



Mapeamento Geológico e Hidrogeológico do Município de Joinville-SC

Produto P7 - Mapa Hidrogeológico e de
Favorabilidade Hídrica Subterrânea

Agosto 2021



Prefeitura de
Joinville



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M297 Mapeamento geológico e hidrogeológico do município de Joinville, SC: produto 7, mapa hidrogeológico e de favorabilidade hídrica subterrânea / Organização Marcos Alexandre de Freitas; Eliel Martins Senhorinho; Marcelo Goffermann; Giana Grupioni Rezende. – Porto Alegre : CPRM, 2021.
1 Recurso eletrônico : PDF

ISBN 978-65-5664-209-3

1. Geologia Regional. 2. Hidrogeologia. 3. Santa Catarina I. Freitas, Marcos Alexandre de (org.). II. Senhorinho, Eliel Martins (org.). III. Goffermann, Marcelo (org.) IV. Rezende, Giana Grupioni (org.) V. Título.

CDD 558.164

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Lúcia Coelho CRB 10-840

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE - SC

**PRODUTO 7 | MAPA HIDROGEOLÓGICO E DE
FAVORABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA**

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL | CPRM DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Superintendente

Alexandre Trevisan Chagas (interino)

Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Carla Klein

Gerência de Infraestrutura Geocientífica

Ana Cristina Bomfim Peixoto

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial

Franco Turco Buffon

Gerência de Administração e Finança

Alexandre Trevisan Chagas

EQUIPE EXECUTORA

COORDENADOR E RESPONSÁVEL TÉCNICO

Geólogo DSc Marcos Alexandre de Freitas

Supervisores

Geólogo DSc Bruno Ludovico Dihl Horn

Geólogo DSc Jorge Henrique Laux

Geólogo MSc Marcelo Goffermann

Executores

Geólogo DSc Bruno Ludovico Dihl Horn

Geóloga DSc Carla Klein

Geólogo MSc Carlos Augusto Provenzano

Geólogo MSc Carlos Moacyr da Fontoura Iglesias

Geólogo Eliel Martins Senhorinho

Geóloga MSc Isadora Aumond Kuhn

Geólogo MSc Leandro Menezes Betiollo

Geólogo MSc Marcelo Goffermann

Geólogo DSc Marcos Alexandre de Freitas

Geóloga MSc Paloma Gabriela Rocha

Engenheira Cartógrafa Giana Grupioni Rezende

Engenheira Hidróloga MSc Adriana Burin Weschenfelder

Engenheira Hidróloga MSc Camila Dalla Porta Mattiuzi

Engenheira Hidróloga MSc Karine Pickbrenner

Engenheira Hidróloga MSc Marta Rubbo

Técnicos em Geociências

Bruno Francisco B. Schiehl

Clézio Ribeiro Santos

Luís Alberto da Costa e Silva

Pedro Cesar de Freitas

Ramon Darwin de Araújo

Estagiários

Andrey Martins de Lima

Elisa Valéria Bonho Link Barbosa

Henrique Pereira dos Santos

Apoio

Geóloga MSc Débora Lamberty

Geólogo Renato Ribeiro Mendonça

Geólogo DSc Roberto Eduardo Kirchheim

Estagiária de Geologia Graziela Beatriz de Lima

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

| PROGRAMA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL |

MAPEAMENTO GEOLÓGICO **E HIDROGEOLÓGICO DO** **MUNICÍPIO DE JOINVILLE - SC**

PRODUTO 7 | MAPA HIDROGEOLÓGICO E DE
FAVORABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

ORGANIZADORES

Marcos Alexandre de Freitas
Eliel Martins Senhorinho
Marcelo Goffermann
Giana Grupioni Rezende



