas modalidades, apresentando a distribuição e a quantificação obtidas por meio do levantamento de campo realizado durante a aplicação dos questionários.

Gráfico 1 - Formas de obtenção de água na zona rural de Engenheiro Coelho.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme demonstrado no gráfico elaborado a partir das pesquisas de campo, observou-se que em apenas uma das 134 propriedades rurais de Engenheiro Coelho não ocorre a captação de água por meio de poço profundo.



Esse dado evidencia que essa forma de captação representa o principal meio de abastecimento hídrico no meio rural do município. Os demais métodos de captação, como o uso de nascentes e represas, são adotados de maneira complementar, geralmente voltados para finalidades específicas, como a dessedentação de animais ou a irrigação de cultivos.

Na tabela a seguir, apresentam-se as principais vantagens e desvantagens associadas a cada um desses métodos.

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

Fonte de obtenção de água	Vantagens	Desvantagens	Observação
Represas ou Riachos	Fácil acesso à água, custo inicial geralmente menor, fornecimento contínuo de água e versatilidade de uso.	Vulnerabilidade à contaminação por poluentes e esgotos, alta dependência de chuvas.	A captação em represas ou riachos é prática de baixo custo inicial, mas está sujeita a variabilidade climática e riscos de contaminação, exigindo gestão cuidadosa para garantir a qualidade e a 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.
Poço Profundo	Melhor qualidade da água, maior vazão, maior disponibilidade e vida útil mais longa.	Custo elevado, mais complexidade na construção / 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 baixo de perfuração e manutenção, simplicidade na construção / 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, a obtenção de água por poço raso pode ser uma opção viável para o abastecimento. 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.

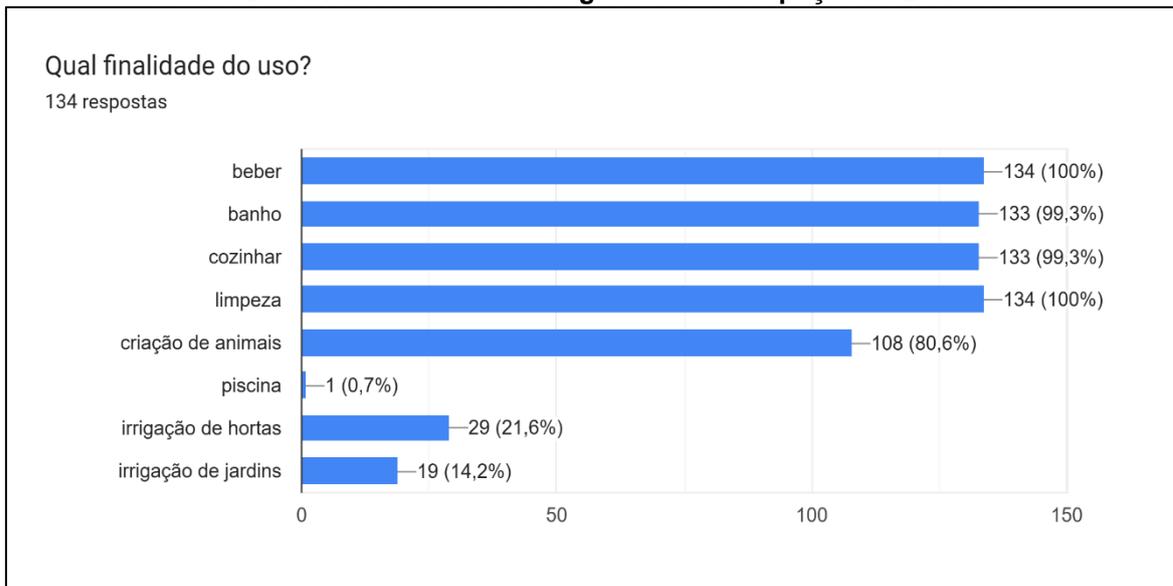
Embora seja possível listar as vantagens e desvantagens de cada método de captação de água, é fundamental considerar a realidade específica do ambiente onde será implantado, bem como os usos previstos para o recurso hídrico.

Fatores como características geológicas, disponibilidade hídrica local, vulnerabilidade à contaminação, demanda da população e exigências de qualidade para o uso final são determinantes na escolha do método mais adequado. Por exemplo, em áreas com aquíferos profundos e de difícil recarga, métodos de captação superficial podem ser mais viáveis, enquanto em regiões com alta dependência de nascentes, a proteção dessas fontes deve ser prioridade.

A avaliação integrada desses aspectos não apenas assegura a sustentabilidade da captação, como também maximiza a eficiência no uso da água, reduzindo desperdícios e garantindo a disponibilidade do recurso no longo prazo. Além disso, um planejamento criterioso minimiza os impactos ambientais, como a redução do fluxo em corpos d'água superficiais, e os socioeconômicos, como custos elevados de manutenção ou prejuízos à agricultura e à população local.

O gráfico a seguir apresenta a finalidade do uso da água oriunda dos poços profundos em Engenheiro Coelho, já que este se mostrou o meio mais utilizado no município, de forma a destacar as principais atividades beneficiadas.

Gráfico 2 – Finalidade do uso de água oriunda de poços na zona rural.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme observado, o uso doméstico da água é o mais frequente na zona rural de Engenheiro Coelho, 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 com um pouco menos de frequência utilizada para o desenvolvimento de hortas e jardins.

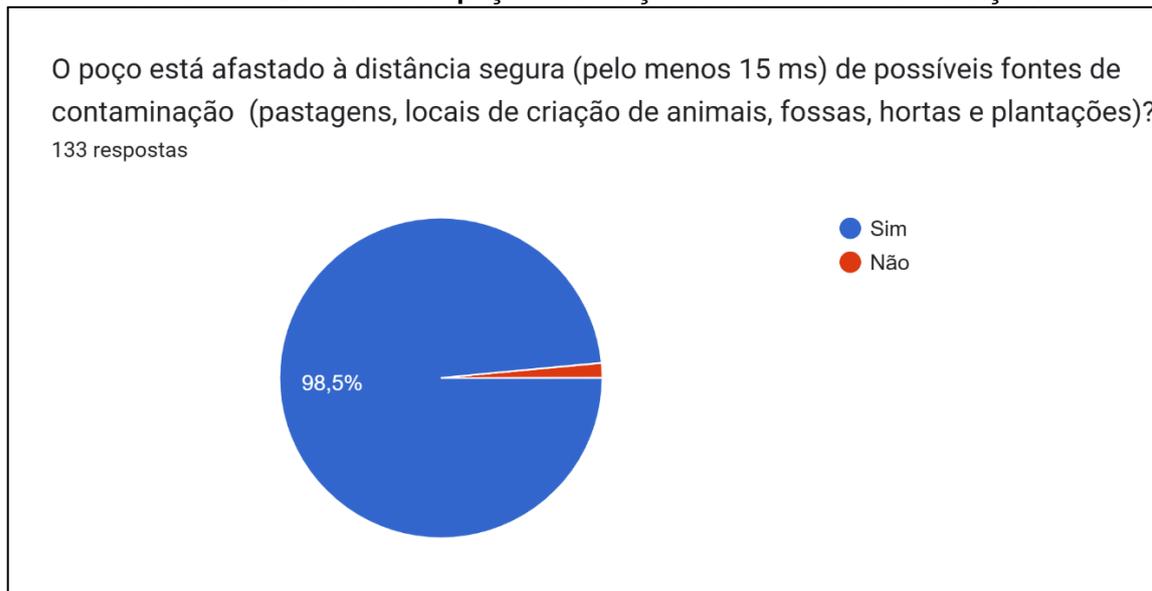
Poços rasos ou profundos

O abastecimento por poços na área rural de Engenheiro Coelho é composto majoritariamente por poços profundos, que são utilizados em sua maior parte para o consumo doméstico como banho, preparação de alimentos, limpeza e dessedentação.

É essencial garantir que esses poços estejam devidamente protegidos e sigam os parâmetros técnicos necessários para evitar contaminações superficiais e garantir a qualidade da água oriunda de aquíferos profundos. A análise da atual situação desses poços foi baseada nas informações coletadas durante os questionários aplicados em campo.

O gráfico abaixo 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.

Gráfico 3 – Distância dos poços em relação as fontes de contaminação.

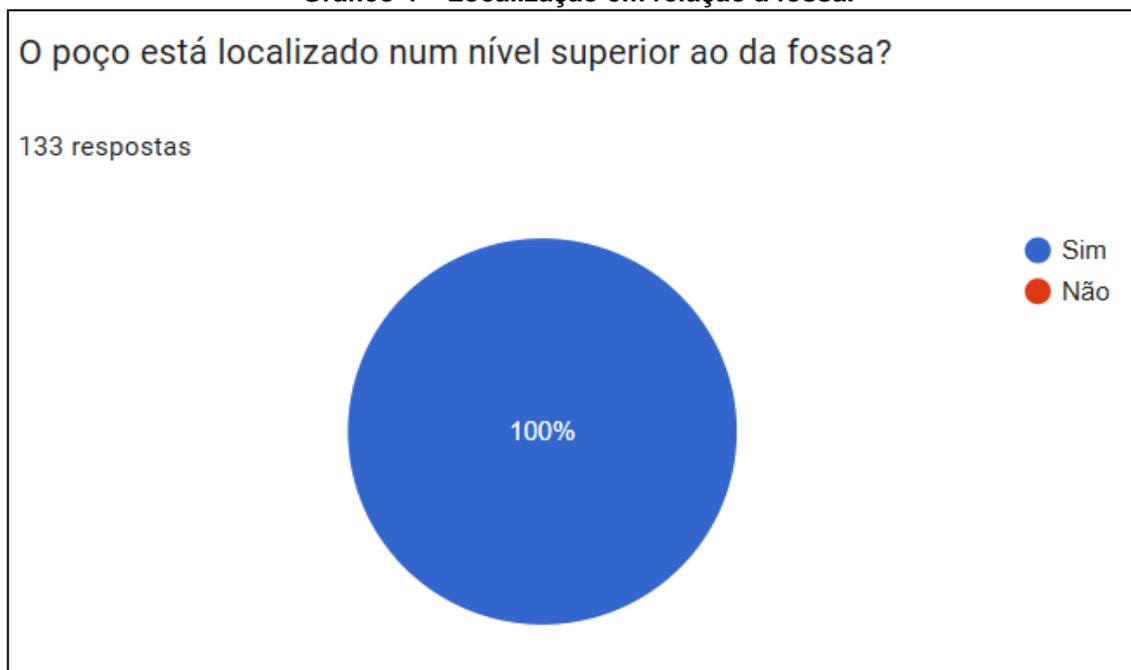


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Conforme os resultados obtidos, a maioria dos poços se encontram a uma distância mínima de 15 metros de possíveis fontes de contaminação, sendo o contrário observado apenas em dois casos, dentre as 133 propriedades que utilizam de poços para a captação de água.

Já no seguinte gráfico, é analisada a questão da localização dos poços em relação às fossas, especialmente se o poço está situado em um nível superior ao da fossa, onde foi constatado pela pesquisa de campo que todos os imóveis visitados em Engenheiro Coelho estão em conformidade. Essa configuração é importante para evitar a contaminação da água, uma vez que, se o poço estiver abaixo da fossa ou em um nível semelhante, pode haver risco de infiltração de substâncias químicas ou patógenos, comprometendo a qualidade da água e colocando em risco a saúde pública das famílias que dependem dessa fonte.

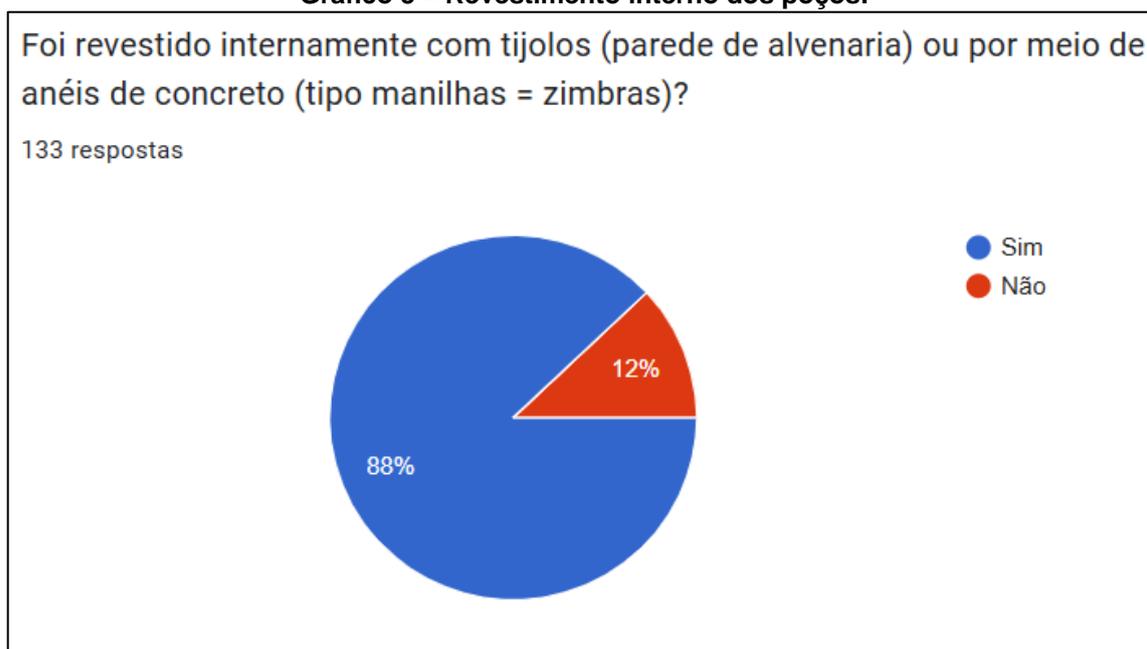
Gráfico 4 – Localização em relação a fossa.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 5 apresenta informações sobre o revestimento interno dos poços, indicando se são protegidos por tijolos ou anilhas de concreto, ou se não possuem esse tipo de revestimento. Essa diferenciação é importante, pois, o revestimento adequado protege os poços contra infiltrações de materiais indesejados e assegura a qualidade da água consumida pela população.

Gráfico 5 – Revestimento interno dos poços.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

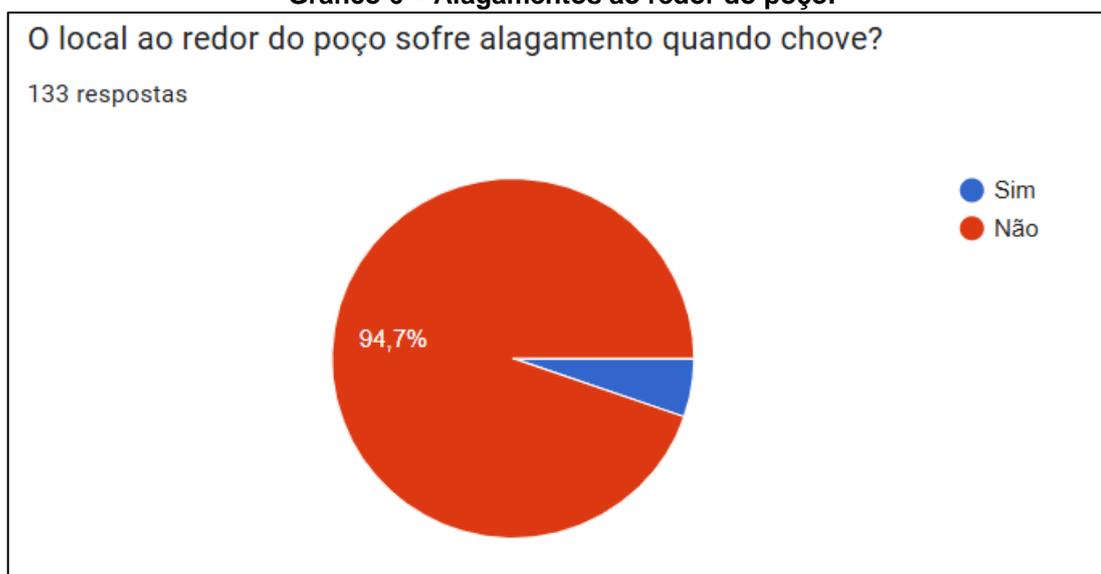
Observa-se que apenas 12%, o que representa 16 casos dentre as 133 propriedades, não possuem o revestimento interno adequado em seus poços. A recomendação para prevenir futuras contaminações é revestir e impermeabilizar os primeiros 3 metros a partir da superfície do terreno.

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 necessário ser resguardado por uma tampa, que pode ser confeccionada em concreto, madeira, fibra de vidro ou outro tipo de material. Essa configuração permite a abertura da tampa, viabilizando a inspeção quando necessária (Vasconcelos, 2014).

Ademais, é fundamental a construção de uma calçada de 1 metro ao redor da tampa do poço, com o objetivo de proteger contra a entrada de enxurrada ou infiltração pelas paredes, caso que é geralmente observado em poços rasos.

O Gráfico 6 apresenta os dados sobre o alagamento nas áreas ao redor dos poços. Essa informação é necessária, pois a presença de alagamento pode comprometer a segurança e a qualidade da água armazenada, favorecendo a contaminação.

Gráfico 6 – Alagamentos ao redor do poço.

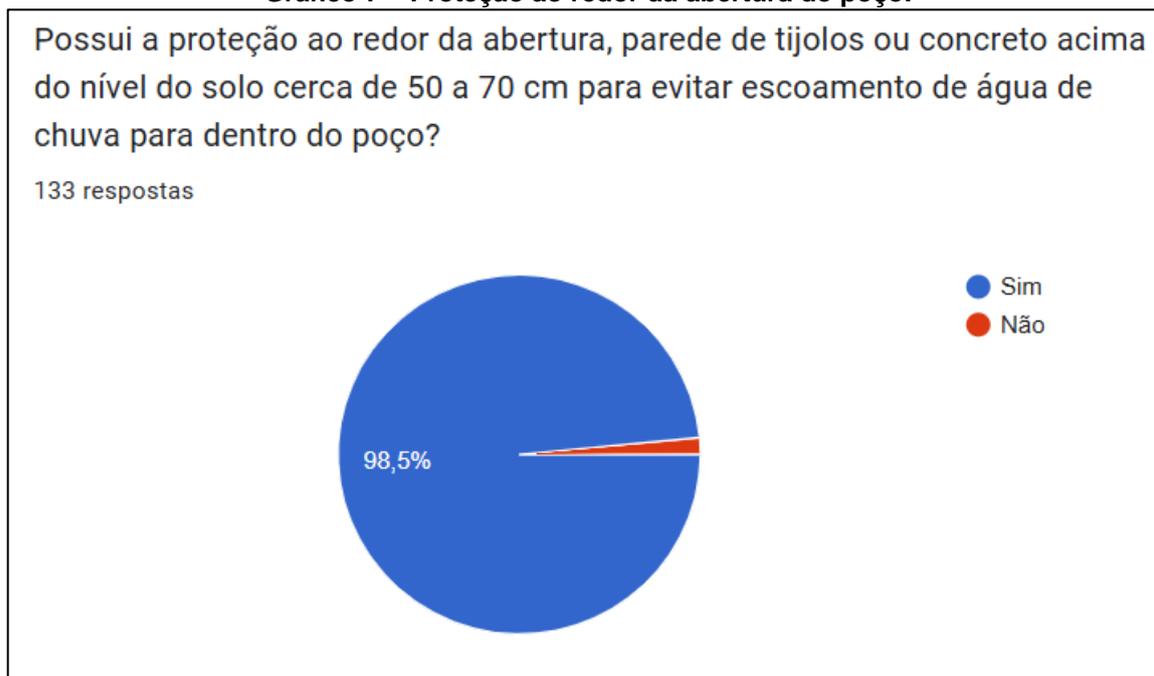


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Em relação aos alagamentos ao redor dos poços durante períodos de chuva, apenas 7 propriedades relataram esse problema de forma recorrente.

O Gráfico 7, por sua vez, fornece dados sobre a presença de proteção ao redor da abertura dos poços. A instalação de proteção adequada é fundamental para prevenir a entrada de detritos, resíduos ou animais no interior dos poços, o que pode comprometer a qualidade da água. Esse dado é essencial para avaliar a segurança das fontes de água e identificar áreas que podem precisar de melhorias na infraestrutura de proteção.

Gráfico 7 – Proteção ao redor da abertura do poço.



Conforme os dados, a grande maioria dos imóveis visitados possuem esta proteção contra o escoamento superficial, onde apenas em 2 casos foram relatados a inconformidade.

Na Figura 25 é mostrado um poço com proteção ao redor da abertura, impedindo o escoamento de águas pluviais.

Figura 25 – Exemplo de poço com altura na abertura visando impedir entrada de águas pluviais.

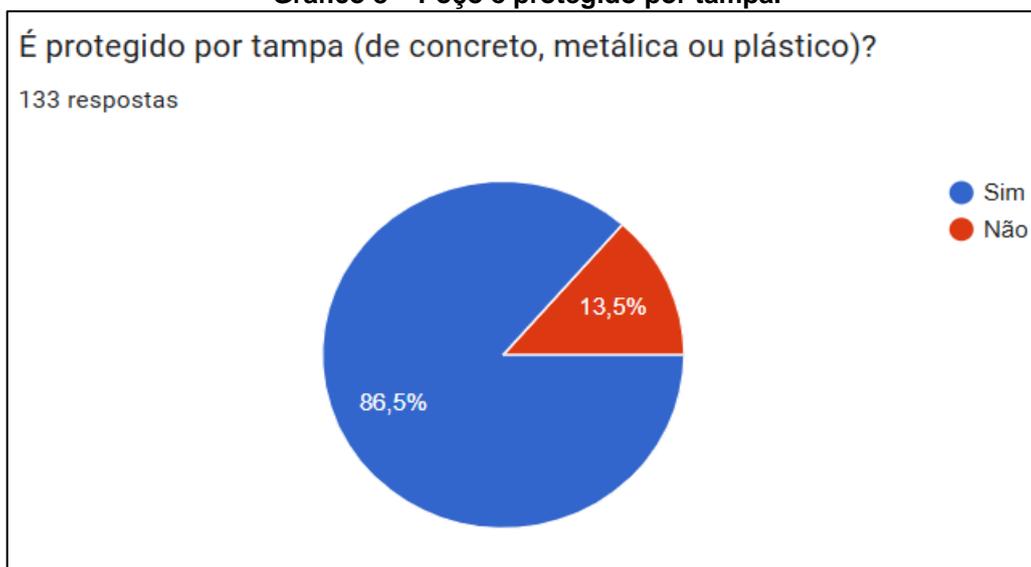


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2024.