Prefeitura de
Joinville



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM

Porto Alegre
Agosto de 2021



Foto: Carlos Provetziano

SUMÁRIO

1. Considerações Iniciais.....	19
2. Aspectos Metodológicos.....	20
2.1 Introdução.....	20
2.2 Mapa Hidrogeológico.....	20
2.3 Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea.....	22
3. Mapeamento Hidrogeológico.....	23
3.1 Unidades Hidroestratigráficas.....	23
3.2 Unidades Hidroestratigráficas de Joinville.....	23
3.2.1 Domínio Hidrogeológico Fraturado (Fr).....	25
3.2.1.1 Unidade Hidroestratigráfica Barra Velha (A4PP2 μ bv).....	25
3.2.1.2 Unidade Hidroestratigráfica Gnaisses Granulíticos Luís Alves (A4PP2la).....	26
3.2.1.3 Unidade Hidroestratigráfica Paragnaisses Luís Alves (A4PP2glg).....	27
3.2.1.4 Unidade Hidroestratigráfica Quartzitos Luís Alves (A4PP2glq).....	28
3.2.1.5 Unidade Hidroestratigráfica Rio da Luz (PP2 μ rl).....	29
3.2.1.6 Unidade Hidroestratigráfica Dona Francisca (NP3 γ mdf).....	30
3.2.1.7 Unidade Hidroestratigráfica Piraí (NP3 γ mpi).....	31
3.2.1.8 Unidade Hidroestratigráfica Serra de São Miguel (NP3cam).....	31
3.2.1.9 Unidade Hidroestratigráfica Rio Negrinho (NP3can).....	33
3.2.1.10 Unidade Hidroestratigráfica Diques de Diabásio (K1 δ db).....	33
3.2.1.11 Unidade Hidroestratigráfica Intrusivas Alcalinas (K γ).....	35
3.2.2 Domínio Hidrogeológico Granular (Gr).....	35
3.2.2.1 Unidade Hidroestratigráfica São Bento/Papanduvinha (NP3bcg).....	35
3.2.2.2 Unidade Hidroestratigráfica Rio do Bugre (NP3brb).....	36
3.2.2.3 Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo (Q2el).....	36
3.2.2.4 Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar (Q2a).....	38
3.2.2.5 Unidade Hidroestratigráfica Paleoestuarino (Q2pe).....	38
3.2.2.6 Unidade Hidroestratigráfica Coluvionar (Q2co).....	40
3.2.2.7 Unidade Hidroestratigráfica Colúvio-aluvionar (Q2ca).....	41
3.2.2.8 Unidade Hidroestratigráfica Turfeiras (Q2tf).....	41
3.2.2.9 Unidade Hidroestratigráfica Pântanos e Mangues (Q2pm).....	42
3.3 Bloco-Diagrama das Unidades Hidrogeológicas.....	42
3.4 Mapa Hidrogeológico.....	44
3.4.1 Legenda Hidrogeológica.....	44
3.4.2 Mapas de Encarte.....	44

3.4.2.1 Domínios Geológicos.....	44
3.4.2.2 Domínios Hidrogeológicos.....	44
3.4.2.3 Padrões de Relevô.....	46
3.4.2.4 Potenciometria.....	47
3.4.2.5 Vulnerabilidade Natural à Contaminação.....	49
3.4.2.6 Zoneamento Hidrogeoquímico.....	49
3.4.2.7 Recarga Total Anual.....	49
3.4.2.8 Altimetria.....	51
3.4.2.9 Densidade de Pontos Cadastrados.....	51
3.4.2.10 Volumes Anuais Explotados.....	52
3.4.3 Seções Hidrogeológicas.....	53
4. Parâmetros Hidrodinâmicos e Ensaios de Bombeamento.....	55
4.1 Introdução.....	55
4.2 Parâmetros Hidrodinâmicos.....	55
4.2.1 Condutividade Hidráulica (K).....	55
4.2.2 Transmissividade (T).....	56
4.2.3 Coeficiente de Armazenamento (s).....	56
4.2.4 Capacidade Específica (q).....	56
4.3 Testes de Bombeamento Para Determinação de Parâmetros Hidrodinâmicos.....	56
4.3.1 Métodos de cálculos dos parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos.....	57
4.3.2 Análise de Recuperação.....	57
4.3.3 Ensaios de Bombeamento realizados.....	59
4.3.1.1 Poço JAP007.....	61
4.3.1.2 Poço JEL032.....	62
4.3.1.3 Poço JML010.....	65
4.3.1.4 Poço JML009.....	67
4.3.1.5 Poço JML007.....	70
4.3.4 Ensaios de Bombeamento Compilados.....	72
4.4 Conclusões.....	78
5. Estimativa de Recarga dos Aquíferos.....	79
5.1 Introdução.....	79
5.2 Metodologia de Estimativa da Recarga Natural.....	79
5.2.1 Precipitação.....	79
5.2.2 Escoamento Superficial.....	80
5.2.3 Evapotranspiração Potencial e Real.....	82
5.2.4 Recarga Natural.....	83
5.3 Metodologia de Estimativa da Recarga Urbana.....	84

5.3.1 Recarga a partir das perdas em redes de distribuição de água	84
5.3.2 Recarga a partir das perdas em redes coletoras de esgotos	85
5.3.3 Recarga a partir da infiltração de esgotos não coletados	85
5.4 Resultados	86
5.4.1 Precipitação.....	86
5.4.2 Escoamento Superficial	90
5.4.3 Evapotranspiração Potencial e Real.....	93
5.4.4 Recarga Natural.....	95
5.4.5 Recarga Urbana	103
5.4.6 Recarga Total	105
5.5 Conclusões	107
6. Isotopia	108
6.1 Introdução	108
6.2 Isótopos Ambientais	108
6.3 Referência Isotópica de Chuva	108
6.4 Resultados Isotópicos de Joinville	111
6.4.1 Dados Coletados	111
6.4.2 Dados Compilados.....	117
6.5 Conclusões	120
7. Favorabilidade Hídrica Subterrânea	121
7.1 Introdução	121
7.2 Cálculo do Índice de Favorabilidade	121
7.2.1 Densidade de Lineamentos Estruturais	121
7.2.2 Condutividade Hidráulica Estimada	123
7.2.3 Litologia.....	124
7.2.4 Recarga Anual Total.....	126
7.2.5 Topografia	127
7.3 Resultados	128
8. Considerações Finais	131
9. Referências	132
10. Reponsáveis Técnicos.....	136
11. Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000	137
12. Apêndice B – Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea - Escala 1:50.000	138
13. Apêndice C – Planilha dos Ensaios de Bombeamento Realizados	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema para classificação de aquíferos quanto à porosidade e potencialidade segundo a Convenção Internacional de Cores para Mapas Hidrogeológicos (modificada de Struckmeier e Margat, 1995).....	20
Figura 2.2 Forma de apresentação dos poços representativos no mapa hidrogeológico.....	21
Figura 3.1 Mapa geológico e crono-estratigrafia do Município de Joinville – SC.....	24
Figura 3.2 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Barra Velha.....	26
Figura 3.3 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Gnaisses Granulíticos Luís Alves.....	27
Figura 3.4 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Paragnaisses Luís Alves.....	28
Figura 3.5 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Quartzitos Luís Alves.....	29
Figura 3.6 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio da Luz.....	30
Figura 3.7 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Dona Francisca.....	31
Figura 3.8 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Piraí.....	32
Figura 3.9 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Serra de São Miguel.....	32
Figura 3.10 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio Negrinho.....	33
Figura 3.11 Ocorrência da unidade hidroestratigráfica Diques de Diabásio.....	34
Figura 3.12 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Intrusivas Alcalinas.....	34
Figura 3.13 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica São Bento/Papanduvinha.....	36
Figura 3.14 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio do Bugre.....	37
Figura 3.15 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo.....	37
Figura 3.16 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar.....	39
Figura 3.17 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Paleoestuarino.....	39
Figura 3.18 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Coluvionar.....	40
Figura 3.19 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Coluvio-aluvionar.....	41
Figura 3.20 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Turfeiras.....	42
Figura 3.21 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Pântanos e Mangues.....	43
Figura 3.22 Bloco-diagrama das unidades hidroestratigráficas mapeadas.....	43
Figura 3.23 Encarte de Domínios Geológicos.....	45
Figura 3.24 Encarte de Domínios Hidrogeológicos.....	45
Figura 3.25 Encarte Padrões de Relevos.....	46
Figura 3.26 Padrões de relevo em visualização 3D.....	47
Figura 3.27 Encarte da potenciometria do aquífero granular livre.....	48
Figura 3.28 Equipotenciais e sentido de fluxo regional do aquífero granular livre sobre o modelo digital de elevação.....	48