Os gráficos a seguir, demonstram as condições das tampas dos poços nas propriedades rurais visitadas. A tampa de um poço de captação de água subterrânea é essencial para manter a qualidade da água, pois, impede a entrada de chuva, animais, detritos e outros contaminantes. Para garantir sua eficácia, a tampa deve estar completamente íntegra e vedada, sem rachaduras ou aberturas que possam permitir a infiltração de poluentes. Além disso, ela deve estar em boas condições, sem ferrugem, corrosão ou outros danos estruturais.

No Gráfico 8 , observa-se que 13,5%, o que representa 18 das 133 propriedades que afirmaram possuir poços de captação de água, não conta com essa proteção, o que destaca a importância de manter os poços adequadamente vedados para assegurar a qualidade da água consumida.

Gráfico 8 – Poço é protegido por tampa.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O Gráfico 9 apresenta informações sobre a integridade e vedação das tampas de proteção dos poços, dentre as propriedades que afirmaram possui a proteção por tampa, o que representa um total de 115 propriedades. Entre as propriedades que possuem tampas de proteção, apenas 3 relataram que as tampas não estão completamente vedadas.

A vedação inadequada das tampas pode permitir a entrada de contaminantes, como resíduos e microrganismos, comprometendo a potabilidade da água e colocando em risco a saúde das famílias que dependem dessa fonte hídrica.

Gráfico 9 – Integridade da tampa de proteção.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

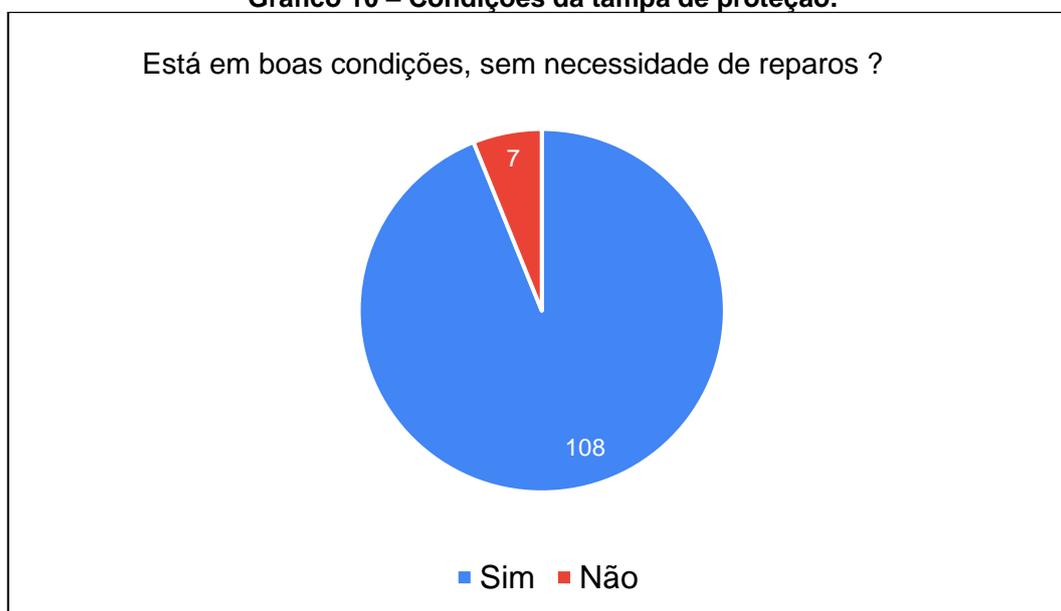
O Gráfico 10 expressa as condições das tampas de proteção dos poços de captação de água nas propriedades rurais, um elemento essencial para garantir tanto a qualidade da água quanto a segurança das pessoas. Tampas inadequadas ou ausentes podem permitir a entrada de contaminantes, sujeira, animais e outros poluentes, comprometendo a potabilidade da água e, conseqüentemente, colocando em risco a saúde dos usuários.

Conforme os resultados obtidos nos questionários aplicados, 7 das 115 propriedades rurais que possuem poços apresentaram tampas de proteção em condições inadequadas. Embora esse número represente uma pequena parcela, ele evidencia a necessidade de ações preventivas e corretivas para evitar riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

A adequação das tampas de proteção nos poços é essencial não apenas para impedir a contaminação, mas também para preservar a integridade estrutural das fontes e evitar acidentes. Medidas como inspeções regulares, campanhas de conscientização e orientações técnicas podem contribuir significativamente para que todos os poços estejam devidamente protegidos contra potenciais riscos.

Esses dados ressaltam a importância de políticas públicas e investimentos voltados à infraestrutura hídrica rural, assegurando que as propriedades tenham acesso a água de qualidade de forma sustentável e segura. Além disso, reforçam o papel fundamental da educação ambiental e da assistência técnica no fortalecimento da gestão hídrica em áreas rurais.

Gráfico 10 – Condições da tampa de proteção.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

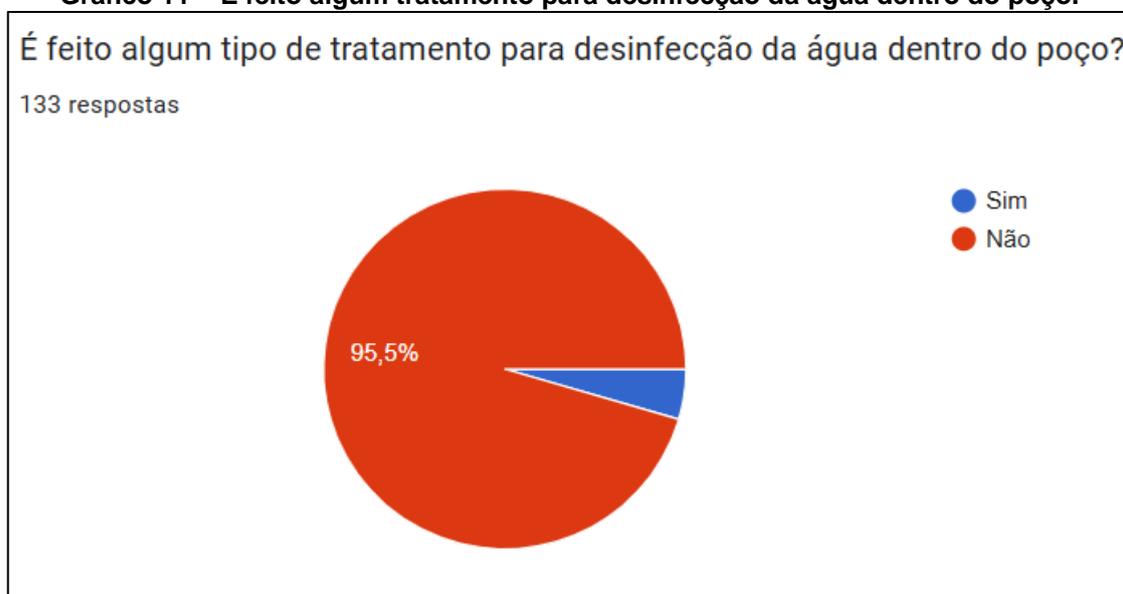
O Gráfico 11 revela que a maioria das residências não realiza o tratamento da água para desinfecção diretamente no poço, utilizando métodos como cal hidratado ou cloro. De acordo com os questionários aplicados, 127 propriedades relataram que não realizam nenhum tipo de tratamento, enquanto apenas 6 propriedades afirmaram adotar práticas de desinfecção da água, geralmente com a utilização de cal ou cloro.

A desinfecção é uma medida essencial para eliminar microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, que podem representar sérios riscos à saúde humana. Métodos como a aplicação de cloro ou cal hidratado se

mostram altamente eficazes na eliminação desses contaminantes, garantindo que a água seja segura para o consumo humano e contribuindo para a prevenção de doenças de veiculação hídrica, como diarreias e infecções gastrointestinais.

A ausência de tratamento em algumas propriedades destaca a necessidade de conscientização e de acesso a recursos técnicos e financeiros para a implementação de práticas de desinfecção. Promover a educação ambiental e oferecer suporte técnico às famílias rurais são estratégias fundamentais para ampliar a adesão a essas práticas, garantindo o acesso universal a água de qualidade e protegendo a saúde das comunidades rurais.

Gráfico 11 – É feito algum tratamento para desinfecção da água dentro do poço.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Nascente ou mina

As nascentes e minas representam fontes de água de grande importância para algumas propriedades rurais em Engenheiro Coelho, ainda que sua utilização seja menos frequente em comparação aos poços. A água proveniente dessas fontes costuma apresentar qualidade superior, devido à filtragem natural realizada pelo solo e pelas formações geológicas. No entanto, essa vantagem pode ser comprometida pela maior exposição a fatores externos, o que a torna mais vulnerável à contaminação.

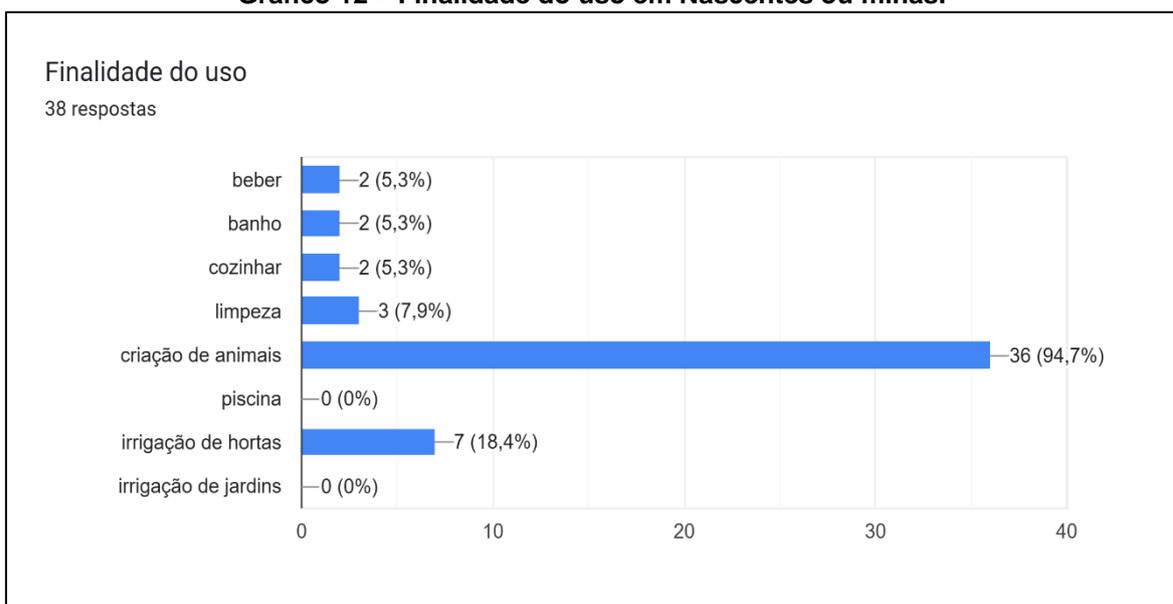
Essa filtragem natural, embora eficiente, é influenciada por diversos fatores, como o tipo de terreno, a proximidade com áreas urbanas, as práticas agrícolas

adotadas e a presença de fauna nas áreas de captação. Contaminações podem ocorrer devido a agentes como fezes de animais, resíduos químicos provenientes de pesticidas ou fertilizantes, e até mesmo por intervenções humanas inadequadas. Esses fatores podem comprometer a qualidade da água, tornando-a inadequada para o consumo humano e para outros usos.

Diante desse cenário, a gestão adequada das nascentes e minas é indispensável para preservar sua qualidade e assegurar sua disponibilidade. Práticas como a proteção das áreas de entorno, a manutenção de vegetação ciliar e o controle de atividades potencialmente poluidoras são fundamentais para mitigar riscos de contaminação.

No gráfico a seguir são apresentados os principais usos das águas oriundas de nascentes ou minas, sendo majoritariamente utilizadas para a dessedentação de animais, conforme mencionado.

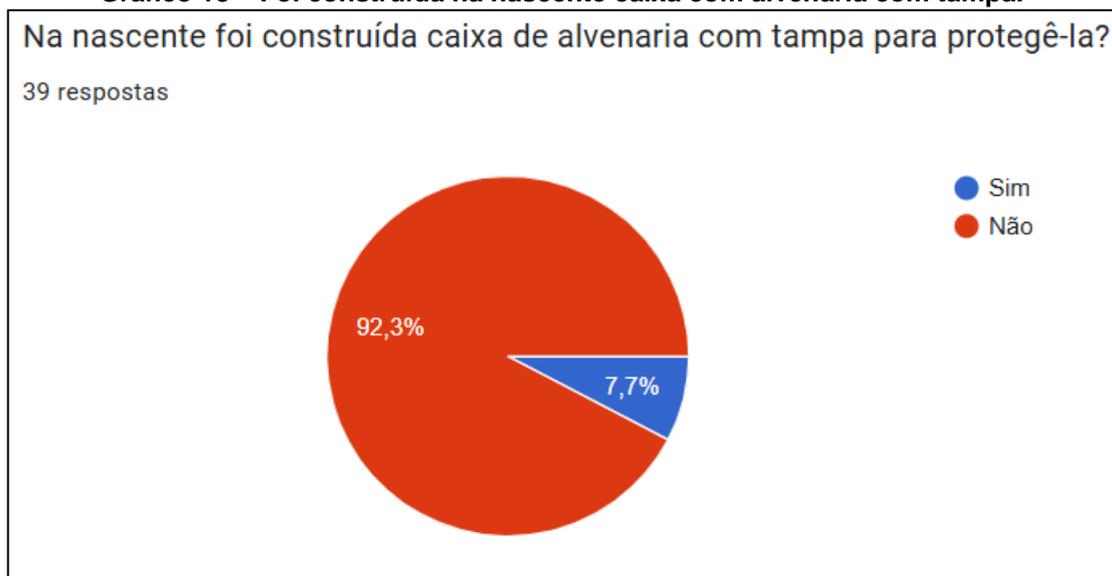
Gráfico 12 – Finalidade do uso em Nascentes ou minas.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Nos parágrafos seguintes, serão apresentados os resultados das condições atuais das propriedades que utilizam essas fontes de água. Esses dados fornecem uma visão detalhada sobre as práticas de captação, as estratégias de manutenção adotadas e os potenciais riscos associados, contribuindo para a formulação de estratégias mais eficazes de proteção e manejo dessas importantes fontes hídricas.

Gráfico 13 – Foi construída na nascente caixa com alvenaria com tampa.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

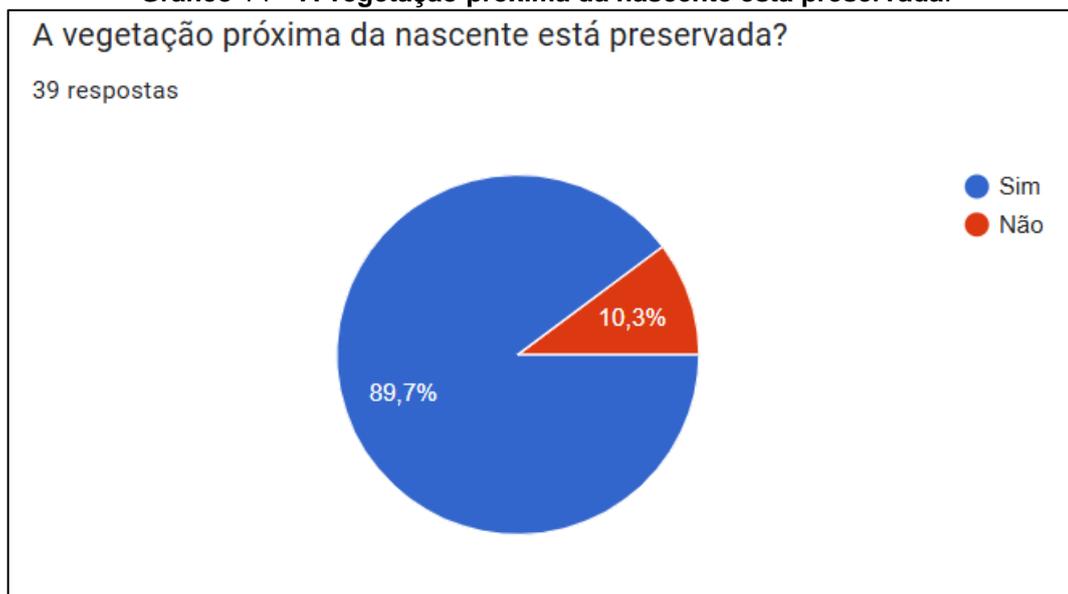
De acordo com o Gráfico 13, apenas 3 das 39 propriedades que utilizam nascentes como fonte de abastecimento relataram ter construído uma caixa de alvenaria com tampa para a captação de água. As demais 36 propriedades não adotaram essa medida, o que representa um potencial risco à qualidade da água devido à falta de proteção adequada contra contaminantes.

A construção de caixas de alvenaria com tampas é uma prática simples, mas altamente eficaz, para proteger a água de contaminações. Essas estruturas evitam a entrada de detritos, animais, folhas e outros poluentes, além de proporcionar maior controle sobre a quantidade e a qualidade da água captada, tornando-se um investimento estratégico para a saúde e o bem-estar das comunidades rurais.

Em relação à preservação da vegetação no entorno das nascentes, os dados apresentados no Gráfico 14 indicam que 35 das 39 propriedades mantêm a vegetação preservada, enquanto apenas 4 propriedades foram relatadas a vegetação sem preservação.

A conservação da cobertura vegetal ao redor das nascentes é essencial, pois ela atua como uma barreira natural contra o assoreamento, contribui para a filtragem de poluentes e protege a qualidade da água. Além disso, essa vegetação é fundamental para a manutenção da biodiversidade local, criando habitats e promovendo a estabilidade ecológica da área.

Gráfico 14 – A vegetação próxima da nascente está preservada.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Os dados indicam que, embora a maioria das propriedades adote boas práticas de manejo, como a preservação da vegetação ao redor das nascentes, ainda há deficiências pontuais na proteção das fontes de água, como a falta de caixas de alvenaria com tampa. Outro ponto questionado durante as pesquisas de campo era da ocorrência de alagamentos ao redor da mina em períodos chuvosos, onde 12 propriedades afirmaram ter esses problemas de forma recorrente.

Quando há alagamento ao redor da mina, a água da chuva pode carregar consigo sedimentos, matéria orgânica, agrotóxicos, fezes de animais, fertilizantes ou outros poluentes superficiais, que podem infiltrar e contaminar a água da nascente, afetando diretamente sua qualidade.

Represas ou riachos

A captação de água em represas ou riachos é uma prática comum em áreas rurais, geralmente feita por meio de bombas de sucção ou gravidade, direcionando a água até reservatórios ou diretamente para os pontos de uso, como bebedouros, sistemas de irrigação ou tanques de armazenagem. Esses sistemas variam de acordo com a topografia do terreno e a disponibilidade hídrica local.

No município de Engenheiro Coelho, conforme apresentado no Gráfico 1, 63 propriedades rurais declararam utilizar corpos hídricos superficiais, como represas e riachos, como forma de captação de água para fins diversos. A seguir são citados



os mais recorrentes nomes de corpos hídricos citados na pesquisa, vale ressaltar que em muitas ocasiões o entrevistado não sabia dizer o nome do córrego ou riacho.

- Riacho Robalo
- Ribeirão Guaiquica
- Ribeirão Taperão
- Córrego dos Correias
- Cursos de menor vazão, utilizados localmente.

Armazenamento

O armazenamento de água para sistemas individuais de captação é uma prática essencial para garantir o fornecimento contínuo de água, especialmente em períodos de escassez. Ele envolve a coleta e reserva de água para diversos usos, como consumo humano, abastecimento de animais ou irrigação. Além de assegurar a disponibilidade de água, o armazenamento adequado também contribui para a gestão eficiente dos recursos hídricos em áreas rurais.

Em relação as repostas obtidas durante a aplicação dos questionários, todas as propriedades visitadas em Engenheiro Coelho fazem o armazenamento da água, utilizando como dispositivo principal as caixas d'água, onde as mesmas são elevadas e ligadas a encanamentos e torneiras.

Embora as caixas d'água desempenhem um papel fundamental na reserva de água, elas também podem se tornar pontos de risco para a contaminação. A falta de proteção adequada ou a ausência de manutenção regular, como limpezas periódicas, pode comprometer a qualidade da água, expondo os moradores a doenças transmitidas por microrganismos patogênicos. Portanto, é essencial garantir que as caixas d'água sejam instaladas corretamente, com tampas bem vedadas, e que a manutenção preventiva seja realizada regularmente para assegurar a potabilidade da água armazenada.

A figura a seguir apresenta tal dispositivo em conformidade.

Figura 26 – Exemplo de reservatório elevado e ligado a encanamentos.

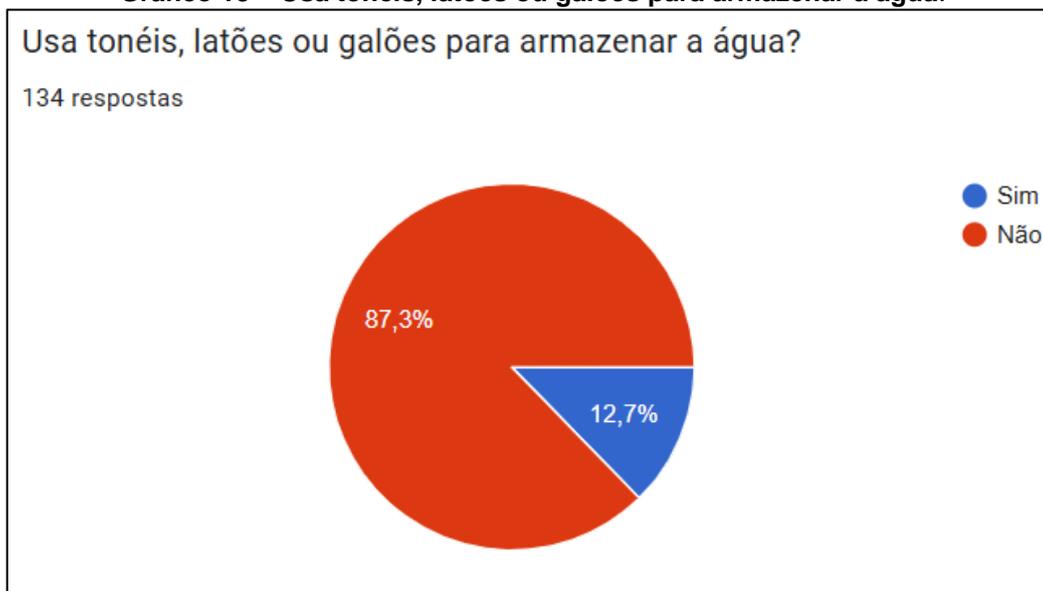


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com os dados apresentados no Gráfico 15, 117 das 134 propriedades não utilizam tonéis, latões ou galões para o armazenamento de água, evidenciando que a maioria adota formas mais seguras de armazenamento. Apenas 17 propriedades fazem uso desses recipientes.