Figura 3.29 Encarte de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, representada pelos índices DRASTIC (Aller <i>et al.</i> , 1985).....	49
Figura 3.30 Encarte Zoneamento Hidrogeoquímico das Águas Subterrâneas.....	50
Figura 3.31 Encarte Recarga Total Anual.....	50
Figura 3.32 Encarte Altimetria.....	51
Figura 3.33 Encarte Densidade de Pontos Cadastrados.....	52
Figura 3.34 Encarte Volume Anual Explotado.....	53
Figura 3.35 Seções hidrogeológicas A-A' e B-B'.....	54
Figura 4.1 Rebaixamento Residual (<i>residual drawdown</i>) medido em cada instante da recuperação em relação ao nível estático original, após cessar o bombeamento do poço. A medida de recuperação é computada logo após a última medida de rebaixamento (<i>drawdown</i>) a que o poço foi submetido no ensaio. Extraído de Kruseman e de Ridder (1970).....	58
Figura 4.2 Localização dos ensaios de bombeamento realizados pelo SGB-CPRM para o estudo hidrogeológico.....	60
Figura 4.3 Ensaio de bombeamento no poço JAP007.....	61
Figura 4.4 Imagens da perfilagem óptica no poço JEL032: a) Filtros para captar água do aquífero freático; b) Final do revestimento; c) Rocha gnáissica do embasamento cristalino; d) Fraturas de pequeno porte em rochas gnáissicas.....	63
Figura 4.5 Ensaio de bombeamento realizado no poço JEL-032.....	64
Figura 4.6 Imagens internas do poço JML010 obtidas através da perfilagem óptica: a) Seção filtrante com material preenchendo as ranhuras dos filtros; b) Final do revestimento com fragmentos de rocha na junção com a rocha; c) Rocha granítica maciça;.....	66
Figura 4.7 Ensaio de bombeamento do poço JML010.....	66
Figura 4.8 Imagens internas do poço feitas pela perfilagem óptica: a) Filtros; b) Filtros colmatados e com material em suspensão.....	68
Figura 4.9 Ensaio de bombeamento do poço JML009.....	68
Figura 4.10 Teste de vazão executado no poço JML007.....	70
Figura 4.11 Imagens internas do poço JML-007: a) Fratura aberta na rocha; b) Rosca oxidada do revestimento galvanizado; c) Final do revestimento aos 53,82 metros; d) Fratura aberta na rocha cristalina.....	71
Figura 4.12 Localização dos poços nos quais os ensaios de bombeamento foram compilados, separados pelo tipo de aquífero do qual ocorre a principal entrada de água no poço.....	73
Figura 4.13 Perfil geológico e construtivo com informações necessárias para a avaliação hidrogeológica e cálculo dos parâmetros dos aquíferos.....	76
Figura 5.1 Mapa de localização, relevo, estações pluviométricas e sub-bacias hidrográficas de Joinville.....	87
Figura 5.2 Hietograma dos totais de precipitação média mensal da estação Primeiro Salto do Cubatão (1987-2014) e da estação Ponte SC (1987-2014).....	88
Figura 5.3 Mapa de solo classificado segundo grupo hidrológico.....	91

Figura 5.4 Mapa de uso e ocupação do solo em Joinville.	91
Figura 5.5 Mapa de declividade (em %) em Joinville.	92
Figura 5.6 Mapa de CN corrigido pela declividade.	92
Figura 5.7 Evapotranspiração de referência mensal de longo período.	94
Figura 5.8 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) por Bacia Hidrográfica.	96
Figura 5.9 Relação entre a precipitação anual e a recarga anual para as bacias hidrográficas de Joinville.	101
Figura 5.10 Mapa de Recarga Média Anual Natural por uso e ocupação, em mm.	102
Figura 5.11 Mapa de Recarga Média Anual Natural por Bacia Hidrográfica, em mm e hm ³	102
Figura 5.12 Mapa de Recarga Média Anual Urbana por uso e ocupação urbano, em mm.	104
Figura 5.13 Mapa de Recarga Média Anual Urbana por Bacia Hidrográfica, mm e hm ³	105
Figura 5.14 Mapa de Recarga Total Média Anual por uso e ocupação, em mm.	106
Figura 5.15 Mapa de Recarga Total Média Anual por Bacia Hidrográfica, em mm e hm ³	106
Figura 6.1 Relação entre precipitação pluviométrica e $\delta^{18}O$ na estação de Porto Alegre entre 1957 e 1983.	110
Figura 6.2 Relação entre precipitação pluviométrica e δ^2H na estação de Porto Alegre entre 1957 e 1983.	111
Figura 6.3 Distribuição espacial dos valores de $\delta^{18}O$ para as águas subterrâneas coletadas.	115
Figura 6.4 Distribuição espacial dos valores de δ^2H para as águas subterrâneas coletadas.	115
Figura 6.5 Distribuição espacial dos valores de excesso de deutério para as águas subterrâneas coletadas.	116
Figura 7.1 Mapa de lineamentos morfoestruturais traçados na escala 1:50.000.	122
Figura 7.2 Mapa de densidade de lineamentos reclassificada segundo as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.	122
Figura 7.3 Condutividade hidráulica estimada reclassificada dos aquíferos conforme as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.	123
Figura 7.4 Litologias reclassificadas segundo as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.	126
Figura 7.5 Mapa das classes de recarga anual média reclassificada.	127
Figura 7.6 Classes de declividade reclassificadas para o cálculo do índice de favorabilidade hidrogeológica.	128
Figura 7.7 Mapa dos índices de favorabilidade hídrica subterrânea.	129
Figura 7.8 Áreas de alta possibilidade de ocorrência de água subterrânea no aquífero fraturado.	130
Figura 7.9 Áreas de alta possibilidade de ocorrência de água subterrânea no aquífero granular.	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Curva de rebaixamento x tempo no poço JAP007.	62
Gráfico 4.2 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JAP007, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.....	62
Gráfico 4.3 Rebaixamento x tempo do poço JEL-032.	64
Gráfico 4.4 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JEL032, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.....	65
Gráfico 4.5 Rebaixamento x tempo do poço JML010.	67
Gráfico 4.6 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JML010, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.....	67
Gráfico 4.7 Rebaixamento x tempo do poço JML009.	69
Gráfico 4.8 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JML009, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.....	69
Gráfico 4.9 Rebaixamento x tempo do poço JML007.	71
Gráfico 4.10 Recuperação pelo tempo após cessar o bombeamento do poço JML007.	72
Gráfico 6.1 <i>Plot</i> de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas meteóricas, subterrâneas e superficiais de Joinville – SC. Amostras meteóricas de Joinville espacializadas pelos marcadores triangulares em cinza; amostras de água superficial, indicadas pelos marcadores em azul escuro, e subterrâneas, indicadas por marcadores circulares em azul claro. O gráfico de dispersão linear contém a Linha Meteórica Local Global (GMWL) ($\delta^2\text{H}=8*\delta^{18}\text{O} + 10$) para a melhor compreensão do comportamento isotópico das amostras local.....	116
Gráfico 6.2 <i>Plot</i> de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras meteóricas (chuva) de Porto Alegre (RS) representadas por dados históricos da <i>Global Network of Isotopes in Precipitation</i> (GNIP) de 1957 a 1983, indicadas pelos marcadores triangulares em azul claro. Dados isotópicos de Joinville, dispersas dentro do círculo vermelho. O gráfico de dispersão linear contém a Linha Meteórica Local de Porto Alegre, para os dados históricos (LMWL) ($\delta^2\text{H} = 7.71*\delta^{18}\text{O} + 10.83$) e a Linha Meteórica Global (GMWL) ($\delta^2\text{H}=8.0*\delta^{18}\text{O} + 10.0$).	117
Gráfico 6.3 <i>Plot</i> de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas superficiais e subterrâneas GNIP – Joinville e dos dados bibliográficos (Barros, 2005).....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Sistema de classificação para a produtividade de aquíferos adotada pelo SGB-CPRM, elaborado por Diniz et al. (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995).....	59
Tabela 4.2 Resumo dos dados dos ensaios de bombeamento efetuados pelo SGB-CPRM em Joinville – SC.	60
Tabela 4.3 Parâmetros hidrodinâmicos calculados com os dados de teste de bombeamento compilados.	74
Tabela 4.4 Estatística dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços com captação mista e exclusiva o do aquífero fraturado.	77
Tabela 6.1 Dados Isotópicos das amostras de água subterrânea e superficial coletadas em Joinville.	111
Tabela 6.2 Dados Isotópicos de amostras de águas superficiais e subterrâneas na região da Baía de Babitonga (Barros, 2005).	118
Tabela 7.1 Densidade de lineamento e suas respectivas notas.	123
Tabela 7.2 Notas atribuídas às unidades hidroestratigráficas de acordo com sua condutividade hidráulica estimada.	124
Tabela 7.3 Notas atribuídas para as litologias da área de estudo.	125
Tabela 7.4 Notas atribuídas para os intervalos de recarga na área de estudo.	126
Tabela 7.5 Classes de declividade e respectivas notas para o cálculo do índice de favorabilidade hídrica subterrânea.	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 Estimativas consideraram valores de tempo de bombeamento médios com base nos diferentes tipos de uso.....	53
Quadro 4.1 Condutividade hidráulica de alguns materiais, modificado de Feitosa <i>et al.</i> (2005).....	55
Quadro 4.2 Representação das classes de produtividade de aquífero adotadas para o mapeamento hidrogeológico de Joinville – SC, conforme o sistema de classificação elaborado por Diniz <i>et al.</i> (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995), e adotado pelo SGB-CPRM. *Valores válidos para testes de bombeamento de pelo menos 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m.	76
Quadro 5.1 Estatísticas descritivas dos totais anuais de precipitação no período de 1987 a 2014.	86
Quadro 5.2 Relação das estações pluviométricas consistidas e selecionadas.	89
Quadro 5.3 Coeficientes de correção da precipitação mensal.	90
Quadro 5.4 Estações fluviométricas.	93
Quadro 5.5 Relação das estações meteorológicas.	93
Quadro 5.6 Coeficientes de correção da evapotranspiração potencial mensal.	94
Quadro 5.7 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) por Bacia Hidrográfica.	95
Quadro 5.8 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Cachoeira.	97
Quadro 5.9 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Cubatão.	97
Quadro 5.10 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Itapocuzinho.	98
Quadro 5.11 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Palmital.	98
Quadro 5.12 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Paraná.	99
Quadro 5.13 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Piraí.	99
Quadro 5.14 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia Independentes da Vertente Leste.....	100
Quadro 5.15 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia Independentes da Vertente Sul.	100
Quadro 5.16 Comprimento de redes por bacia hidrográfica.	103
Quadro 5.17 Dados para o cálculo da perda por comprimento de rede (m ³ /m).	103
Quadro 5.18 Síntese das recargas médias naturais e urbanas por bacia hidrográfica (mm/ano).	104
Quadro 5.19 Síntese das recargas médias naturais e urbanas por bacia hidrográfica (mm/ano e hm ³ /ano).	105