Tonéis, latões e galões, quando mal manuseados ou mal mantidos, podem se tornar fontes significativas de contaminação, comprometendo a qualidade da água armazenada. Isso coloca em risco a saúde dos moradores, pois a água pode ser contaminada por resíduos, insetos ou outros contaminantes externos. Assim, é fundamental que as propriedades que utilizam esses recipientes adotem práticas rigorosas de limpeza e manutenção periódicas para garantir que a água armazenada permaneça segura para o consumo.

Gráfico 15 – Usa tonéis, latões ou galões para armazenar a água.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



1.1.4.2. 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, entre 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).

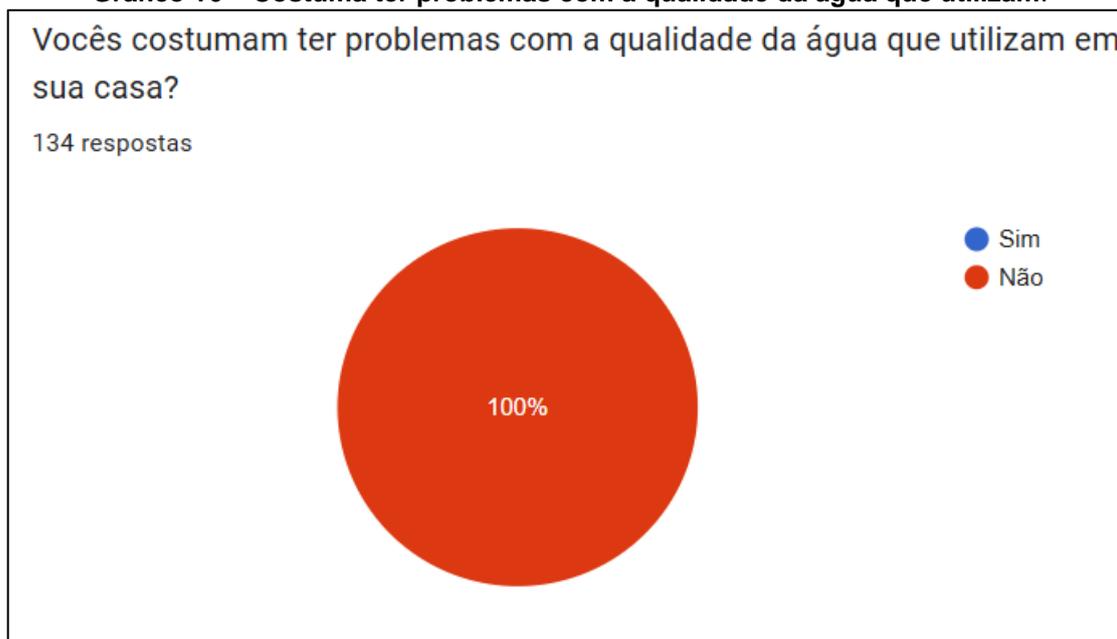
No Brasil, a lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determina que as áreas rurais devem ter acesso à água potável tratada.

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.

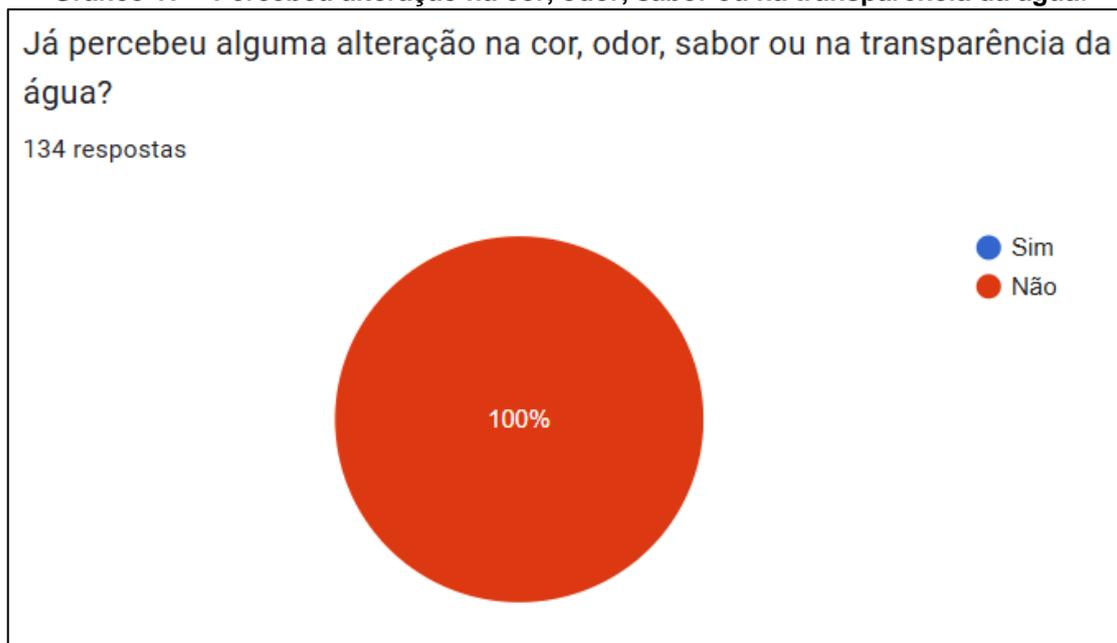
A seguir, será apresentado o panorama da atual situação do tratamento e qualidade da água dos sistemas existentes em propriedades rurais do município de Engenheiro Coelho.

Gráfico 16 – Costuma ter problemas com a qualidade da água que utilizam.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 17 – Percebeu alteração na cor, odor, sabor ou na transparência da água.



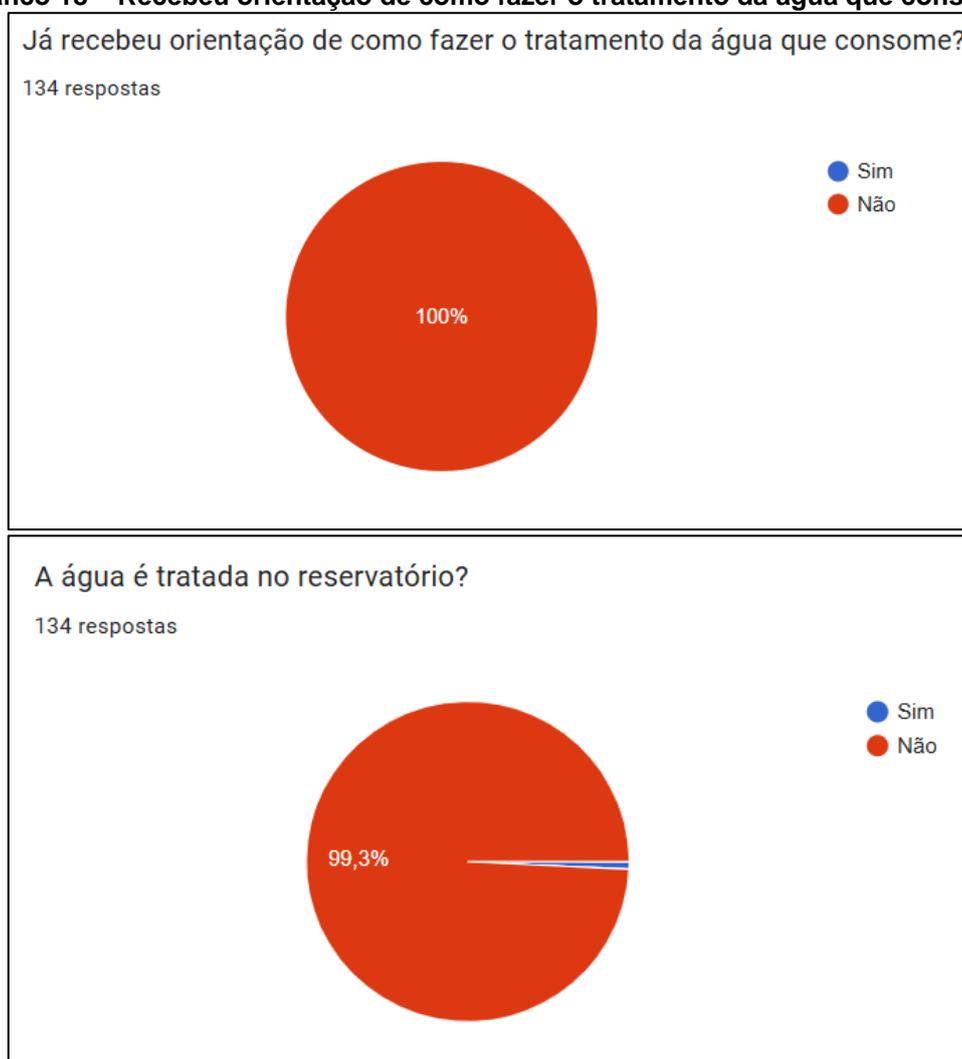
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com os dados apresentados no Gráfico 16 e 21, 100% das propriedades entrevistadas não relataram problemas com a qualidade da água utilizada ou perceberam alterações que indicam alguma fonte de contaminação.

Conforme demonstrado nos gráficos apresentados a seguir, verificou-se que 100% dos entrevistados afirmaram nunca ter recebido qualquer tipo de orientação técnica sobre o tratamento da água consumida em suas propriedades. Além disso, foi identificado que apenas uma propriedade realiza algum tipo de tratamento da água no reservatório, seja por meio da cloração ou pelo fervimento da água antes do consumo.

Outro dado relevante é que nenhuma das propriedades entrevistadas realizou análise da qualidade da água consumida, o que representa um fator de risco à saúde, especialmente considerando a predominância do uso de poços e fontes naturais sem controle de potabilidade.

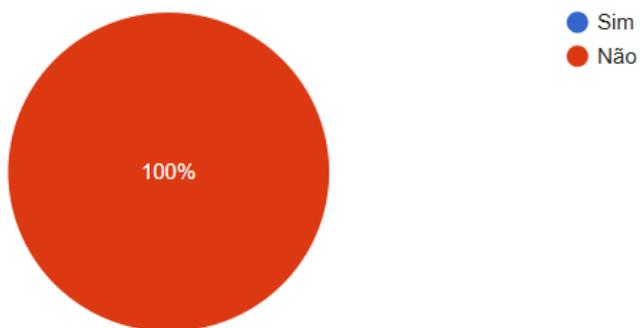
Gráfico 18 – Recebeu orientação de como fazer o tratamento da água que consome.





Já foi realizada análise da água?

134 respostas



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



1.1.5. Análise Crítica do Sistema de Abastecimento de Água

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

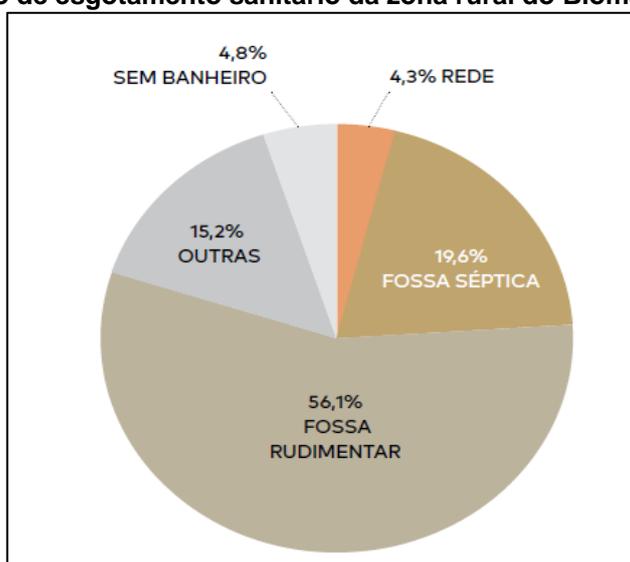
- Propriedades rurais que captam água de nascentes sem caixa com alvenaria ou tampa;
- Poços com necessidade de reparos;
- Falta de orientação do Poder Público em relação ao tratamento da água que consome;

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

1.2. Sistema de Esgotamento Sanitário

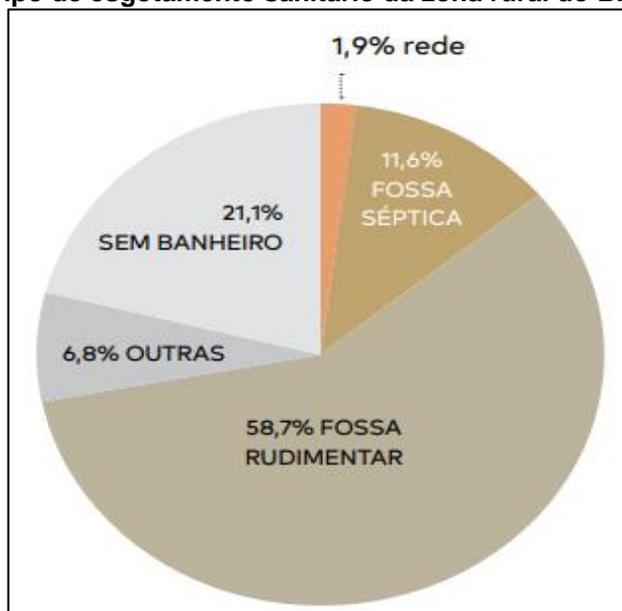
De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), os biomas Mata Atlântica e Cerrado, presentes território de Engenheiro Coelho, destacam-se pelo predomínio das fossas rudimentares como principal solução para o esgotamento sanitário no meio rural. Essa prática abrange cerca de 58,7% dos domicílios rurais situados nesses biomas. As figuras abaixo ilustram essas informações de forma detalhada.

Figura 27 - Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Mata Atlântica.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

Figura 28 - Tipo de esgotamento sanitário da zona rural do Bioma Cerrado.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.



O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) nas macrozonas rurais e no perímetro rural do município de Engenheiro Coelho é composto majoritariamente por sistemas individuais implementados nas propriedades. Esses sistemas, também denominados descentralizados, são recomendados para atender residências unifamiliares ou pequenos grupos, especialmente em áreas com baixa densidade populacional e lençol freático adequado (Silva, 2017), devido à sua capacidade de disposição final do efluente tratado por meio da infiltração no solo.

A ausência de tratamento do esgoto sanitário e o despejo direto em mananciais comprometem gravemente a qualidade da água, reforçando a importância de tratá-lo e destiná-lo de forma adequada (Costa e Guilhoto, 2014). No entanto, em algumas localidades, a implementação de soluções eficientes é dificultada por fatores como o afastamento das estações de tratamento, as características geográficas ou a insuficiência de infraestrutura.

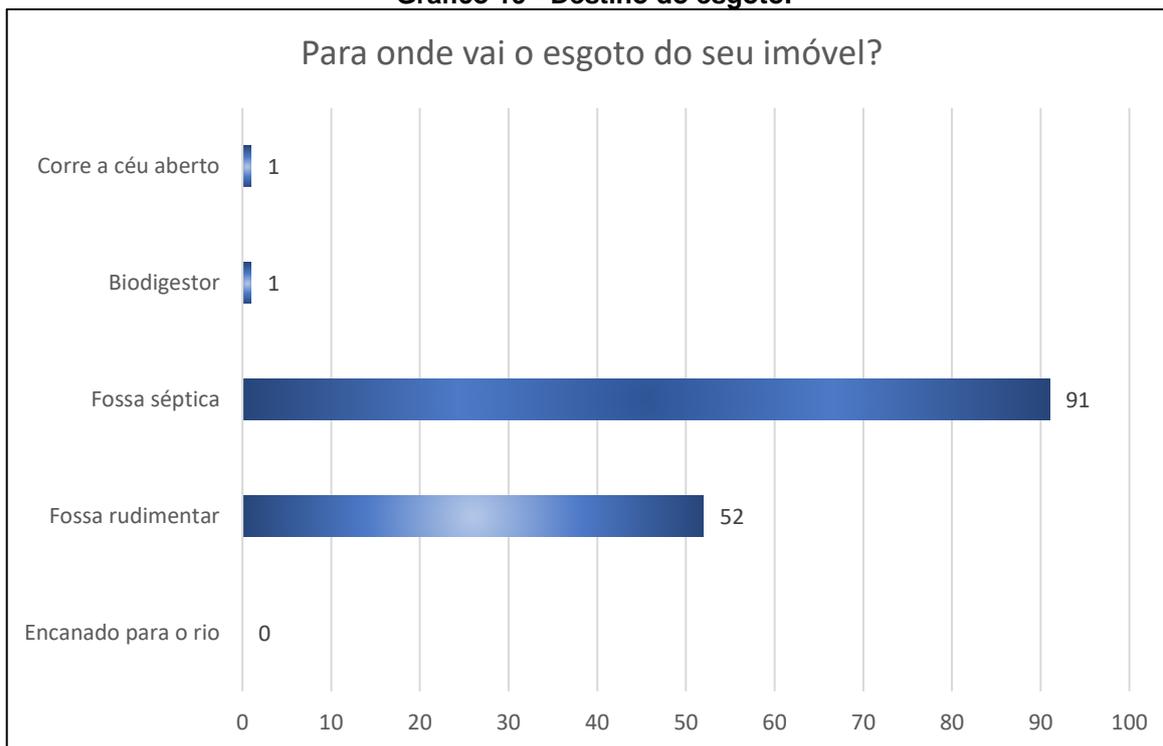
Nesse cenário, a descentralização do tratamento de esgoto doméstico, com a implantação de sistemas individuais, como fossas sépticas, filtros e sumidouros, torna-se uma alternativa viável e eficiente (Costa e Guilhoto, 2014). Quando projetados e operados corretamente, esses sistemas atendem comunidades isoladas com eficácia, contribuindo para a redução de impactos ambientais (Gazal, 2022).

Os sistemas individuais de esgotamento sanitário estão entre as soluções mais simples e eficientes para o tratamento de esgoto doméstico, sendo regulamentados pelas normas NBR 7.229 e NBR 13.969. Eles são indicados para residências ou instalações situadas em áreas não atendidas por rede coletora.

Na zona rural de Engenheiro Coelho, o tratamento de esgoto é predominantemente realizado por meio de sistemas individuais, sendo as fossas sépticas e as fossas rudimentares as tecnologias mais comuns, com 91 e 52 registros, respectivamente, conforme os dados obtidos nos questionários aplicados.

Não foram identificadas situações de lançamento direto de esgoto em corpos hídricos. Apenas uma ocorrência de escoamento a céu aberto foi registrada, porém a área afetada encontrava-se distante de Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou de qualquer recurso hídrico, não configurando risco ambiental imediato.

Gráfico 19 - Destino do esgoto.

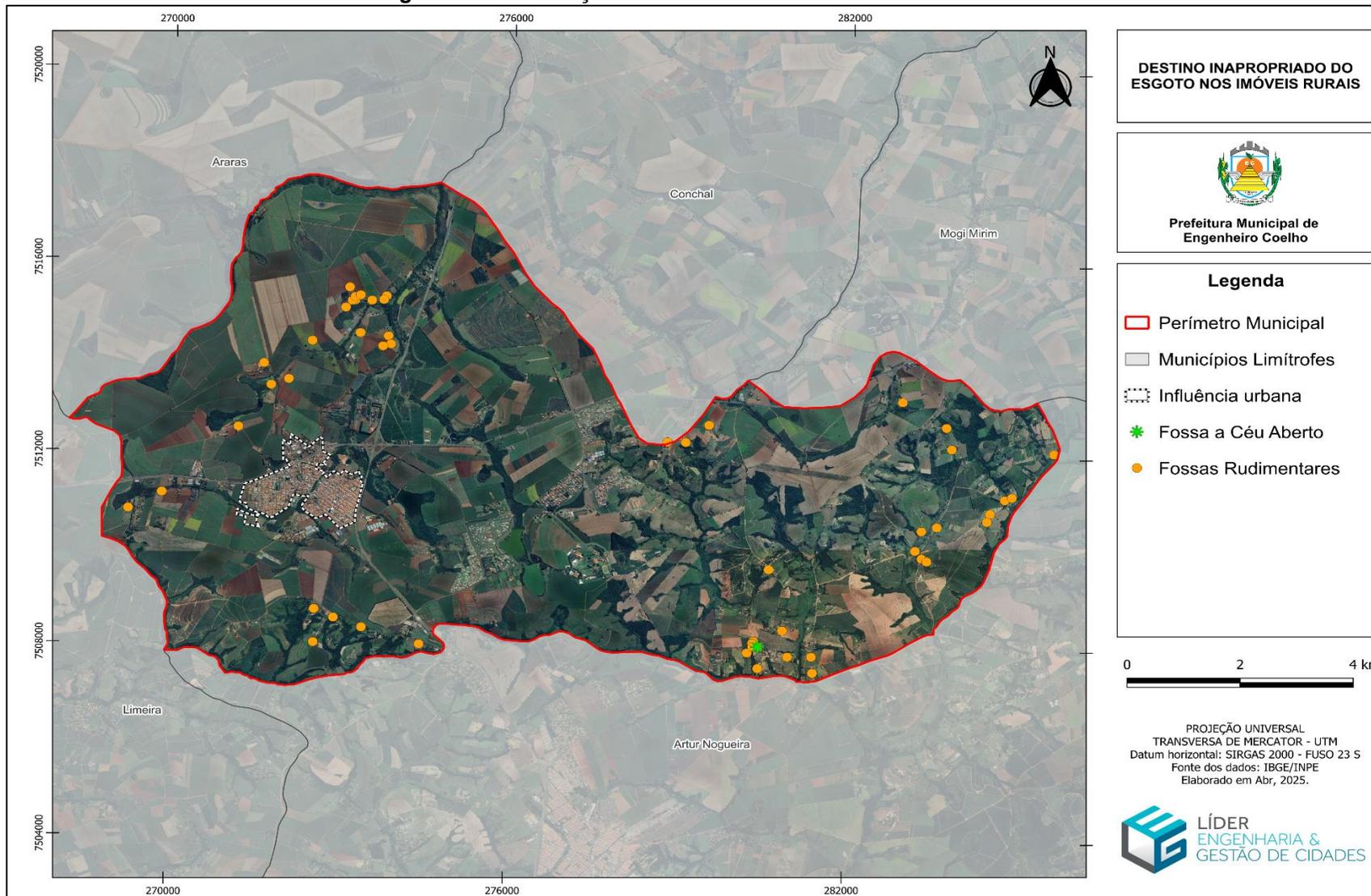


Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

De acordo com as informações apresentadas no gráfico, foi elaborado um mapa que identifica a localização das propriedades cujos moradores relataram a utilização de fossas rudimentares, além de uma fossa a céu aberto identificada. Esse mapa tem como objetivo principal permitir a visualização das áreas mais críticas em relação ao tratamento de esgoto na zona rural, possibilitando uma análise mais detalhada e precisa sobre a distribuição dessas infraestruturas inadequadas.