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

ANA – Agência Nacional de Águas

BDMEP – Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa

CAD – Capacidade de Água Disponível

CAJ – Companhia Águas de Joinville

DRASTIC – *Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone and Conductivity of the aquifer method*

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão

GDB – *Geodatabase*

GNIP – *Global Network for Isotopes in Precipitation*

IAH – *International Association of Hydrogeology*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

MDT – Modelo Digital de Terreno

NRCC – *National Resources Conservation Center (USA)*

PMJ – Prefeitura Municipal de Joinville

SCS – *Soil Conservation Service (USA)*

SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SPT – *Standard Penetration Test*

TSD – Total de Sais Dissolvidos

VSMOW - Padrão de Viena da Média das Águas do Oceano



Foto: Marcelo Goffermann



Foto: Marcelo Goffermann

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os mapas hidrogeológicos possibilitam a caracterização e entendimento dos recursos hídricos subterrâneos de uma determinada área ou região. São basicamente direcionados a fornecer informações sobre a ocorrência e distribuição das águas subterrâneas, e, ainda, a estabelecer a base de compreensão entre as águas subterrâneas e o meio ambiente, destinando-se, sobretudo ao gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

Este documento tem por objetivo apresentar a descrição das unidades hidrogeológicas mapeadas, sua potencialidade hídrica subterrânea, balanço hídrico, qualidade química e o uso da água subterrânea no município de Joinville – SC.

Os seguintes mapas encontram-se ao fim deste relatório: Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000 e Apêndice B – Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea - Escala 1:50.000. Tais mapas, juntamente com as principais captações de água subterrânea cadastradas e demais informações, compõem um SIG – Sistema de Informações Geográficas – em formato GDB – *Geodatabase*.

Os capítulos 1, 2, 3, 7 e 8 foram redigidos pelos hidrogeólogos Marcos Alexandre de Freitas e Eliel Martins Senhorinho. O capítulo 4 é de responsabilidade do hidrogeólogo Marcelo Goffermann. O capítulo 5 foi escrito pelas engenheiras hidrólogas Camila Dalla Porta Mattiuzi, Adriana Burin Weschenfelder e Karine Pickbrenner. O capítulo 6 foi elaborado pelo hidrogeólogo Roberto Eduardo Kirchheim e pela estagiária de geologia Graziela Beatriz de Lima. O rigor cartográfico bem como a editoração dos mapas aqui apresentados é de responsabilidade da engenheira cartógrafa Giana Grupioni Rezende e do geólogo Eliel Martins Senhorinho. A identificação dos padrões de relevo e confecção dos bloco-diagramas 3D é de autoria do geólogo Renato Ribeiro Mendonça. A geóloga Débora Lamberty colaborou com a revisão e editoração do texto deste relatório. As citações e referências bibliográficas foram normalizadas pela bibliotecária Ana Lúcia Borges Fortes Coelho. Os estagiários Andrey Martins de Lima (geologia), Elisa Valéria Bonho Link Barbosa (geologia) e Henrique dos Santos (engenharia cartográfica) auxiliaram na confecção dos mapas, figuras e tabelas deste produto.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 Introdução

Este item aborda os critérios metodológicos utilizados para a confecção do mapa hidrogeológico (Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000) e do mapa de favorabilidade hídrica subterrânea do município de Joinville – SC (Apêndice B – Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea - Escala 1:50.000). Ambos os mapeamentos foram baseados na reunião das informações coletadas e interpretadas durante o cadastramento de poços, estudo hidrogeoquímico, mapeamento da vulnerabilidade natural e da geologia.

2.2 Mapa Hidrogeológico

A confecção do mapa hidrogeológico de Joinville – SC é baseada na tabela de Struckmeier e Margat (1995) – modificada em Diniz *et al.* (2012, 2014), que corresponde à metodologia oficial da CPRM para cartografia hidrogeológica. As unidades geológicas foram interpretadas em relação à porosidade e classificadas, conforme seu comportamento aquífero, em porosas e fraturadas, no eixo horizontal, e em relação a sua potencialidade, no eixo vertical (Figura 2.1). Nesta classificação é importante salientar o enquadramento das unidades geológicas em grupos que levam em conta tão somente aspectos de continuidade das formações e forma de ocorrência do fluxo de água subterrânea, não sendo analisadas produtividades hídricas ou aspectos estratigráficos destas formações.

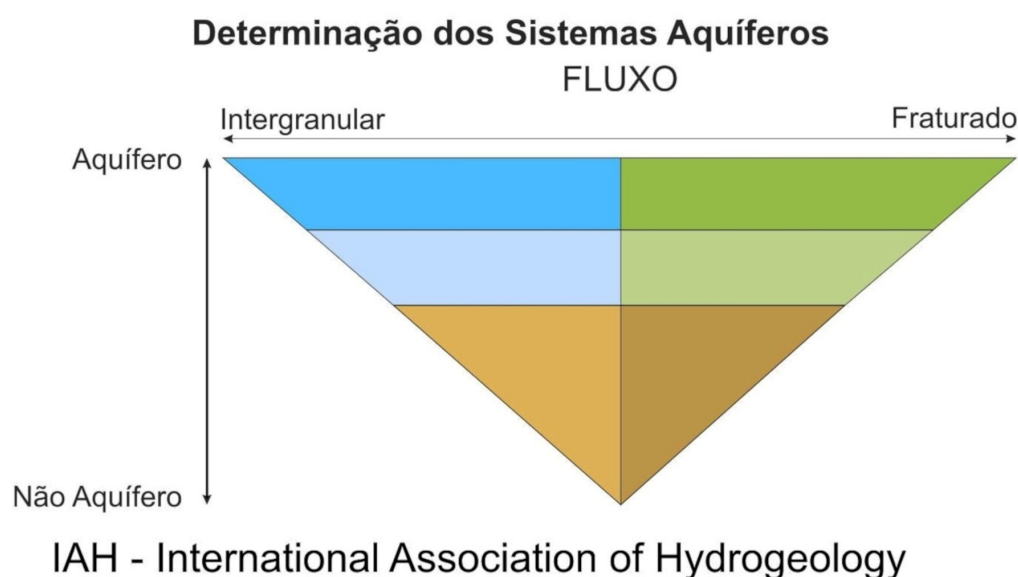


Figura 2.1 Esquema para classificação de aquíferos quanto à porosidade e potencialidade segundo a Convenção Internacional de Cores para Mapas Hidrogeológicos (modificada de Struckmeier e Margat, 1995).

A metodologia empregada na elaboração dos mapas hidrogeológicos do SGB-CPRM tem como objetivo separar as unidades aquíferas e não-aquíferas mediante características de produtividade que resultam em classes de produtividade de aquíferos. Os atributos de aquífero levados em consideração no emprego desta classificação são quatro parâmetros hidrodinâmicos numéricos: a vazão de estabilização de ensaios de bombeamento, a capacidade específica de poço, a transmissividade de aquífero e a condutividade hidráulica de aquífero; estes serão apresentados de forma aprofundada no subca-

pítulo 4.2 Parâmetros Hidrodinâmicos. Para obtenção e tratamento desses valores matemáticos, são utilizadas, principalmente, informações obtidas diretamente de obras de captação (como a realizada no Produto 3 – Inventário e Cadastramento de Poços) além de uma grande gama de informações adicionais (como resultados dos demais produtos, a ampla pesquisa bibliográfica, a realização de ensaios de bombeamento e conhecimentos empíricos dos pesquisadores).

As classes de produtividade de aquíferos são úteis para fins comparativos universais, diferenciando bem os aquíferos baseados em suas capacidades de produção de água através de obras de captação. São consideradas seis classes de aquíferos universais, que podem ser aplicadas a todas as unidades que ocorrem no território brasileiro, sendo o número 1 atribuído à classe de maior produtividade (para unidades hidroestratigráficas que sejam excelentes aquíferos) e o 6 atribuído à classe de menor produtividade (para unidades hidroestratigráficas praticamente não-aquíferas ou de fato não-aquíferas). As unidades mapeadas no município de Joinville – SC se enquadraram nas classes de produtividade de aquífero de 4 a 6, como pode ser verificado na tabela que compõe a legenda hidrogeológica do Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000. Neste mapa, as classes de produtividade de aquífero são exibidas entre parênteses ao lado dos nomes das unidades estratigráficas. A classe de produtividade de aquífero, juntamente com o nome da unidade estratigráfica, resulta no que se denomina “unidade hidroestratigráfica”, conforme a terminologia de Diniz *et al.* (2012, 2014).