É importante destacar que esse tipo de destinação para o esgoto doméstico, por não contar com tratamento ou sistemas de impermeabilização adequados, apresentando riscos significativos. Entre os principais impactos estão a contaminação do solo e dos recursos hídricos, a emissão de gases poluentes e a geração de mau cheiro, que afetam diretamente a qualidade ambiental e a saúde das comunidades. De acordo com o apresentado no gráfico, cerca de 38,8% dos entrevistados utilizam das fossas rudimentares como destinação do esgoto em seus imóveis.

Figura 29 - Localização das fossas rudimentares identificadas.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 30 - Fossa a céu aberto identificada.
(Coordenada: Latitude: 22° 31' 11.95''S – Longitude: 47° 8' 4.38''O)



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O gráfico a seguir apresenta a proporção de propriedades que utilizam fossas e realizam sua limpeza de forma periódica, evidenciando um número expressivo de casos em que essa prática não é adotada. A limpeza periódica das fossas é essencial para evitar o transbordamento e o acúmulo excessivo de efluentes nos sistemas.

Conforme os dados levantados, apenas 2 das 134 propriedades indicaram realizar a manutenção periódica das fossas, uma prática indispensável para prevenir problemas associados ao acúmulo de resíduos sólidos e líquidos. A falta dessa manutenção pode causar transbordamentos, contaminação do solo e dos lençóis freáticos, além de gerar mau cheiro e riscos significativos à saúde pública.

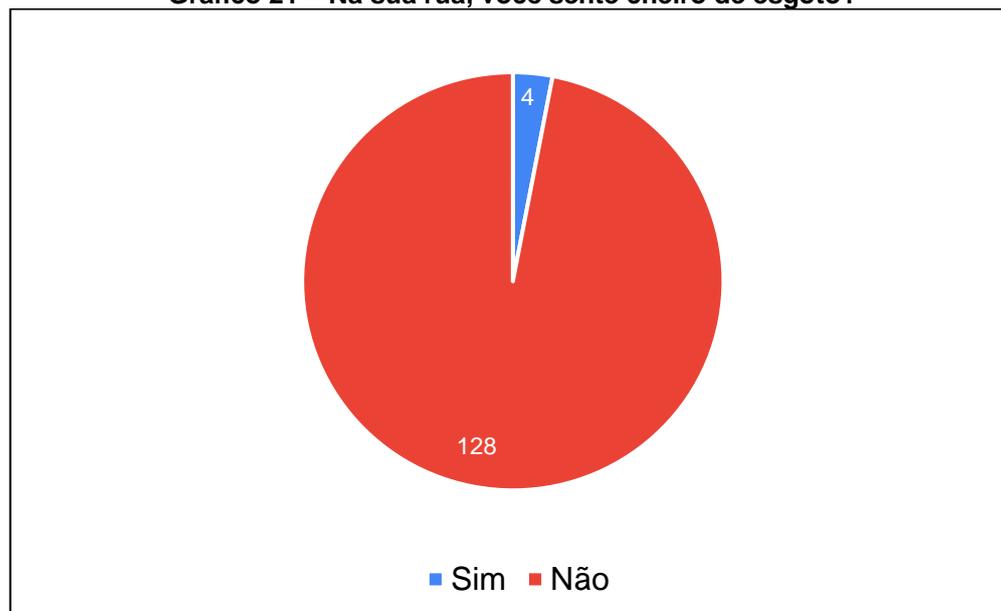
Gráfico 20 - A limpeza da fossa é feita periodicamente?



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Já no gráfico abaixo, é revelado que, apesar da ausência de limpeza periódica das fossas, apenas em 4 imóveis, dentre os 134, afirmaram sentir cheiro de esgoto em sua rua. Esse dado sugere que, embora a maioria das fossas presentes no local não causem esse incômodo, o problema pode estar associado a fossas mal projetadas, construídas de forma inadequada, mal mantidas ou a vazamentos em tanques de armazenamento de resíduos.

Gráfico 21 – Na sua rua, você sente cheiro de esgoto?



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



Em Engenheiro Coelho, a ausência de um programa estruturado de acompanhamento e fiscalização dos sistemas individuais de esgotamento sanitário agrava os riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais. Essa lacuna reforça a necessidade de políticas públicas que garantam a adequação e a manutenção desses sistemas, minimizando impactos ambientais e riscos à saúde pública.

1.2.1. Características Gerais dos Sistemas Individuais de Esgotamento Sanitário

1.2.1.1. Fossa Rudimentar

As fossas rudimentares são dispositivos utilizados para a disposição do esgoto no solo, permitindo a infiltração do líquido sem a separação da parte sólida. Revestidas ou não, essas estruturas recebem esgoto proveniente de pias, vasos sanitários, chuveiros, tanques e outros, sendo empregadas em áreas onde não há rede de coleta de esgoto ou onde é insuficiente para atender à demanda (Silveira *et al.*, 2023).

Construídas a partir de um buraco no solo, as dimensões das fossas rudimentares variam conforme o número de pessoas que as utilizam. Idealmente, o fundo deve ser impermeabilizado com concreto ou argamassa para evitar que os resíduos líquidos se infiltrem diretamente no lençol freático (Silveira *et al.*, 2023).

A impermeabilização do fundo de uma fossa rudimentar pode melhorar significativamente sua segurança e eficácia, ao impedir a infiltração de efluentes no solo e minimizar os riscos de contaminação do lençol freático e de corpos d'água próximos. Entretanto, mesmo com essas melhorias, as fossas rudimentares não constituem uma solução adequada para o tratamento do esgoto. Elas oferecem uma opção temporária e econômica, mas não proporcionam um tratamento completo, representando riscos ambientais e à saúde humana a longo prazo (Silveira *et al.*, 2023).

O esgoto acumulado na fossa rudimentar passa por um processo de depuração natural, realizado por bactérias e outros microrganismos presentes no solo. Esses organismos degradam a matéria orgânica, convertendo-a em compostos inorgânicos que podem ser absorvidos pelo solo.

Como destacado anteriormente, as fossas rudimentares são uma das principais formas de destinação do esgotamento sanitário na zona rural de Engenheiro Coelho, sendo utilizadas por 52 das 134 propriedades entrevistadas, mesmo que essa prática não seja considerada ambientalmente adequada.

A figura a seguir apresenta um exemplo esquemático de fossa rudimentar.

Figura 31 – Modelo esquemático de uma fossa rudimentar.

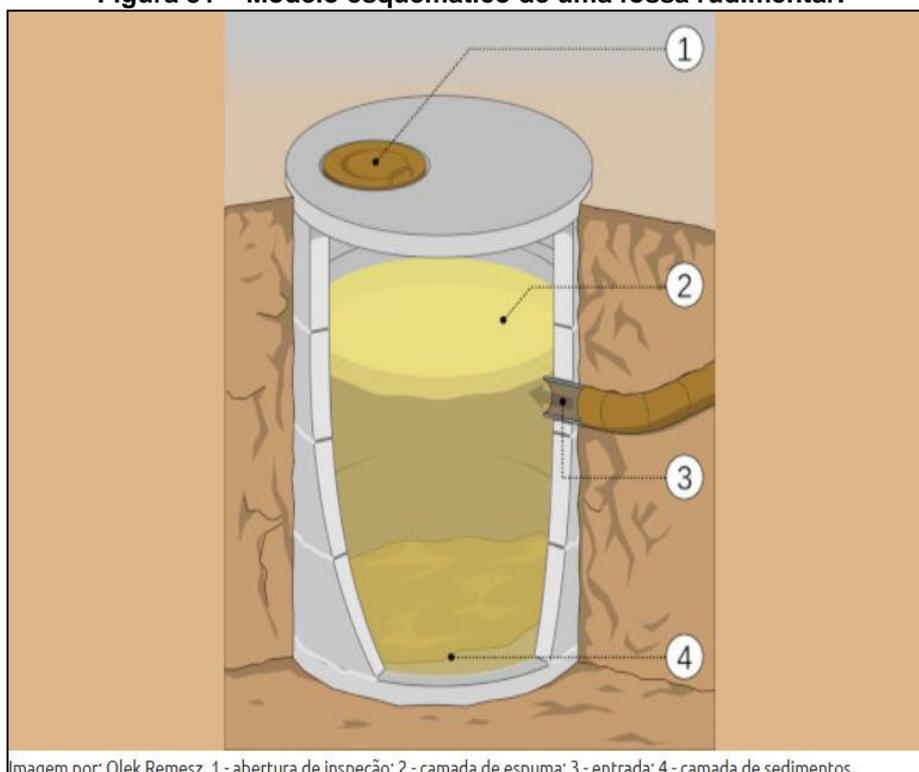


Imagem por: Olek Remesz. 1 - abertura de inspeção; 2 - camada de espuma; 3 - entrada; 4 - camada de sedimentos.

Fonte: Olek Remesz, 2024.

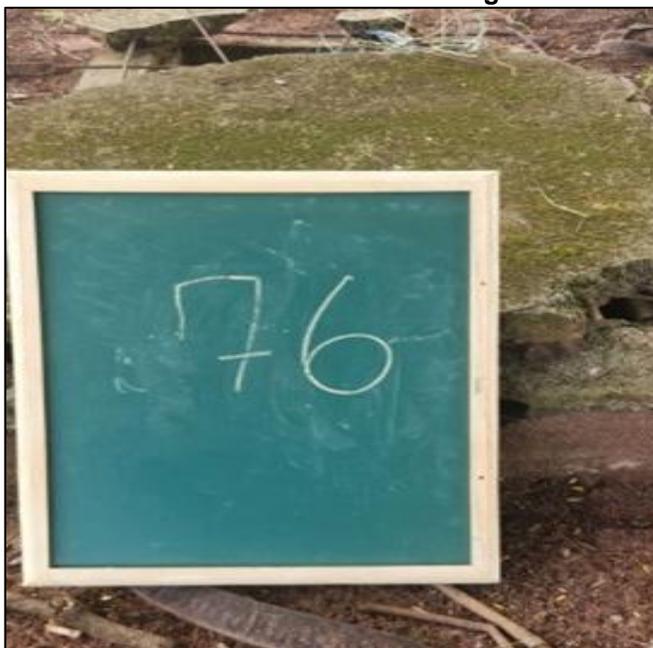
Já nas figuras a seguir são mostrados alguns dos exemplares de fossas rudimentares registradas durante a aplicação da pesquisa de campo em Engenheiro Coelho, contendo as coordenadas geográficas das localidades.

Figura 32 - Fossa rudimentar em Engenheiro Coelho – Grupo 04.
(Coordenada: Latitude: 22°29'37.17"S – Longitude: 47°14'34.04"O)



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 33 - Fossa rudimentar com tampa quebrada em Engenheiro Coelho – Grupo 07.
(Coordenada: Latitude: 22°28'44.10"S – Longitude: 47° 6'6.98"O)



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

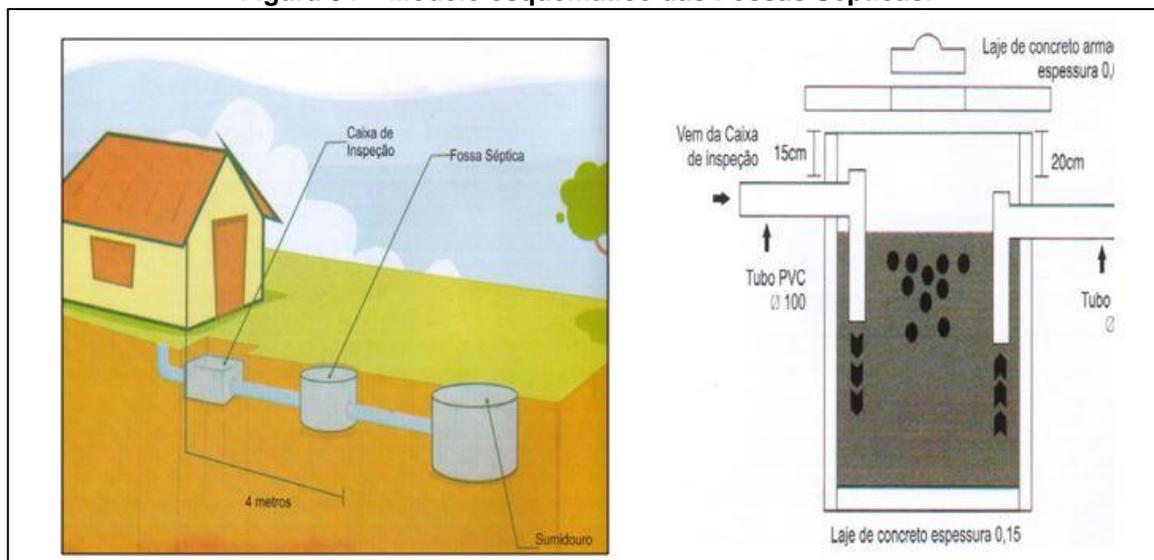
1.2.1.2. Fossa Séptica

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 34 – Modelo esquemático das Fossas Sépticas.



Fonte: Imagem de divulgação.

Nas imagens a seguir são apresentados registros de fossas sépticas obtidas durante a aplicação dos questionários em Engenheiro Coelho.

Figura 35 - Fossa séptica em Engenheiro Coelho – Grupo 10.
(Coordenada: Latitude: 22°31'18.30"S – Longitude: 47° 7'49.23"O)



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 36 - Fossa séptica em Engenheiro Coelho – Grupo 05.
(Coordenada: Latitude: 22°28'44.43"S – Longitude: 47° 9'18.67"O)



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

**Figura 37 - Fossa séptica bem vedada em Engenheiro Coelho – Grupo 07.
(Coordenada: Latitude: 22°29'24.61"S – Longitude: 47° 6'8.12"O)**



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.2.1.3. Biodigestor

Os biodigestores representam uma solução alternativa e eficiente para o tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais, sendo especialmente indicados para locais onde não há acesso à rede pública de coleta e tratamento. Essa tecnologia baseia-se no processo de biodigestão anaeróbia, que consiste na decomposição da matéria orgânica por meio da ação de bactérias anaeróbicas, ou seja, que atuam na ausência de oxigênio (Barbosa e Langer, 2011). Durante esse processo, são gerados dois subprodutos principais: o biogás, composto majoritariamente por metano e dióxido de carbono, e o biofertilizante, um efluente estabilizado que pode ser utilizado na agricultura.

O biogás produzido pode ser aproveitado como fonte energética para cocção de alimentos, aquecimento de água ou mesmo para geração de energia elétrica, o que representa uma vantagem importante em propriedades rurais com limitação de acesso à energia convencional (Deganutti et al., 2002). Já o biofertilizante, rico em nutrientes, contribui para a fertilidade do solo e pode substituir, parcial ou totalmente, o uso de fertilizantes químicos, promovendo benefícios agrônômicos e econômicos.



Entre os principais pontos positivos do uso de biodigestores em áreas rurais, destacam-se:

- Redução da carga orgânica lançada no meio ambiente, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e do solo;
- Melhoria das condições sanitárias das propriedades, reduzindo riscos de contaminações e doenças de veiculação hídrica;
- Geração de energia renovável (biogás) e de insumo agrícola (biofertilizante), promovendo sustentabilidade e economia local;
- Baixa emissão de odores, quando corretamente operado e dimensionado.

Por outro lado, também existem limitações e desafios associados à adoção dessa tecnologia, principalmente em relação ao investimento financeiro e de manutenção técnica:

- Necessidade de investimento inicial relativamente elevado, o que pode dificultar o acesso para pequenos produtores;
- Demanda por manejo e manutenção adequados, exigindo capacitação mínima dos usuários para garantir o funcionamento eficiente e seguro do sistema;

No contexto do município de Engenheiro Coelho, os biodigestores se mostram como uma alternativa promissora para o aprimoramento do sistema de esgotamento sanitário rural, especialmente em propriedades com perfil agropecuário, onde é possível aproveitar integralmente os subprodutos gerados. A sua adoção, contudo, deve ser acompanhada por ações de orientação técnica, políticas de incentivo e estratégias de gestão comunitária ou individual que garantam sua operação adequada e sustentável ao longo do tempo.

Na imagem a seguir é mostrado um exemplo esquemático do funcionamento de um biodigestor.

Figura 38 - Modelo esquemático de um biodigestor anaeróbio.



Fonte: Tecnipar, 2019.



1.2.2. Análise Crítica do Sistema de Esgotamento Sanitário

A principal deficiência que pode ser citada acerca dos sistemas individuais de esgotamento sanitário nas propriedades rurais de Engenheiro Coelho é:

- Alto número de propriedades rurais que utilizam fossas rudimentares;
- Existência de uma propriedade (Dentre as participantes da pesquisa) com a fossa a céu aberto;
- Alto número de propriedades que não fazem a limpeza adequada;
- Foram relatados casos em que a tampa da fossa estava danificada ou em más condições.

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 os diferentes tipos de resíduos gerados nas atividades agrícolas e nas comunidades rurais. Em muitos casos, a coleta e a destinação desses resíduos são descentralizadas, com sistemas adaptados às necessidades locais.

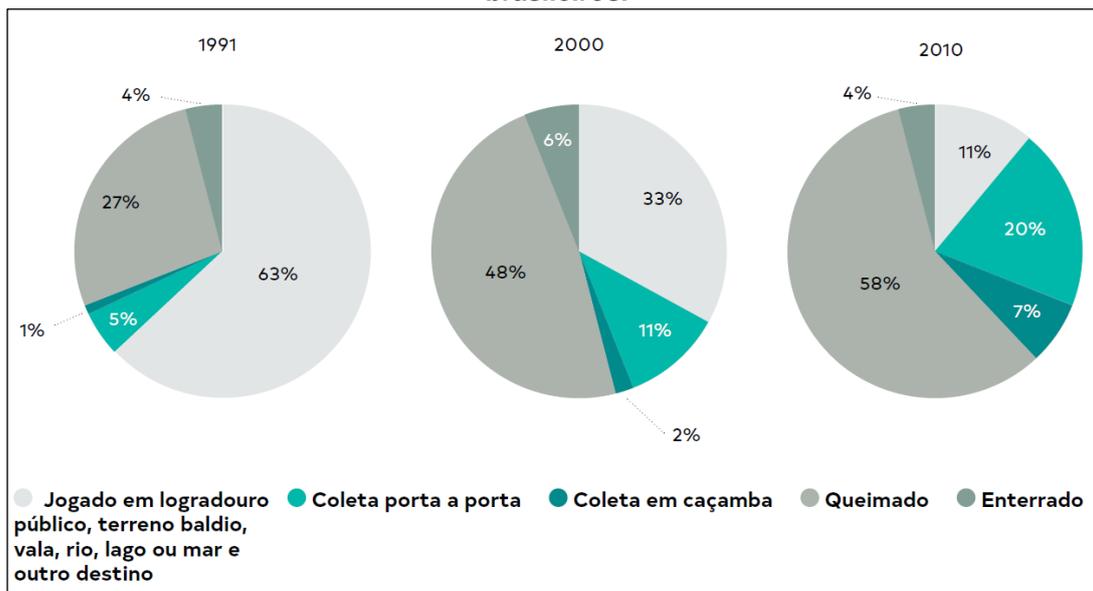
Os agricultores, por exemplo, frequentemente adotam a compostagem para os resíduos orgânicos, transformando-os em adubo para uso na agricultura. Além disso, a separação adequada dos resíduos recicláveis é incentivada, frequentemente por meio de programas de conscientização e educação ambiental.

De acordo com os dados apresentados no Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), entre os anos de 1991 e 2010, houve uma significativa redução nas formas inadequadas de disposição de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros. Práticas como a destinação a logradouros públicos, terrenos baldios, valas, rios ou lagos passaram de 90% para 69%.

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

Essa mudança de comportamento indica a necessidade urgente de abordagens mais eficazes para promover práticas sustentáveis de gestão de resíduos nas áreas rurais, com foco na preservação ambiental e na proteção da saúde das comunidades. A Figura 39 ilustra a situação descrita.

Figura 39 - Evolução das formas de destinação de resíduos sólidos nos domicílios rurais brasileiros.



Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, é uma legislação federal que define os princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o manejo de resíduos sólidos no Brasil. No âmbito estadual, o estado de São Paulo conta com a Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, além de estabelecer diretrizes para os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Os tópicos a seguir apresentarão um panorama sobre o sistema de manejo de resíduos sólidos na zona rural do município de Engenheiro Coelho.

1.3.1. Resíduos Sólidos Domiciliares - RDO

Os resíduos sólidos domiciliares, também conhecidos como lixo doméstico, são produtos descartados provenientes das atividades cotidianas nos 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).



Quando mal gerenciados, os resíduos podem representar 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).

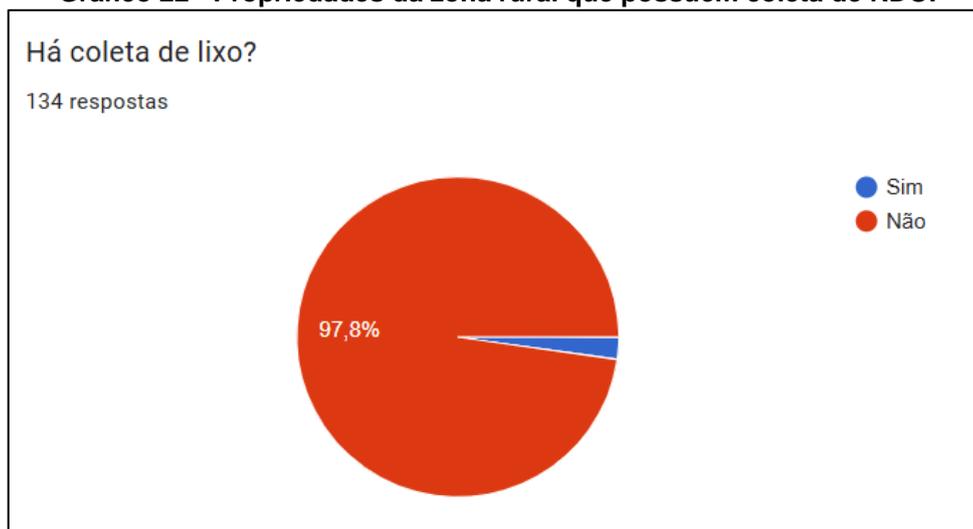
As comunidades rurais frequentemente enfrentam desafios específicos, como a falta de infraestrutura adequada para a coleta e o tratamento de resíduos. No entanto, essas áreas também apresentam oportunidades únicas, como a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, a valorização de produtos recicláveis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

Essas práticas incluem a redução da geração de resíduos, a promoção da reciclagem, o uso de métodos de descarte seguro e a incorporação de princípios de economia circular, visando maximizar a utilização de recursos e minimizar o desperdício (Schalch *et al.*, 2002).

Com relação aos municípios da zona rural de Engenheiro Coelho, a aplicação do questionário revelou que apenas 11 propriedades afirmaram contar com a coleta de RDO por meio de lixeiras em pontos específicos, o que representa cerca de 8,2% do total. Ademais, apenas 3 propriedades afirmaram que as coletas são realizadas diretamente de suas residências, sendo as 8 restantes necessitando de algum deslocamento para o ponto de coleta.

Durante a aplicação dos questionários, observou-se que, em muitos casos, os moradores relataram a ausência de coleta direta em suas residências. No entanto, esses mesmos indivíduos descartavam seus resíduos em pontos de coleta próximos, como caçambas comunitárias. Esse comportamento indica que, embora não ocorra coleta porta a porta, o serviço de coleta está disponível em alguns locais acessíveis, sugerindo um modelo de coleta indireta nas áreas rurais do município.

Gráfico 22 - Propriedades da zona rural que possuem coleta de RDO.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

O gráfico a seguir apresenta dados sobre o uso de dispositivos de armazenamento de resíduos nas propriedades, mostrando que apenas 38 residências utilizam lixeiras suspensas, enquanto o restante de 96 propriedades não adotam este tipo de equipamento.

Nos casos em que as lixeiras não são utilizadas, os resíduos são frequentemente descartados em caçambas compartilhadas ou manejados por métodos rudimentares, como a queima ou o enterramento, práticas essas ambientalmente prejudiciais.

É fundamental destacar que a ausência de lixeiras adequadas pode levar à dispersão de resíduos nas vias rurais, provocada pela ação de animais ou pelas intempéries, como chuvas intensas e ventos fortes. Isso contribui para a degradação ambiental, além de representar riscos significativos à saúde pública.

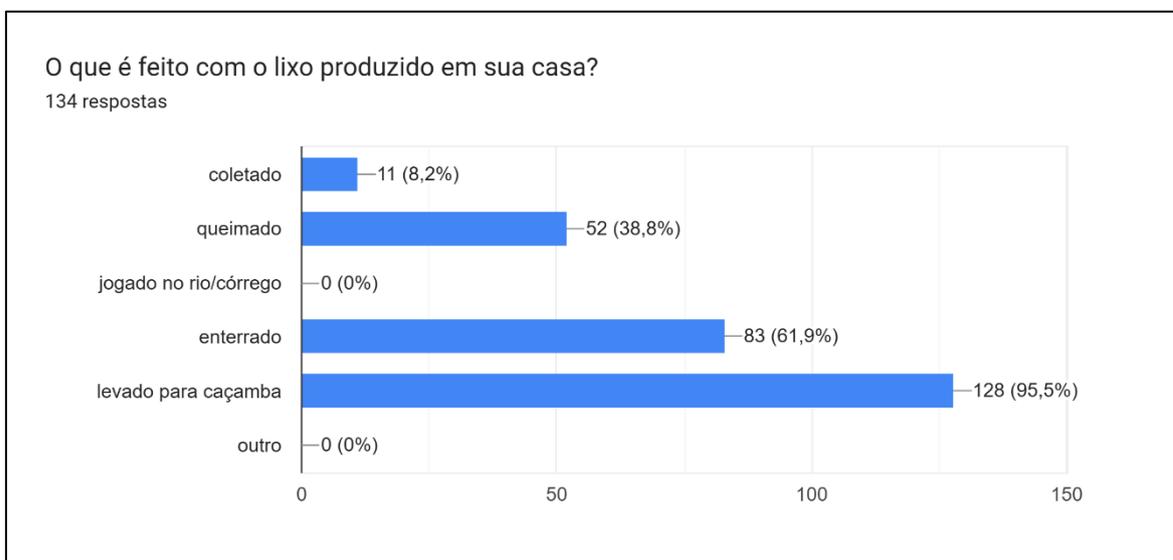
Gráfico 23 - Propriedades rurais de Engenheiro Coelho que utilizam lixeira para armazenamento do lixo.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Ainda de acordo com os dados obtidos por meio do Questionário, observa-se que 128 propriedades encaminham seus resíduos até a caçamba, 52 propriedades adotam a prática de queima dos resíduos, 83 fazem o enterramento e apenas 11 propriedades têm a coleta realizada, de acordo com o gráfico a seguir.

Gráfico 24 - Diferentes finalidades do RDO nas propriedades rurais de Engenheiro Coelho.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

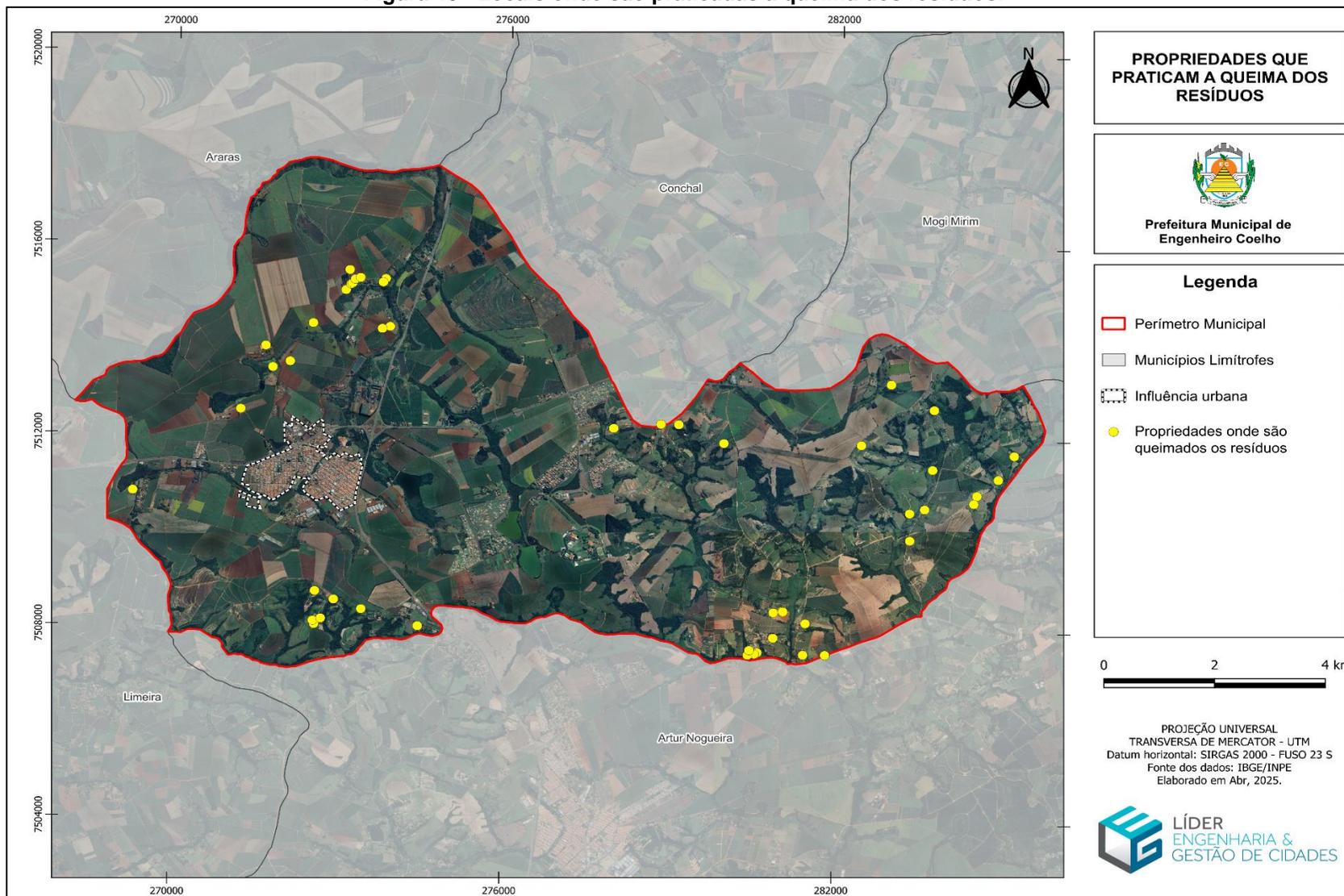
A Figura 40 estabelece uma correlação entre as propriedades que não possuem coleta de resíduos sólidos e as que destinam seus resíduos por meio da queima, conforme as respostas obtidas nos questionários aplicados. Em muitos



casos, esses pontos coincidem, evidenciando a ausência de um sistema de coleta adequado. No entanto, também foram identificados locais onde, apesar de haver a coleta, os moradores ainda recorrem à queima dos materiais.

Vale ressaltar que, de acordo com 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 essa finalidade.

Figura 40 - Locais onde são praticadas a queima dos resíduos.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.3.2. Resíduos de Atividades Agrícolas e Pecuárias

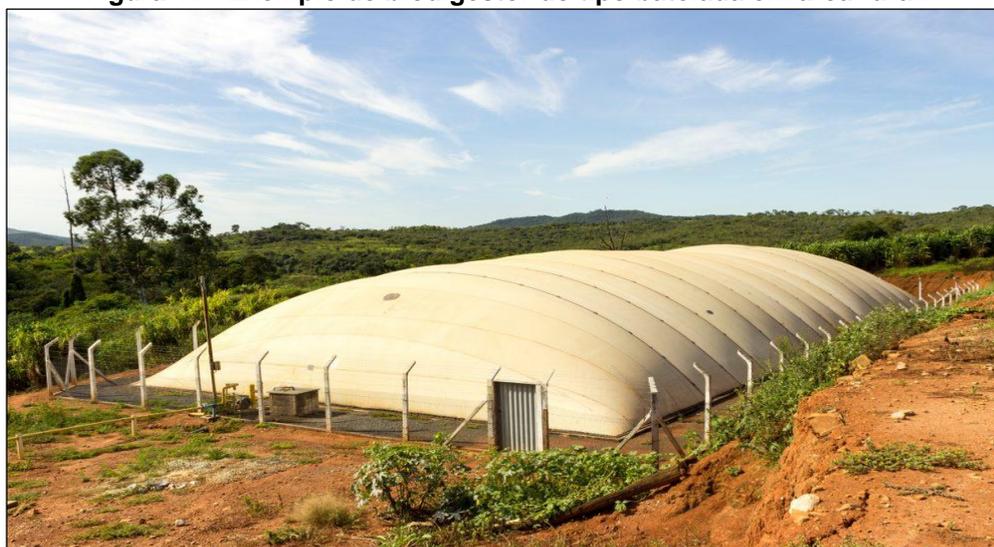
A gestão eficiente dos resíduos agrícolas e pecuários é essencial para promover a sustentabilidade no meio rural. Os resíduos agrícolas, como restos de colheitas e palhada, podem ser valiosos para a agricultura quando devidamente manejados, e a compostagem se destaca como uma prática eficiente. Por meio desse processo, esses resíduos são transformados em composto orgânico, enriquecendo a fertilidade do solo e contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos, promovendo a sustentabilidade a longo prazo (Bastos, 2017).

Quanto aos resíduos pecuários, compostar esterco é uma prática eficaz para reduzir o impacto ambiental. A compostagem de esterco permite que os nutrientes presentes sejam aproveitados de forma benéfica para a agricultura, além de reduzir a emissão de gases nocivos ao ambiente.

Além disso, a construção de biodigestores, que transformam resíduos orgânicos em biogás, oferece uma alternativa sustentável ao uso de energia, além de permitir o reaproveitamento dos nutrientes como fertilizantes. Isso contribui para a redução de impactos ambientais negativos e promove uma economia circular, em que os resíduos se tornam recursos (Oliveira, 2010; Melo e Duarte, 2018).

A figura a seguir exemplifica um biodigestor, que ilustra como os resíduos e o esterco podem ser tratados de maneira eficaz, transformando-os em energia renovável e fertilizantes orgânicos, contribuindo para a sustentabilidade e melhorando a eficiência das propriedades rurais.

Figura 41 - Exemplo de biodigestor do tipo batelada em área rural.



Fonte: Elevagro, 2022.



No que diz respeito aos resíduos das embalagens de agrotóxicos, outro aspecto importante no Estado de São Paulo é o processo de devolução das embalagens no próprio ponto de venda de novos produtos químicos. Esta prática está em conformidade com as diretrizes de gestão responsável de resíduos, minimizando os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado. Ao adotar este procedimento, o município segue os regulamentos ambientais e garante que o ciclo de vida das embalagens seja gerido de maneira segura e sustentável.

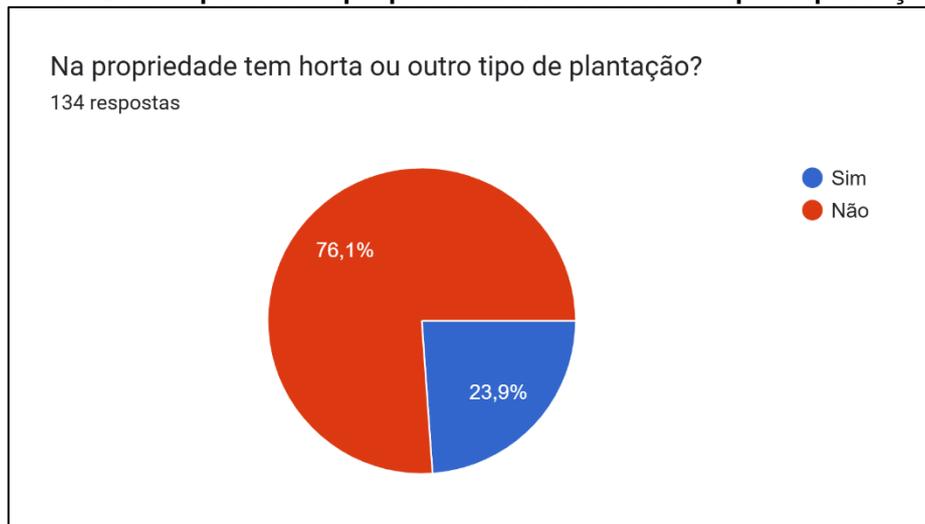
A Lei Estadual nº 17.054, de 6 de maio de 2019, determina que os usuários de agrotóxicos devem devolver as embalagens vazias em locais indicados e credenciados pelo estabelecimento comercial ou indicados na nota fiscal, no prazo máximo de 1 (um) ano a partir da data de aquisição, ou até 6 (seis) meses após o vencimento da validade do produto, além disso o Decreto Estadual nº 68.107, de 24 de novembro de 2023, regulamenta essa lei e especifica que as empresas comerciantes de agrotóxicos são responsáveis pelo recebimento das embalagens vazias dos produtos que comercializam, podendo credenciar Unidades de Recebimento de Embalagens Vazias (UREVs) para esse fim.

Essas práticas, como a compostagem e a devolução das embalagens de agrotóxicos, são fundamentais para promover a reciclagem de nutrientes, reduzir os impactos ambientais e assegurar um futuro mais sustentável. A capacitação dos proprietários rurais, aliada ao cumprimento das normas ambientais, é essencial para o sucesso dessas iniciativas (Oliveira *et al.*, 2015).

Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelece que a destinação ambientalmente adequada de resíduos provenientes da plasticultura deve priorizar sua reutilização, reciclagem ou outra forma de valorização. Essas medidas buscam minimizar os impactos ambientais por meio da redução na geração de resíduos e da transformação de materiais em novos produtos, sempre em conformidade com as regulamentações ambientais.

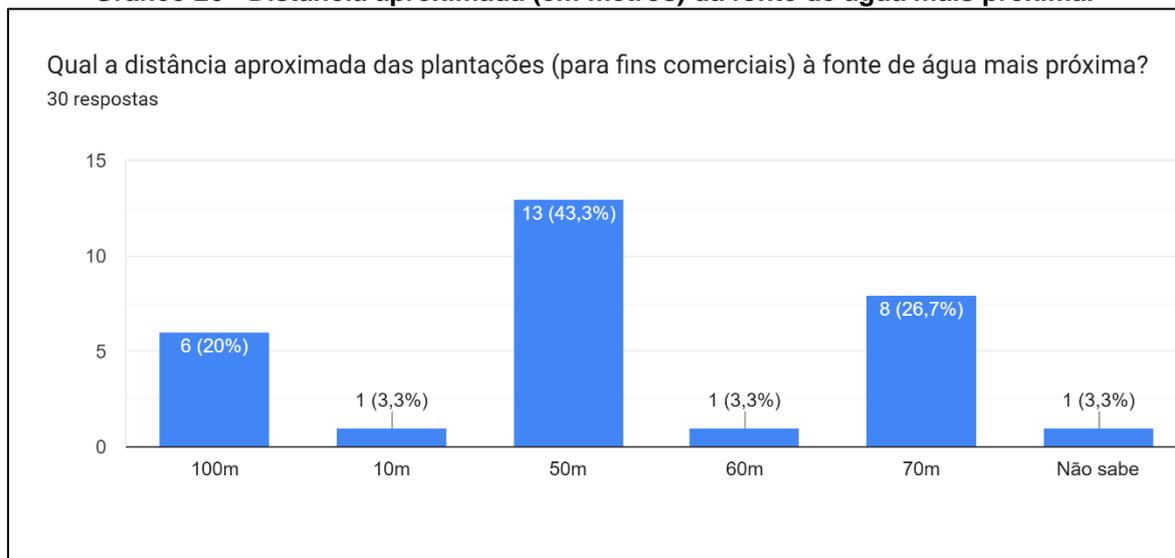
Por fim, de acordo com os resultados dos questionários aplicados, das 134 propriedades visitadas, apenas 32 afirmaram possuir algum tipo de horta ou plantação em suas residências, onde na maioria dos casos, o proprietário disse estar a mais de 50 metros de distância da fonte de abastecimento de água mais próxima. Estes resultados estão expostos nos gráficos a seguir.

Gráfico 25 - Propriedades que possuem hortas ou outro tipo de plantação.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

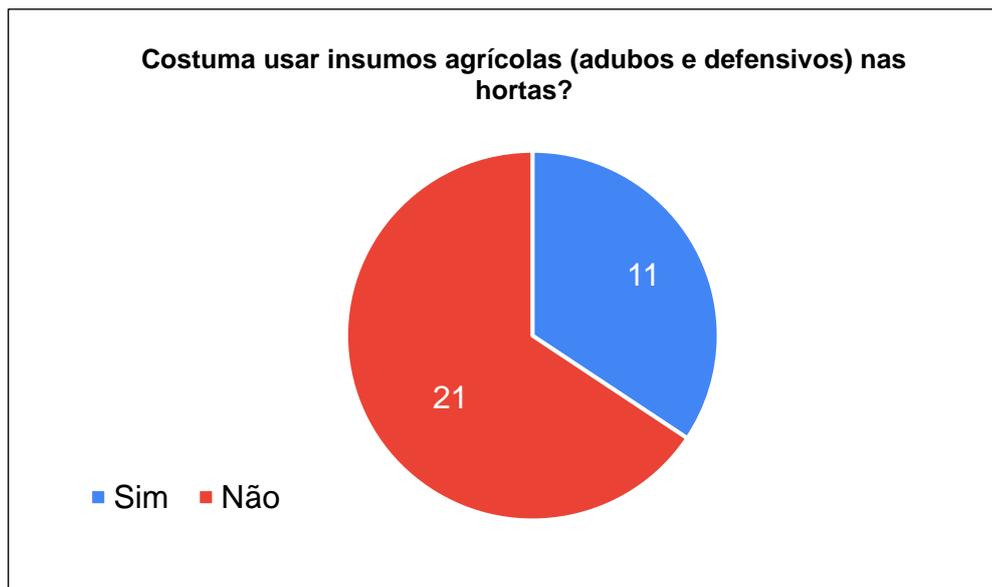
Gráfico 26 - Distância aproximada (em metros) da fonte de água mais próxima.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Já no gráfico a seguir é evidenciado que, das 32 propriedades que possuem algum tipo de plantação, apenas 11 costumam usar insumos agrícolas como adubos ou defensivos em suas hortas, representando cerca de 34%. Esses resultados evidenciam a importância de uma estrutura adequada para o recolhimento e descarte seguro das embalagens de produtos agrícolas, além da conscientização sobre o uso de defensivos agrícolas e agrotóxicos nocivos à saúde humana e com potencial de contaminação de água e solo.

Gráfico 27 - Propriedades que utilizam insumos agrícolas em Engenheiro Coelho.



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).

Em Engenheiro Coelho, embora existam iniciativas e estruturas relacionadas à gestão de RCC na área urbana, não há leis específicas para a área rural. Em casos de construções e reformas, é recomendado que os resíduos gerados sejam acondicionados em caçambas e recolhidos por empresas especializadas,



devidamente licenciadas, garantindo o transporte e a destinação adequada desses materiais.

Apesar dessa lacuna legislativa, a Lei Complementar nº 29/2022, apresenta diretrizes importantes relacionadas ao gerenciamento de resíduos da construção civil. A lei estabelece etapas fundamentais que devem ser cumpridas pelas concessionárias responsáveis pela gestão dos RCC, incluindo:

Responsabilidades dos geradores: Os geradores de resíduos são responsáveis pelo descarte adequado e pelo uso dos equipamentos disponibilizados para a captação disciplinada dos resíduos da construção civil ou volumosos gerados, devendo, em especial:

- Respeitar o limite de volume da caçamba ou container.
- Acondicionar resíduos de acordo com a identificação de conteúdo da caçamba ou container.
- Utilizar exclusivamente os serviços de remoção de transportadores licenciados pelo Poder Público Municipal.
- Responsabilidades dos transportadores: Os transportadores de resíduos devem:
 - Estar devidamente autorizados pelo Município de Engenheiro Coelho.
 - Transportar os resíduos de acordo com a identificação de conteúdo da caçamba ou container.
 - Respeitar o limite de volume da caçamba ou container estacionário.
 - Não despejar resíduos em locais proibidos ou não licenciados.
 - Zelar pela manutenção da limpeza das vias públicas durante o transporte de resíduos.
 - Portar o obrigatório documento de Controle de Transporte de Resíduos (CTR) devidamente preenchido.

Destinação dos resíduos: Os resíduos da construção civil devem ser destinados às áreas de recepção, visando à sua triagem, reutilização, reciclagem ou destinação mais adequada. É proibido dispor esses resíduos em áreas de bota-fora, encostas, corpos d'água, lotes vagos, passeios, logradouros, áreas e vias públicas e em áreas protegidas por lei.



Taxa de recepção: O terreno público destinado à recepção, manejo e depósito de resíduos de construção civil será a Central de Tratamento de Resíduos (CTR), localizado ao lado do Condomínio Céu Azul. Fica instituída a taxa de cobrança de preços públicos pela recepção e depósito de volumes de resíduos da construção civil em áreas públicas de 01 (uma) UFESP vigente por metro cúbico.

Sanções administrativas: O descumprimento das disposições estabelecidas na lei e nas normas dela decorrentes constitui infração administrativa, sujeita a penalidades como advertência, multa e outras sanções cabíveis.

Além da legislação, a Prefeitura de Engenheiro Coelho realiza ações para o manejo adequado dos resíduos da construção civil. Em março de 2023, foi iniciado o serviço de trituração desses resíduos no terreno do antigo aterro do município. O material triturado é utilizado principalmente na manutenção das estradas rurais, contribuindo para a conservação das vias e a redução do impacto ambiental.

1.3.4. Resíduos Orgânicos

A gestão de resíduos orgânicos contribui significativamente para o desenvolvimento sustentável, pois, aumenta a vida útil de aterros sanitários, reduz a geração de resíduos e garante a destinação ambientalmente correta. Além disso, a gestão eficaz desses resíduos facilita a triagem dos materiais recicláveis e reutilizáveis, contribuindo para a redução dos níveis de poluição ambiental (Pereira e Maia, 2012).

Gerenciar resíduos orgânicos envolve um conjunto de ações adequadas nas etapas de coleta, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final e disposição final. Essas práticas têm como objetivo a minimização da produção de resíduos, a preservação da saúde pública e a qualidade do ambiente. Entre as melhores e mais comuns técnicas para a gestão de resíduos orgânicos, destacam-se a compostagem, a biodigestão e a vermicompostagem, que são práticas sustentáveis que promovem a reciclagem de nutrientes e a redução do impacto ambiental (Farias, 2001).



1.3.5. Coleta Seletiva

A coleta seletiva é uma prática fundamental para o gerenciamento sustentável de resíduos sólidos e desempenha um papel importante na geração de emprego e renda, promovendo a inclusão social, especialmente de grupos vulneráveis. Além disso, é uma das alternativas de tratamento de resíduos mais benéficas do ponto de vista ambiental, pois contribui para a redução do consumo de recursos naturais, como energia elétrica e água, e previne a poluição do solo e dos corpos hídricos (Peixoto, Campos e D'Agosto, 2005).

A coleta seletiva refere-se ao conjunto de procedimentos destinados ao recolhimento de resíduos recicláveis e orgânicos compostáveis, previamente separados dos resíduos não reaproveitáveis na fonte geradora. Ela também envolve o recolhimento de materiais recicláveis separados por catadores entre os resíduos domiciliares. Essa separação visa evitar a contaminação dos materiais recicláveis e aumentar o seu valor agregado (Peixoto, Campos e D'Agosto, 2005).

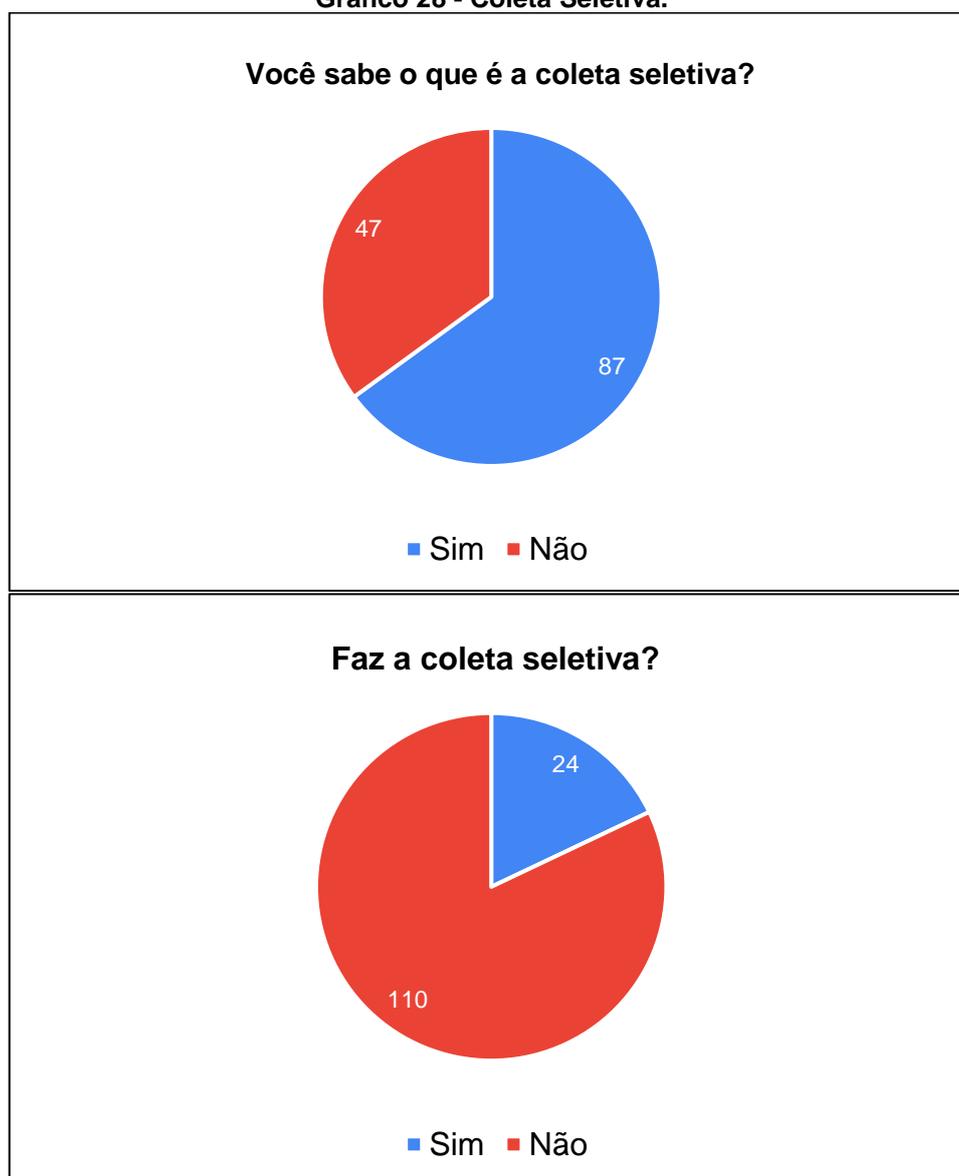
O mercado de reciclagem no Brasil tem grande potencial econômico. Segundo estudo realizado pela Secretaria de Política Econômica (SPE) do Ministério da Economia em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o mercado de créditos de reciclagem pode movimentar entre R\$ 6,9 bilhões e R\$ 14,2 bilhões por ano. Contudo, ainda há uma grande perda de recursos, com aproximadamente R\$ 8 bilhões por ano sendo desperdiçados devido à destinação inadequada de resíduos que poderiam ser reciclados.

Apesar da importância da coleta seletiva, a sua implementação no Brasil ainda está em estágio inicial. Dados do Diagnóstico Temático de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS 2021) indicam que apenas 40% da população brasileira, ou cerca de 69,7 milhões de pessoas, tem acesso à coleta seletiva porta a porta. A cobertura média municipal é de apenas 14,7%, com a maior abrangência no Sul do Brasil (31,9%) e a menor no Nordeste (1,9%).

Em Engenheiro Coelho, é estabelecida a Lei nº 874/2013 que institui o Programa de Coleta Seletiva de lixo no Município, ademais, segundo o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Engenheiro Coelho, a população é responsável por levar os resíduos recicláveis aos postos de entrega voluntária, sendo a Prefeitura Municipal a responsável pela comercialização dos materiais.

Conforme exposto nos gráficos a seguir, 87 das 134 propriedades afirmaram ter conhecimento sobre o que é a coleta seletiva (64,9%). No entanto, apenas 24 propriedades de fato estão realizando a coleta seletiva, o que representa uma porção de cerca de 28%, dentre os entrevistados que têm o conhecimento desta coleta, onde em grande parte dos casos, o morador destina os materiais aos PEVs ou na própria cidade. Esses dados evidenciam a necessidade de expandir a cobertura e a conscientização sobre a importância da coleta seletiva na área rural.

Gráfico 28 - Coleta Seletiva.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

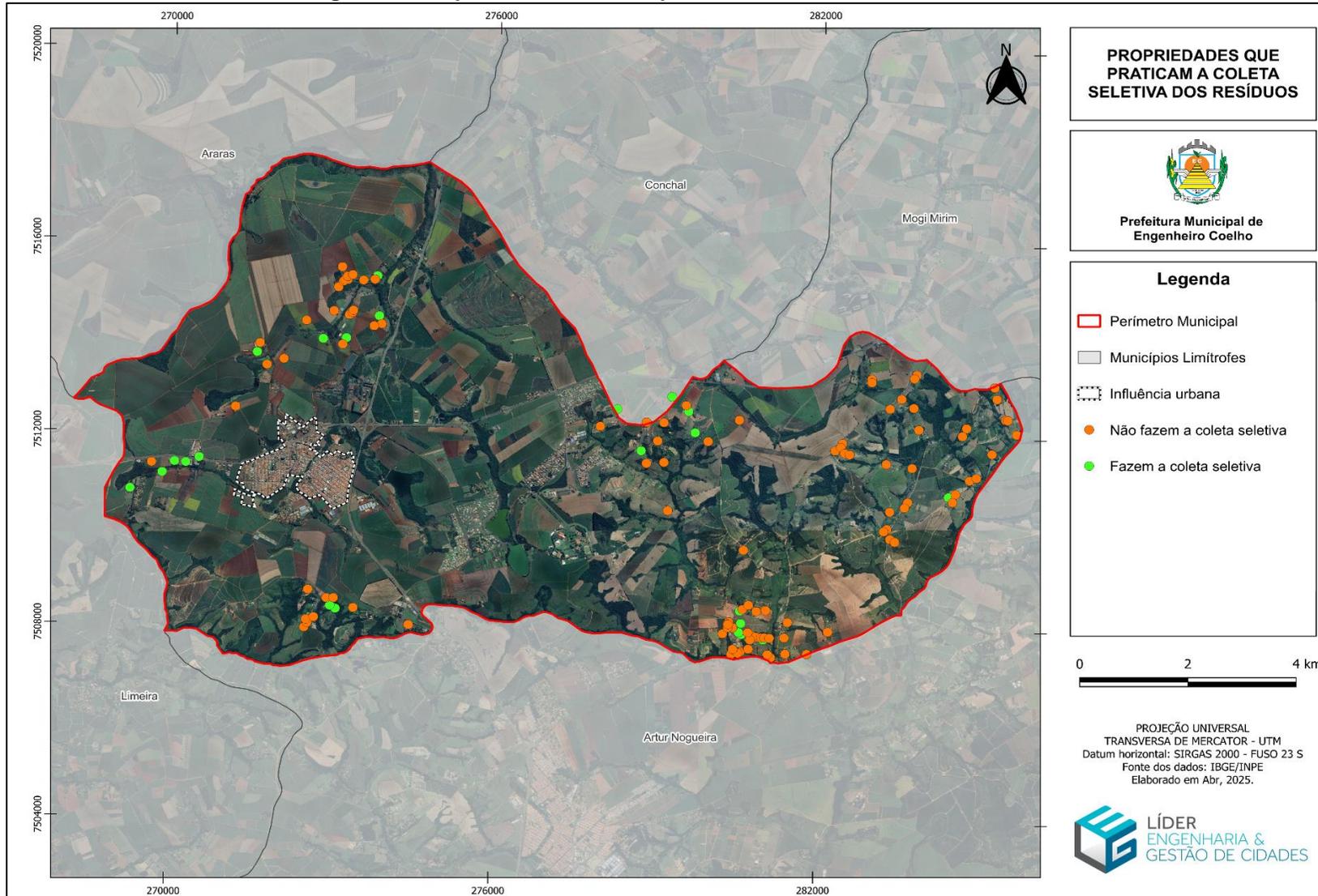
A partir dos dados apresentados, é possível observar que, embora a coleta seletiva seja um programa reconhecido pela população rural de Engenheiro Coelho,



ainda há um longo caminho a percorrer para sua plena implementação. Um número considerável de propriedades não participa efetivamente desse processo.

O mapa a seguir apresenta a localização das propriedades rurais que aderem ou não à coleta seletiva no município de Engenheiro Coelho, conforme identificado na pesquisa de campo. A representação tem como objetivo subsidiar a elaboração de estratégias para ampliar a adesão ao serviço, considerando a divisão dos grupos utilizados na aplicação dos questionários e a delimitação dos bairros rurais, estabelecida com base nas microbacias hidrográficas do município.

Figura 42 - Mapa das localidades que aderem ou não à coleta seletiva.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



1.3.6. 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 Engenheiro Coelho, os quais embasarão as soluções propostas no Prognóstico.

- Baixo número de caçambas para o acondicionamento de resíduos sólidos domiciliares;
- Deficiência na cobertura da coleta de resíduos domiciliares na área rural;
- Baixa adesão da coleta seletiva na área rural;
- Ausência de pontos de entrega para resíduos da construção civil na zona rural;
- Alto número de propriedades que queimam seus resíduos.



1.4. Sistema de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais

A realização de estudos de drenagem na zona rural, no contexto do saneamento básico, é essencial para promover a qualidade de vida, a preservação ambiental e a sustentabilidade nas áreas rurais. O entendimento dos padrões hidrológicos, o impacto das atividades agrícolas sobre o solo e a avaliação dos sistemas de drenagem são essenciais para prevenir inundações, erosões e a contaminação dos recursos hídricos.

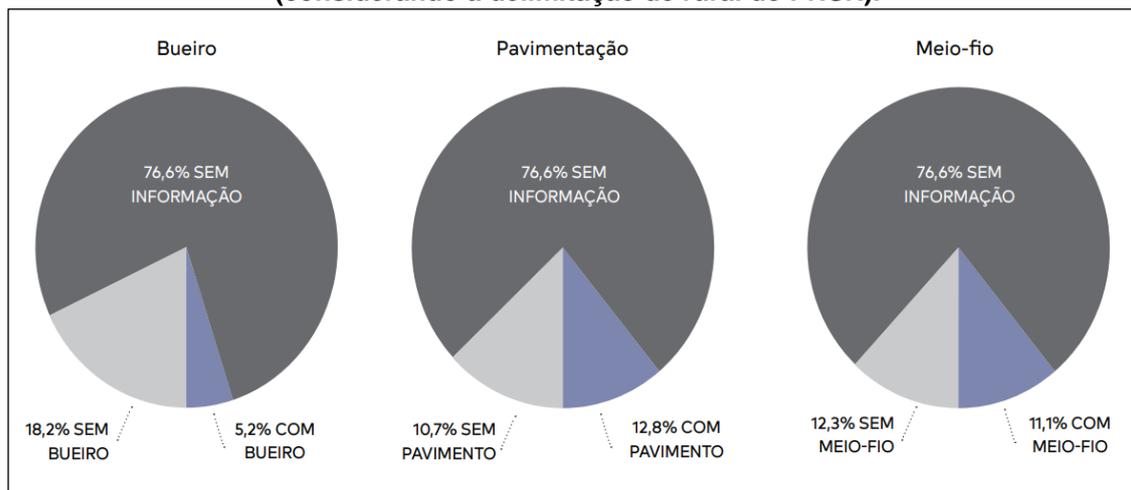
Além disso, uma gestão eficiente da drenagem rural é fundamental para preservar os recursos hídricos, essenciais tanto para a produção agrícola quanto para a manutenção dos ecossistemas locais. Ao avaliar e otimizar os sistemas de drenagem na zona rural, é possível reduzir os riscos de doenças relacionadas à água, promover práticas agrícolas sustentáveis e garantir a utilização responsável dos recursos naturais. Essas ações contribuem para consolidar um ambiente rural mais resiliente e saudável.

Os principais desafios associados à drenagem de águas pluviais no meio rural estão relacionados a problemas nas estradas rurais e aos processos erosivos. A persistência da erosão frequentemente leva à remoção da camada fértil do solo, o que pode resultar em danos consideráveis às culturas. Em situações extremas, esses processos erosivos podem evoluir para deslizamentos de terra, prejudicando ainda mais a infraestrutura rural.

As estradas rurais desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e conectividade das áreas rurais, facilitando o acesso a mercados, escolas, serviços de saúde e promovendo o intercâmbio econômico. No entanto, no contexto da drenagem, a importância das estradas é ainda mais evidenciada. A drenagem adequada nas estradas rurais é vital para garantir o livre acesso, evitar a formação de poças d'água, reduzir o potencial de proliferação de vetores de doenças e preservar a qualidade dos recursos hídricos locais.

De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), o eixo de drenagem das águas pluviais, quando comparado com outros eixos do saneamento básico, como abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos, apresenta uma quantidade limitada ou nenhuma informação sobre a situação atual. A figura a seguir ilustra essa realidade.

Figura 43 - Situação dos imóveis rurais em relação ao eixo de drenagem das águas pluviais (considerando a delimitação de rural do PNSR).

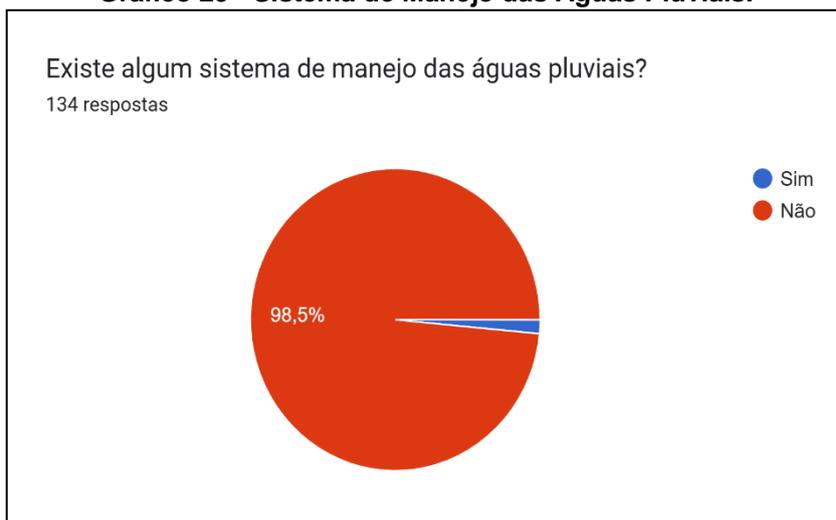


Fonte: Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural, 2019.

De acordo com o Manual do Programa Nacional de Saneamento Rural (2019), a infraestrutura de drenagem nas propriedades rurais é um desafio significativo. Apenas 12,8% das propriedades rurais do Estado de São Paulo, que representam 1.428.345 propriedades, estão localizadas em vias pavimentadas, enquanto 11,1% (1.245.561 propriedades) têm vias com meio-fio, e 5,2% (582.527 propriedades) possuem bueiros. Um dado relevante é que 76,6% das propriedades, equivalente a 8.564.631, não possuem informações sobre a presença de pavimentação, bueiros ou meio-fio nas vias adjacentes.

De acordo com a pesquisa aplicada na zona rural de Engenheiro Coelho, e conforme demonstrado no gráfico a seguir, apenas 2 propriedades afirmaram possuir algum tipo de sistema de manejo das águas pluviais, dentre as 134 que foram entrevistadas, sendo em ambas o uso de calhas e cisternas para captação da água de chuva. Isso evidencia a necessidade de implementação e melhorias nas infraestruturas de drenagem na zona rural, visando não apenas o conforto e a segurança das propriedades, mas também a preservação ambiental e a qualidade dos recursos hídricos.

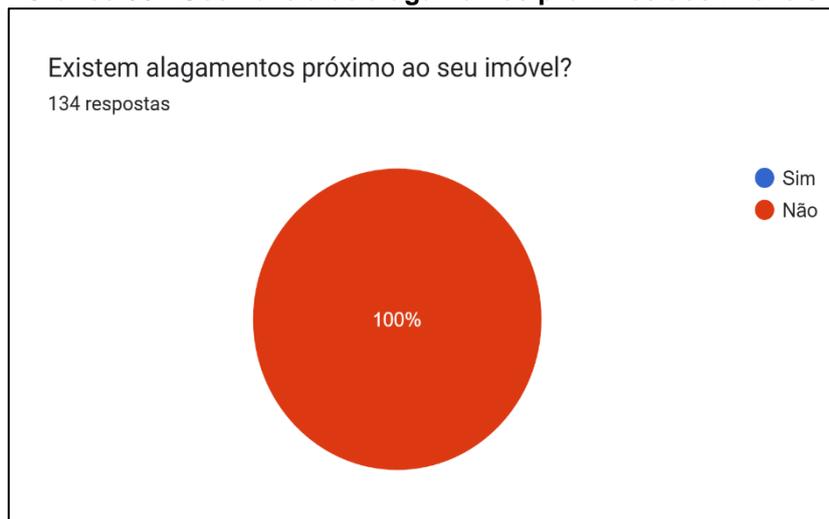
Gráfico 29 - Sistema de Manejo das Águas Pluviais.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Embora tenha sido constatado um uso bastante limitado de dispositivos específicos para o manejo das águas pluviais nas propriedades rurais visitadas, 100% dos entrevistados relataram não enfrentar problemas recorrentes de alagamento nas proximidades de seus imóveis. Foram mencionados apenas alguns episódios pontuais de alagamentos ocorridos no passado, os quais, segundo os moradores, não se repetem com frequência atualmente, indicando que tais eventos não constituem uma preocupação cotidiana para as propriedades entrevistadas.

Gráfico 30 - Ocorrência de alagamentos próximos aos imóveis.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 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, 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.

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 Engenheiro Coelho e cálculos de intensidade de chuvas.

De face com o exposto acima, o estudo hidrológico tem por objetivo determinar as bacias hidrográficas predominantes na área rural do município de Engenheiro Coelho, 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 Engenheiro Coelho, foi realizada a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) disponibilizado pelo projeto TOPODATA, formado por colaboração com o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 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.

Com o intuito de realizar o estudo de drenagem das águas pluviais das microbacias rurais de Engenheiro Coelho, delimitaram-se as microbacias que possuem influência direta na zona rural do Município, sendo aquelas utilizadas para a identificação das localidades rurais durante a aplicação dos questionários (Guaiquica, Correias e Mato Dentro).

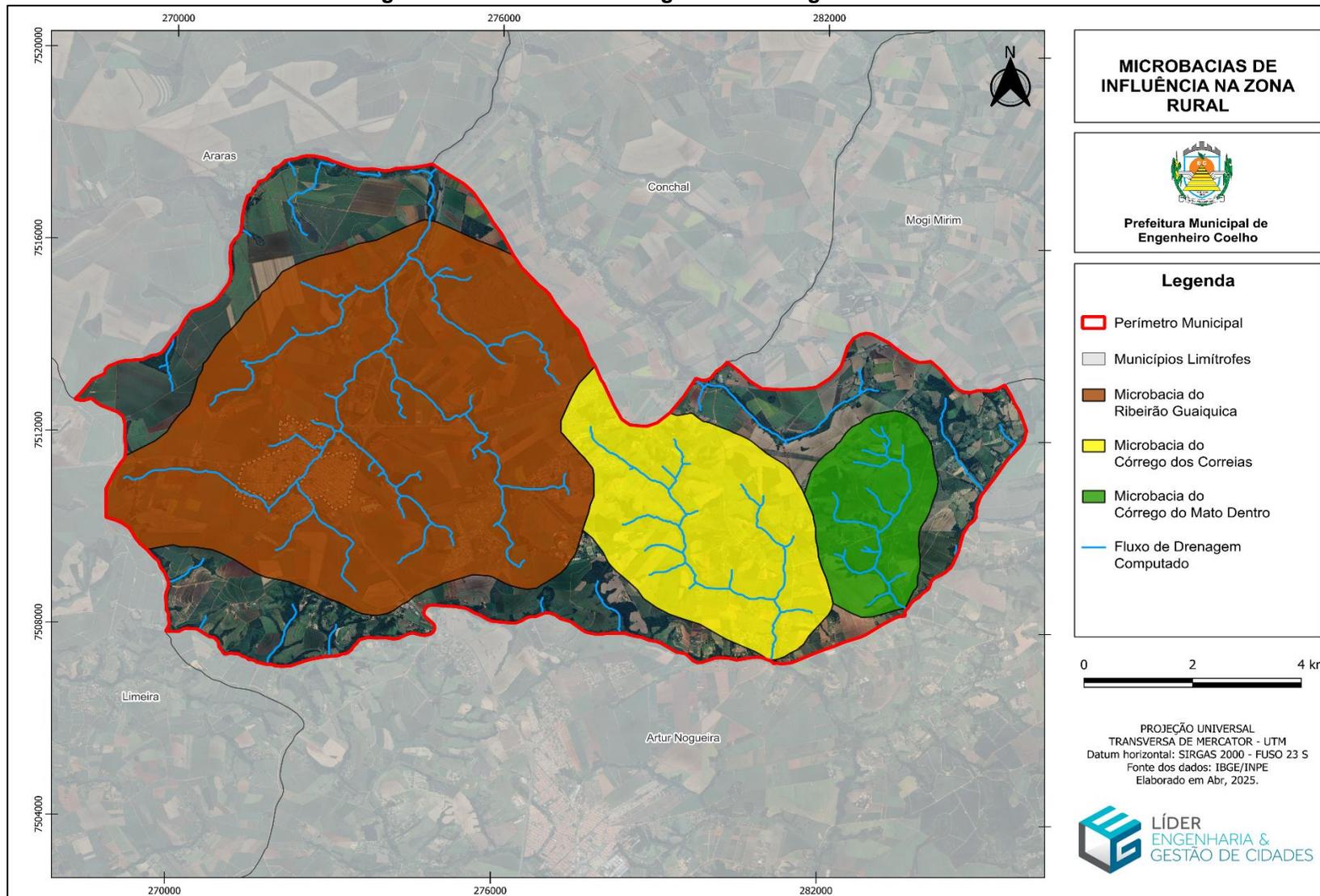
Para delimitação das microbacias hidrográficas utilizou-se o software *Arc Hydro Tools*, uma extensão do software: *ESRI® Arc Map™ 10.5*. Nos próximos tópicos segue a análise detalhada para cada uma das microbacias identificadas.



A partir de processamentos do MDE da área correspondente ao perímetro municipal, 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 do município como um todo, apresenta-se, a seguir, o mapa das microbacias que exercem influência direta sobre os locais de aplicação dos questionários, acompanhado do fluxo hídrico computado para Engenheiro Coelho.

Figura 44 - Microbacias hidrográficas de Engenheiro Coelho.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 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.

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: ESRI® *Arc Map*™ 10.5 e Microsoft® *Excel* 2016.

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, conforme é exposto na tabela a seguir.

Tabela 3 - Hierarquia do fluxo de drenagem computado.

Hierarquia Fluvial			
Microbacias	Ordem	Quantidade	Extensão (km)
Microbacia 1	Primária	19	25,20
	Secundária	6	12,17
	Terciária	2	5,08
	Quaternária	1	1,00
Microbacia 2	Primária	14	8,14
	Secundária	2	6,59
	Terciária	1	1,40
	Quaternária	-	-
Microbacia 3	Primária	10	5,80
	Secundária	2	3,67
	Terciária	1	1,07
	Quaternária	-	-

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



Posteriormente deu-se procedência nas análises de aspectos lineares, areais e hipsométricos.

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:

$$\mathbf{Gcp = Hcp / Lcp}$$

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:

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



• 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).

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:

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



Kc = Coeficiente de compacidade;

P = Perímetro da bacia (km);

A = Área da bacia (km²).

Sendo:

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) - Dh o Dh = Densidade hidrográfica;**

N1 = Número de rios de 1^a ordem;

A = Área da bacia (km²).

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

Dh = N1 / A, sendo:

Canali (1986) define três categorias de densidade hidrográfica:

Dh baixa – menos de 5 rios/km²;

Dh média – de 5 a 20 rios/km²;

Dh alta – mais de 20 rios/km².



• **Densidade de drenagem (km/km²) - Dd** o **Dd = Densidade de drenagem;**

Lt = Comprimento dos canais (km);

A = Área da bacia (km²).

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

$$Dd = Lt/A$$

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.

Análise Hipsométrica

• **Altura da bacia (m) - Hb**

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 de Engenheiro Coelho, cujos dados estão expostos na tabela a seguir.



Tabela 4 – Dados extraídos das microbacias.

Informações Analisadas		
	Parâmetros	Valor
Microbacia do Ribeirão Guaiquica	Área da bacia - A (km ²)	49,90
	Perímetro da bacia - P (km)	27,98
	Comprimento do canal principal - Lcp (km)	9,75
	Altura do canal principal - Hcp (m)	60
	Gradiente do canal principal - Gcp (m/km)	6,15
	Extensão do Percurso Superficial - Eps (km/km ²)	0,45
	Comprimento da bacia - Lb (km)	8,29
	Coeficiente de compacidade (Fator de forma) - Kc	1,11
	Densidade hidrográfica - Dh (rios/km ²)	0,38
	Densidade de drenagem - Dd (km/km ²)	0,90
	Altura da bacia - Hb (m)	64
Microbacia do Córrego dos Correias	Área da bacia - A (km ²)	17,11
	Perímetro da bacia - P (km)	17,84
	Comprimento do canal principal - Lcp (km)	7,14
	Altura do canal principal - Hcp (m)	61
	Gradiente do canal principal - Gcp (m/km)	8,54
	Extensão do Percurso Superficial - Eps (Km/km ²)	0,48
	Comprimento da bacia - Lb (km)	6,73
	Coeficiente de compacidade (Fator de forma) - Kc	1,21
	Densidade hidrográfica - Dh (rios/km ²)	0,82
	Densidade de drenagem - Dd (km/km ²)	0,96
	Altura da bacia - Hb (m)	101
Microbacia do Córrego do Mato Dentro	Área da bacia - A (km ²)	7,63
	Perímetro da bacia - P (km)	10,93
	Comprimento do canal principal - Lcp (km)	4,69
	Altura do canal principal - Hcp (m)	82
	Gradiente do canal principal - Gcp (m/km)	17,48
	Extensão do Percurso Superficial - Eps (Km/km ²)	0,75
	Comprimento da bacia - Lb (km)	4,08
	Coeficiente de compacidade (Fator de forma) - Kc	1,11
	Densidade hidrográfica - Dh (rios/km ²)	1,31
	Densidade de drenagem - Dd (km/km ²)	1,50
	Altura da bacia - Hb (m)	130

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.



A microbacia do Ribeirão Guaiquica, com maior área de drenagem (49,9 km²), tende a concentrar maior volume de escoamento, porém apresenta menor densidade de drenagem, o que pode indicar uma menor eficiência no escoamento superficial. A bacia dos Correias, com 17,11 km², apresenta características intermediárias, tanto em área quanto nos parâmetros de drenagem. Já a microbacia do Córrego Mato Dentro, embora seja a menor (7,63 km²), apresentou a maior densidade de drenagem (1,50 km/km²), o que indica maior capacidade de escoamento superficial e melhor organização da rede de drenagem.

O fator de compactidade (KC), próximo de 1 nas três bacias, revela que todas possuem formato tendendo ao circular, o que implica em maior rapidez no escoamento superficial e maior potencial de geração de picos de vazão. Esse comportamento pode aumentar o risco de eventos de cheia localizados, especialmente em áreas sem vegetação ciliar ou com uso intensivo do solo.

1.4.2. Estudos Hidrológicos

Os Estudos Hidrológicos são essenciais para compreender o comportamento hídrico de uma bacia hidrográfica, permitindo a avaliação de sua capacidade de escoamento e o impacto das variáveis ambientais e geológicas que a influenciam. Por meio de análises matemáticas, esses estudos levam em consideração fatores como a alteração da cobertura vegetal, que afeta diretamente a infiltração e a retenção de água no solo, o tipo de solo e a geologia presentes, que determinam a permeabilidade e a capacidade de armazenamento hídrico.

Adicionalmente, a intensidade pluviométrica, ou seja, a quantidade e a frequência de chuvas, desempenha um papel essencial no comportamento da bacia, impactando a vazão dos cursos d'água e a suscetibilidade a inundações. Os resultados das análises morfométricas, como o gradiente do canal principal, a densidade de drenagem e a área da bacia, fornecem informações detalhadas sobre a dinâmica do escoamento, permitindo a identificação de áreas críticas e a formulação de estratégias de manejo adequadas.

1.4.2.1. 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-Willians, 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 a seguir apresenta os valores referentes ao Tempo de Concentração (Tc) para as microbacias rurais de Engenheiro Coelho.

Tabela 5 - Tempo de Concentração para as microbacias rurais de Engenheiro Coelho.

Microbacias	L (Km)	ΔH (m)	Tc (min)	Tc (h)
Guaiquica	9,75	60	163,53	2,73
Correias	7,14	61	113,38	1,89
Mato Dentro	4,69	82	62,27	1,04

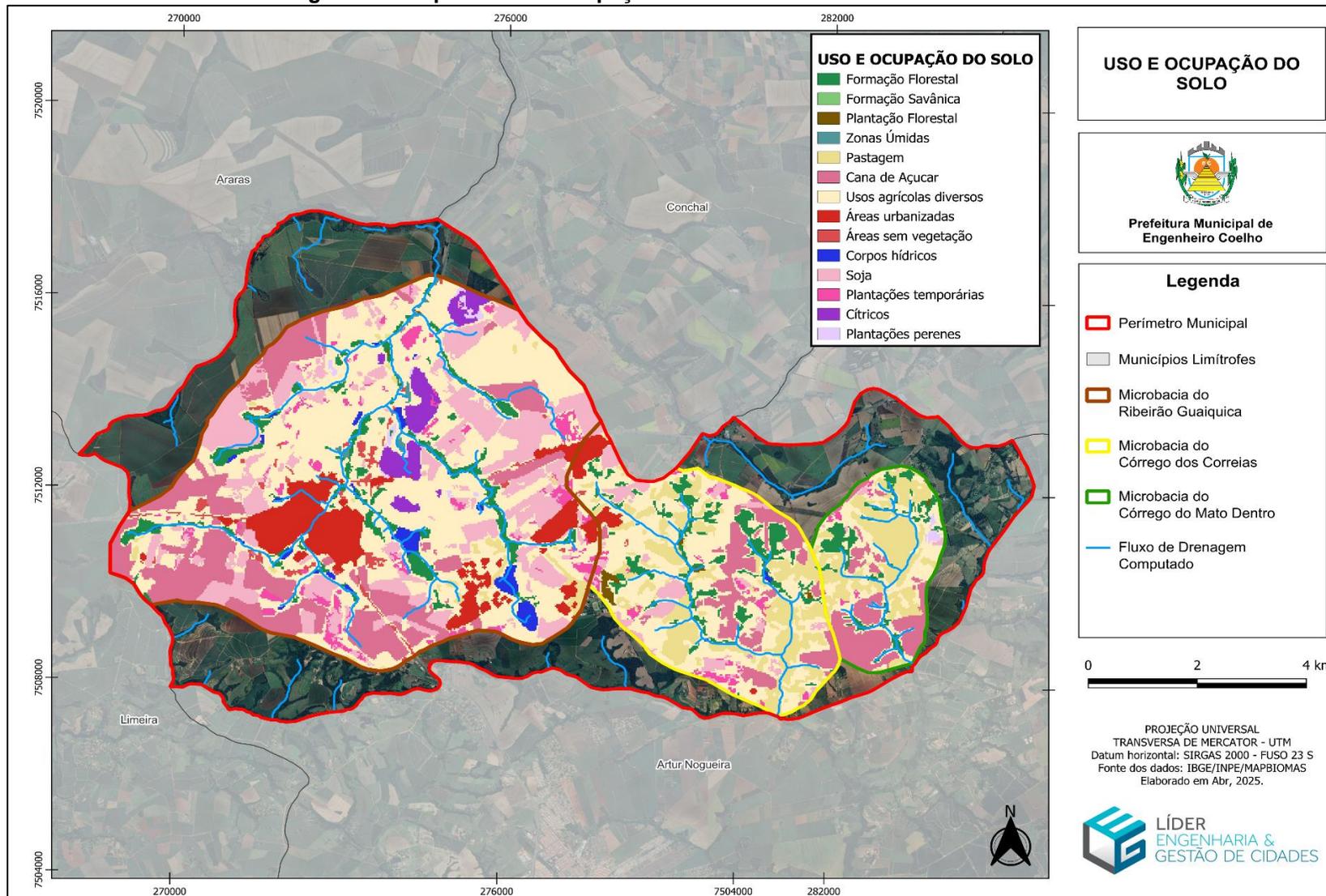
Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.4.2.2. 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 Engenheiro Coelho, sendo a imagem obtida pelo projeto TOPODATA, que apresenta resolução espacial de 30 metros.

A classificação do uso e ocupação do solo nas microbacias identificadas na zona rural de Engenheiro Coelho foi realizada com base nos dados disponibilizados pelo MapBiomas, uma iniciativa colaborativa que mapeia anualmente a cobertura e uso da terra no Brasil, permitindo o monitoramento contínuo das mudanças no território. A distribuição das classes de uso do solo para cada microbacia está representada no mapa a seguir.

Figura 45 - Mapa de uso e ocupação do solo nas microbacias identificadas.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

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. Em ordem crescente de capacidade de infiltração, as classes são as seguintes:

- Áreas urbanizadas;
- Solo Exposto;
- Agricultura / Vegetação rasteira;
- Vegetação Densa;

Na tabela a seguir são elencadas as respectivas classes e a área composta em cada uma das microbacias identificadas, com intuito de se analisar a capacidade de infiltração em cada uma delas.

Tabela 6 – Área (em km²) de cada classe identificada nas microbacias.

Microbacias	Vegetação Densa	Agricultura / Veg. rasteira	Solo Exposto	Áreas Urbanizadas
Guaiquica	3,43	41,18	1,38	3,9
Correias	1,79	11,12	3,93	0,47
Mato Dentro	0,77	4,32	2,53	-

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

A análise do uso e ocupação do solo nas microbacias da zona rural de Engenheiro Coelho evidenciou a predominância de áreas cobertas por vegetação rasteira ou utilizadas para atividades agrícolas, classes que, em geral, apresentam uma capacidade intermediária de infiltração da água no solo. Essa característica influencia diretamente o comportamento hidrológico das bacias, contribuindo para uma redução moderada do escoamento superficial.

Por outro lado, observou-se que as microbacias do Córrego Guaiquica e dos Correias apresentam uma proporção significativa de áreas urbanizadas e de solos expostos, classes que possuem baixa capacidade de infiltração e favorecem o escoamento superficial acelerado. Essa ocupação mais intensiva pode aumentar o



risco de erosão, assoreamento e ocorrência de picos de vazão durante eventos de chuva mais intensos.

De modo geral, verificou-se que as Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos cursos d'água estão, na maioria dos casos, bem vegetadas, o que contribui para a proteção dos recursos hídricos e para a estabilização das margens. Tal observação foi confirmada por meio das visitas de campo e pelos relatos obtidos nos questionários aplicados junto aos moradores. Algumas exceções pontuais foram registradas, mas não comprometem significativamente a condição geral de preservação das faixas marginais.

1.4.2.3. 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.

Para este trabalho, foram utilizados os estudos feitos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais (CPRM), vinculado ao Ministério de Minas e Energia, conhecido como Atlas Pluviométrico do Brasil

No caso do município de Engenheiro Coelho, será utilizada a equação de chuvas intensas desenvolvida para o município de Artur Nogueira através da série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set) da estação Artur Nogueira, códigos 02247100 (ANA) e D4-099 (DAEE). A equação utilizada para representar a intensidade da chuva é do tipo:

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d}$$

sendo:

i: intensidade da chuva, em mm/h;

t: duração da chuva em minutos;

T: período de retorno em anos;

a, b, c, d são parâmetros da equação.

$$a = 1796,9; b = 0,1502 ; c = 14,9 \text{ e } d = 0,8763$$

A tabela abaixo mostra as chuvas intensas calculadas para os diferentes tempos de retorno em cada microbacia identificada.

Tabela 7 - Valores da Equação de intensidade da chuva.

Bacia	Tc (min)	Intensidade para Diferentes TR (mm/h)			
		5 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Microbacia do Guaiquica	163,53	24,4	27,0	34,4	38,2
Microbacia dos Correias	113,38	32,52	36,09	45,95	51,00
Microbacia do Mato Dentro	62,27	50,76	56,33	71,74	79,61

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.

1.4.2.4. Métodos para Cálculos 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 a seguir: 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 maiores que 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.

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 a razão entre a largura média da bacia e o comprimento no sentido axial dela. 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:

$$Ff = B/L$$

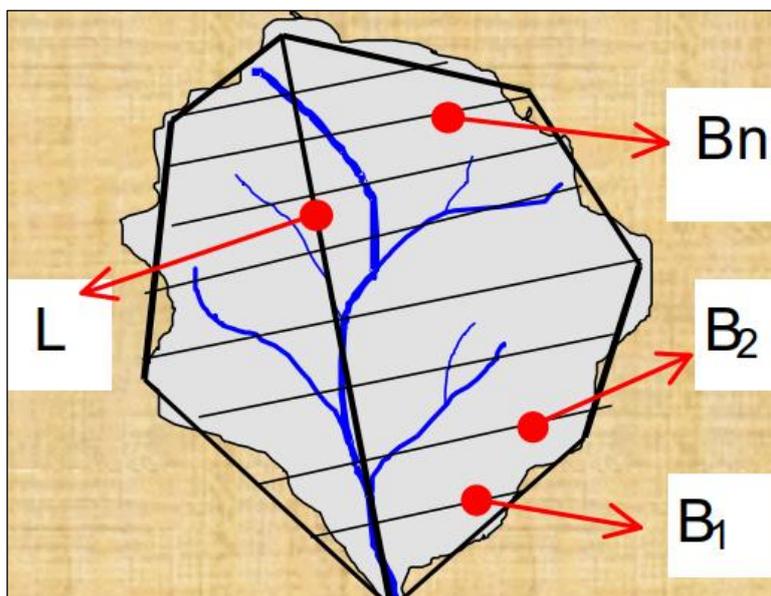
sendo:

L: comprimento da bacia

B: largura média, obtida pela fórmula:

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

Figura 46 - Determinação da largura média da bacia.



Fonte: Hidromundo, 2020.

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 8.

Tabela 8 - Valores para determinação de C2.

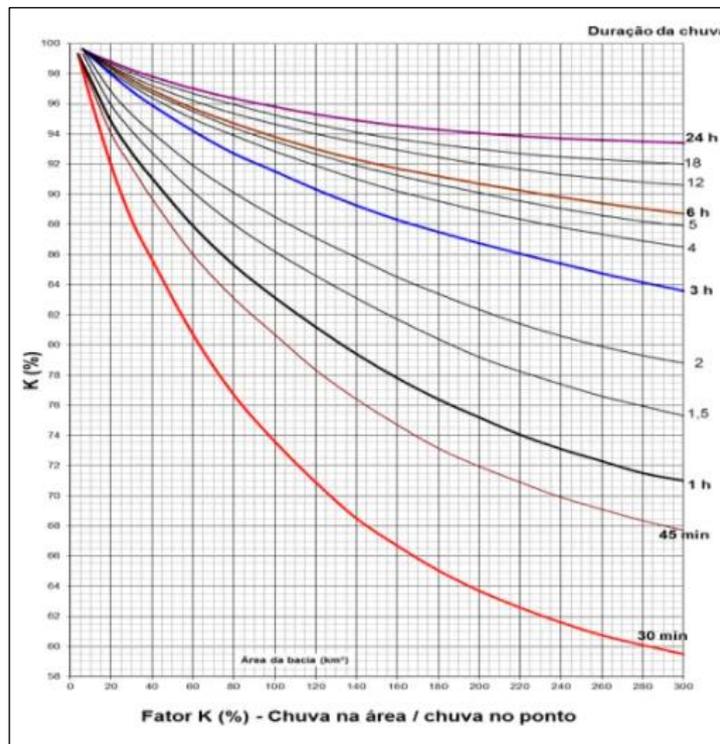
USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Fonte: DAAE, 2012.

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 47 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K).



Fonte: Projeto para Estudos Hidrológicos – Método de I-Pai-Wu, 1999.

Neste sentido, a Tabela 9 a seguir demonstra as vazões estimadas pelo Método I-PAI-WU para as três microbacias identificadas.

Tabela 9 - 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	50 Anos	100 Anos
1	60,06	66,46	84,67	94,03
2	26,01	28,86	36,74	40,78
3	16,74	18,57	23,65	26,25

Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.4.3. Drenagem das Águas Pluviais Associada às Estradas Rurais

A inadequação no manejo das águas pluviais em estradas rurais pode gerar graves problemas, principalmente no que se refere à erosão e ao comprometimento da estrutura das vias. A falta de drenagem eficiente contribui para o desgaste acelerado das estradas, com o acúmulo de água que resulta em deslizamentos de terra e o afundamento de partes da via. Esses danos afetam diretamente a segurança e a funcionalidade das estradas, tornando o transporte mais arriscado e dificultando o acesso às propriedades rurais.

Para minimizar os efeitos imediatos da erosão e evitar danos maiores, são utilizados muitas vezes cascalhos em algumas áreas das estradas. A aplicação desse material ajuda a estabilizar a superfície e a reduzir a formação de buracos, criando uma camada protetora contra o impacto direto da água da chuva, além de ser uma ação de baixo custo.

No entanto, essa medida, embora útil a curto prazo, não resolve o problema de forma definitiva, sendo necessário um plano de drenagem adequado e a implementação de soluções estruturais para evitar o agravamento das condições das estradas rurais.

Figura 48 – Exemplo de erosão em estrada rural.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Figura 49 – Exemplo de pedras utilizadas para o melhoramento da via.



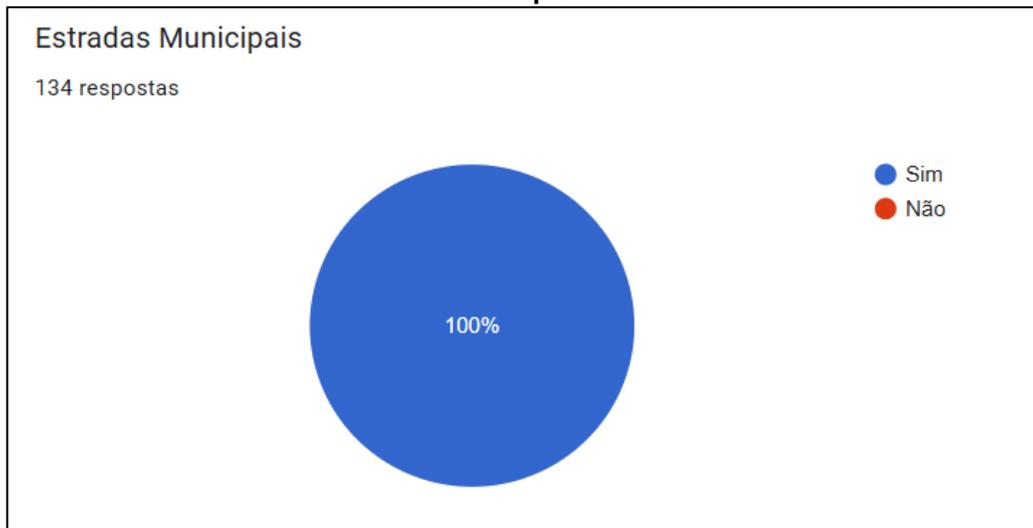
Fonte: Pedreira Jaguary, 2020.

De acordo com os resultados obtidos por meio dos questionários aplicados, a população rural de Engenheiro Coelho não relatou a ocorrência recorrente de processos erosivos nas estradas rurais. As observações registradas pelos moradores indicam que as estradas de responsabilidade municipal, em sua maioria, encontram-se em bom estado de conservação, resultado de manutenções recentes realizadas pelo poder público, o que tem contribuído para a adequada trafegabilidade e redução de impactos relacionados à erosão.

Entretanto, foi identificado que as estradas de uso particular, utilizadas como acesso às propriedades e cuja manutenção é de responsabilidade dos próprios proprietários, apresentam maior incidência de problemas, especialmente durante o período chuvoso. Entre os principais relatos estão a formação de buracos, sulcos e pequenas erosões, ocasionadas pela ausência de infraestrutura adequada para o escoamento das águas pluviais e pela falta de manutenção regular.

Os dados levantados fornecem subsídios importantes para o planejamento de ações de manejo e conservação do solo em áreas de circulação rural, e seus resultados estão sintetizados nos gráficos apresentados a seguir, os quais detalham a percepção dos moradores quanto ao estado de conservação das vias, diferenciando entre estradas municipais, particulares e de servidão.

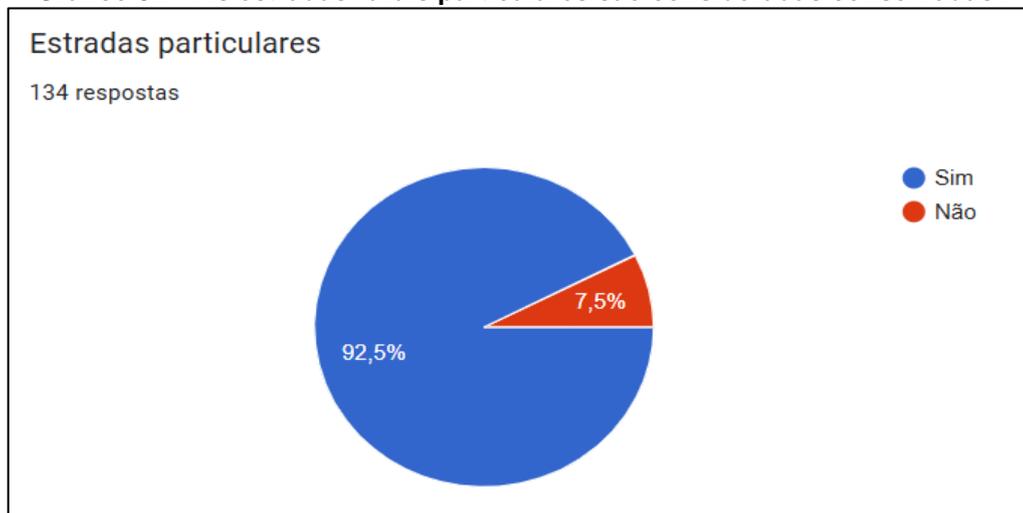
Gráfico 31 – As estradas rurais municipais são consideradas conservadas?



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

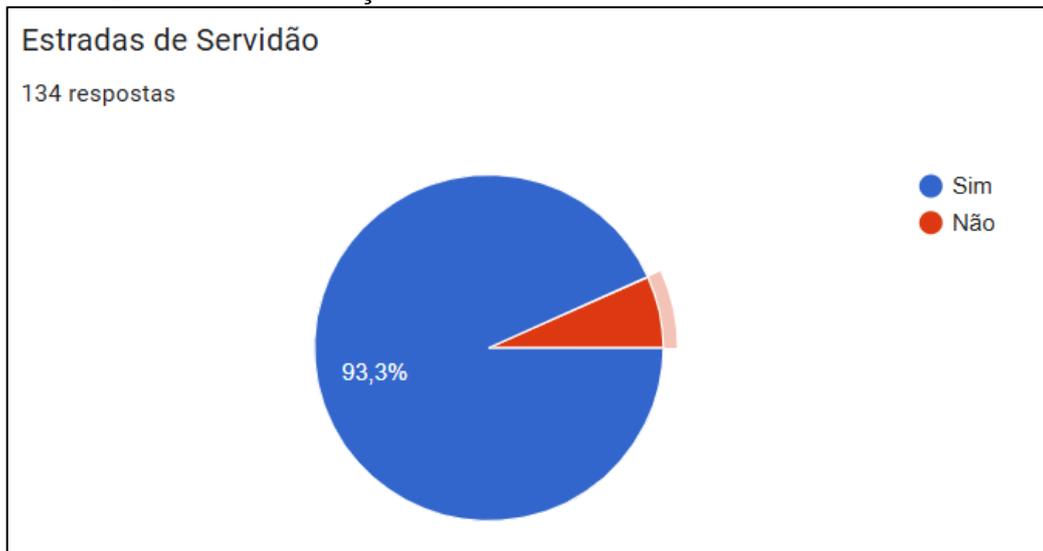
O questionamento também foi dividido para as estradas particulares e as de servidão. Desse modo, descobriu-se que 10 propriedades rurais amostradas consideram que as estradas particulares não estão conservadas e 09 propriedades apontaram que as de servidão não são conservadas.

Gráfico 32 – As estradas rurais particulares são consideradas conservadas?



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

Gráfico 33 – Estado de conservação das estradas de servidão de acordo com os municípios.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2025.

1.4.4. Sistema de Aproveitamento das 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 essencial 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.

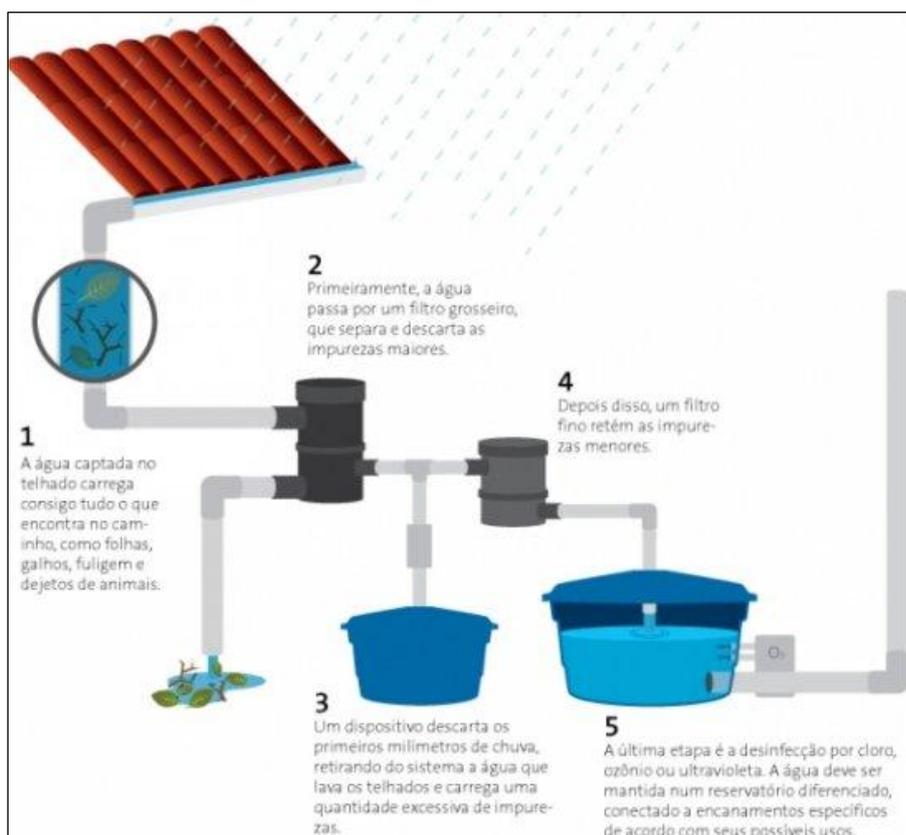
Além disso, o Programa Cisternas visa promover práticas sustentáveis por meio da implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo. Essas

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 50 - Modelo esquemático de telhado coletor de águas pluviais.



Fonte: Fonseca e Menezes Filho, 2019.

Figura 51 - Cisterna de superfície para armazenamento de águas pluviais.



Fonte: Comissão de Meio Ambiente – CMA, 2019.

Figura 52 – Sistema de irrigação de culturas agrícolas por gotejamento utilizando águas pluviais.



Fonte: Klaus Bernardino, 2021.

Nos contextos rurais, a gestão eficiente dos recursos hídricos é essencial para promover a sustentabilidade ambiental e assegurar o fornecimento adequado de água para as atividades agrícolas e as comunidades locais. Nesse cenário, os métodos de aproveitamento de águas pluviais destacam-se como soluções



inovadoras e sustentáveis, contribuindo para um uso mais responsável dos recursos naturais.

Conforme os resultados da pesquisa de campo, 32 das 134 propriedades rurais (cerca de 25%) cultivam hortaliças ou outras plantações, o que reforça a relevância do aproveitamento de águas pluviais para a irrigação. Apesar disso, a adesão a esses sistemas ainda é limitada, embora essa prática sustentável reduza os custos de produção e favoreça métodos de cultivo mais ecológicos.

1.4.5. 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 manejos inapropriados.

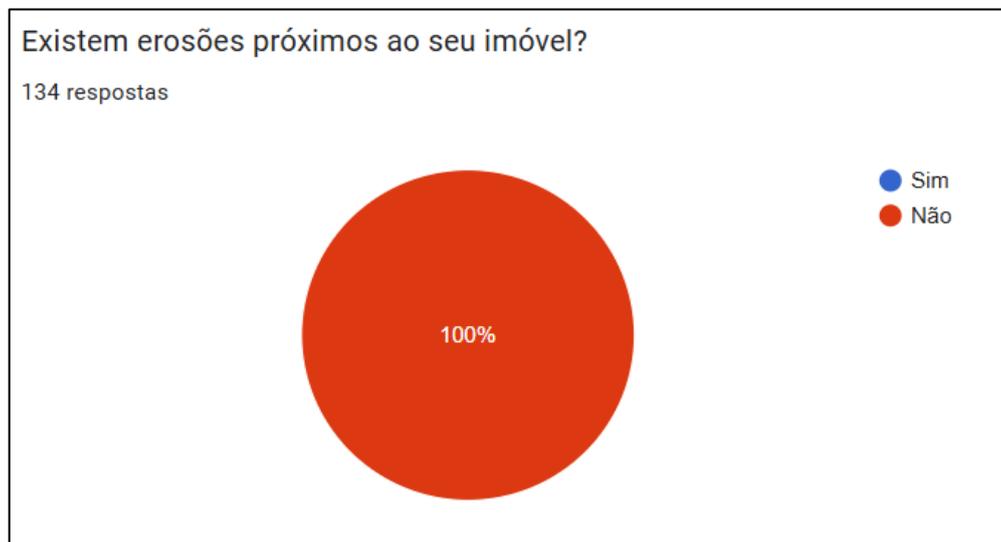
Existem duas classes distintas de erosão: a erosão acelerada, advinda das atividades antrópicas e a erosão geológica, ou natural. A primeira é caracterizada pelo alto poder destrutivo em um curto intervalo de tempo, enquanto a segunda é um processo lento e contínuo da evolução da superfície terrestre. 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 Engenheiro Coelho, de acordo com informações do Questionário aplicado, nenhuma propriedade identificou pontos de erosões próximos aos seus imóveis, como exposto pelo Gráfico 34, em muitos desses

casos, o entrevistado ressaltou que os processos erosivos já ocorreram no passado em períodos chuvosos, mas que não é uma realidade recorrente nos dias atuais.

Gráfico 34 - Identificação de pontos de erosão próximos às propriedades rurais.



Fonte: Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2024.

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, levando consigo terra e detritos. Isso pode causar a formação de ravinas maiores e mais profundas (Franco, 2015).

Figura 53 - Exemplo de ravinas.



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

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). Conforme demonstrado Figura 54.

Figura 54 - Exemplo de voçoroca.



Fonte: Mannarino, 2022. Adaptado por Líder Engenharia e Gestão de Cidades, 2024.

Durante a coleta de informações realizadas com os moradores do município de Engenheiro Coelho, foi constatado que não há relatos sobre a ocorrência de formação de ravinas e voçorocas ao redor de suas propriedades. Essa ausência de registro indica que, ao menos sob a percepção dos residentes, esses processos erosivos não representam um problema significativo nas áreas analisadas.



1.4.6. 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 Engenheiro Coelho, os quais embasarão as soluções propostas no Prognóstico.

- Ausência de dispositivos estruturais específicos para o manejo das águas pluviais na maioria das propriedades;
- Predomínio de soluções naturais de drenagem, com pouca ou nenhuma intervenção técnica;
- Dependência de características naturais do solo e da vegetação para a infiltração da água;
- Potencial risco de erosão em estradas particulares, principalmente em períodos chuvosos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL: Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias); Município: Engenheiro Coelho/SP; Estação Pluviométrica: Artur Nogueira, Código 02247100. Osvalcílio Mercês Furtunato Karine Pickbrenner Eber José de Andrade Pinto – Salvador: CPRM, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Regiões hidrográficas. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-atlantico-sudeste>.

Agropecuária. Disponível em: <<https://painel.seade.gov.br/agropecuaria/>>.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. PERFIL ENGENHEIRO COELHO, SP. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/351515>.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos.** 4ª Ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1996. 332 p.

BARROS, RT de V. *et al.* **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, v. 2, p. 221, 1995.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2007. Atualiza o Marco Legal do Saneamento.** Brasília, 2007.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília, 1997.

Câmara Municipal de Engenheiro Coelho. Disponível em: <<https://www.camaraengenheirocoelho.sp.gov.br/>>.



Câmara Municipal. **Lei Complementar nº 25, de 21 de novembro de 2022 – Institui a Política Municipal de Recursos Hídricos e dá outras providências.**

Disponível em:

<https://www.camaraengenheirocoelho.sp.gov.br/proposicoes/Projetos-de-Lei-Complementar/2022/1/0/9949>. Acesso em: mai. 2025.

CONDESU – CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Conheça o CONDESU. Disponível em:

<https://www.condesu.com.br/o-consorcio/>. Acesso em: fev. 2025.

CHOW, V. T. **Open Channel Hydraulics**. Edição Revisada. New York/Tokio: McGraw-Hill Kogakusha, International Students Edition, 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. Editora Blucher. São Paulo – SP. 1980.

CISBRA | Consórcio Intermunic. de Saneamento Básico da Reg. do Circuito das Águas. Disponível em: <<https://cisbra.eco.br/quem-somos/o-cisbra>>.

CLIMATE-DATA. **ENGENHEIRO COELHO, SP, BRASIL**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/engenheiro-coelho-34803/>>.

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.

Decreto Estadual nº 68.107, de 24 de novembro de 2023 (SP). Regulamenta a Lei nº 17.054/2019 no que diz respeito à logística reversa de embalagens de agrotóxicos: Disponível em:



<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2023/decreto-68107-24.11.2023.html>.

Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). **Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos – Ribeirão Guaiaquica**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 13/02/2020. Disponível em: https://diariooficial.imprensaoficial.com.br/doflash/prototipo/2020/Fevereiro/13/exec1/pdf/pg_0045.pdf. Acesso em: mai. 2025.

Departamento de Águas e Energia Elétrica. (2020). **Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo – Diagnóstico da Situação Atual**.

Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde - DATASUS. Tecnologia da Informação do Serviço Único de Saúde. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?ibge/cnv/popmg.def>>

GeoSEADE. Disponível em: <<https://portalgeo.seade.gov.br/i3geo/interface/osm.php>>.

IBGE. Banco de dados de informações ambientais - Bdia. **Geologia**. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>>

IBGE. **Cidades Engenheiro Coelho**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/engenheirocoelho/panorama>.

IBGE, **CIDADES E ESTADOS**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/engenheirocoelho.html>>.

IBGE. **Engenheiro Coelho – Histórico**. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/engenheirocoelho/historico>>.

Imóveis. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>

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



Lei Estadual nº 17.054, de 06 de maio de 2019 (SP): Dispõe sobre o controle e fiscalização do uso, comercialização, produção e armazenamento dos agrotóxicos e afins, e trata da devolução das embalagens vazias. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2019/lei-17054-06.05.2019.html>

Ministério da Saúde. **Portaria da Consolidação nº 5 de setembro de 2017.** Brasília: 2017.

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB.** Brasília: 2008.

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

PLANO MUNICIPAL DE MOBILIDADE URBANA. Engenheiro Coelho/SP: 2018.

PLANO MUNICIPAL DE SAÚDE. Engenheiro Coelho/SP: 2022-2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ENGENHEIRO COELHO. **Melhor Caminho: programa de recuperação das estradas rurais do município.** 2023. Disponível em: <https://pmec.sp.gov.br/melhor-caminho-programa-de-recuperacao-das-estradas-rurais-do-municipio/#:~:text=A%20Prefeitura%20de%20Engenheiro%20Coelho,o%20equivalente%20a%206%20quil%C3%B4metros>. Acesso em: fev. 2025.

Portal da Transparência do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.transparencia.sp.gov.br/Home/MapGraph>.

Saúde. Disponível em: <https://painel.seade.gov.br/saude/>.

Secretaria de Meio Ambiente. **Plano de Recursos Hídricos da UGRHI 9 – Baixo Piracicaba.** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2015. Disponível em:



https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/10/prs_ugrhi_9_2015.pdf. Acesso em: mai. 2025.

Serviço Geológico do Brasil. (2011). **Mapa Hidrogeológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. (2010). **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia.

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

TECNIPAR AMBIENTAL. **Biodigestor**. 2019. Disponível em: <https://www.tecnipar.com.br/produtos/biodigestor/>. Acesso em: 19 maio 2025.