No contexto municipal, os aquíferos de classe 4 são aqueles de mais alta produtividade encontrada, apresentando os melhores valores e características hidrogeológicas. Os aquíferos de classe 5 são de uma faixa de produtividade baixa, porém, são os mais comuns para a região, aproveitados de forma ampla e diversificada. Por fim, neste contexto municipal, os aquíferos de classe 6 são aqueles praticamente improdutivos, aquitardos ou aquifugos, os quais não são sequer exploráveis.

Os poços representativos das unidades hidrogeológicas cartografadas foram selecionados com a finalidade de reproduzir as condições médias dos aquíferos, onde são exibidos conforme simbologia apropriada para representar as unidades atravessadas, valores dos coeficientes hidrodinâmicos e dados de salinidade da água (Figura 2.2)

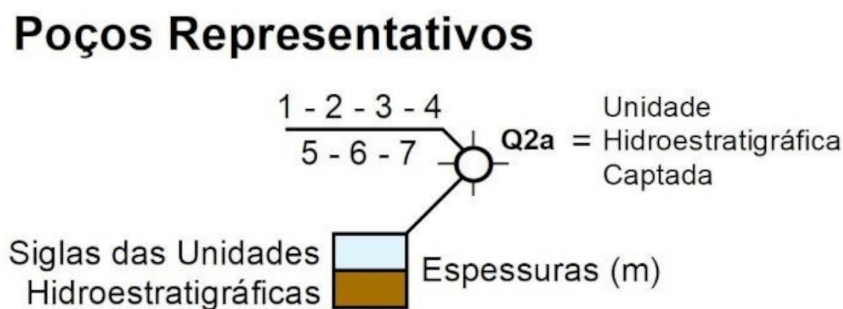


Figura 2.2 Forma de apresentação dos poços representativos no mapa hidrogeológico.

O conjunto de dados de poços cadastrados no Produto 3 – Inventário e Cadastramento de Poços embasou a seleção dos poços representativos, bem como permitiu a elaboração dos mapas de encarte de densidade de poços, qualidade química das águas, regimes de fluxo, potenciometria, etc.

A base hidrológica e os dados hidroclimatológicos foram tratados a partir das bacias e sub-bacias hidrográficas, com o objetivo de realizar o balanço hídrico na área. O cálculo do balanço hídrico, fundamental para a definição da recarga dos aquíferos, está detalhadamente descrito no subcapítulo 5.2 – Metodologia de Estimativa da Recarga Natural.

Outros detalhes e aspectos peculiares do mapa hidrogeológico são discutidos no capítulo 3, juntamente com a descrição das unidades hidroestratigráficas.

2.3 Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea

A elaboração do mapa de favorabilidade hídrica subterrânea baseou-se no modelo hidrogeológico conceitual definido pelos vários estudos hidrogeológicos necessários para a cartografia hidrogeológica na escala 1:50.000 e pelo cruzamento de planos de informação através de geoprocessamento.

O modelo escolhido foi o booleano soma ponderada e considerou os seguintes parâmetros: litologia, condutividade hidráulica, densidade de lineamentos, recarga e declividade do terreno. Aos fatores escolhidos foram atribuídas notas, entre 0 e 100, às suas respectivas classes. A atribuição de notas e pesos foi feita baseada em regras de decisão previamente definidas pelos especialistas envolvidos no projeto.

Este mapa representa índices de favorabilidade, que variam entre 0 e 100, indicando áreas de menor a maior possibilidade de se encontrar água subterrânea através da perfuração de poços. Tais áreas representam os índices de favorabilidade hídrica subterrânea e não são absolutas, mas sim relativas entre elas. As áreas de maior favorabilidade expressam a concentração dos fatores mais favoráveis e servem apenas como base para a realização de estudos posteriores de detalhe destinados à locação dos poços tubulares, como fotointerpretação e geofísica.



3. MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

3.1 Unidades Hidroestratigráficas

A investigação de águas subterrâneas e sua cartografia passa necessariamente pela definição e mapeamento das unidades aquíferas e confinantes (unidades hidroestratigráficas) presentes na área de estudo, tanto em sua superfície como em subsuperfície. A seguir, são abordadas as conceituações relacionadas com as unidades hidroestratigráficas e os sistemas aquíferos, de acordo com diferentes autores.

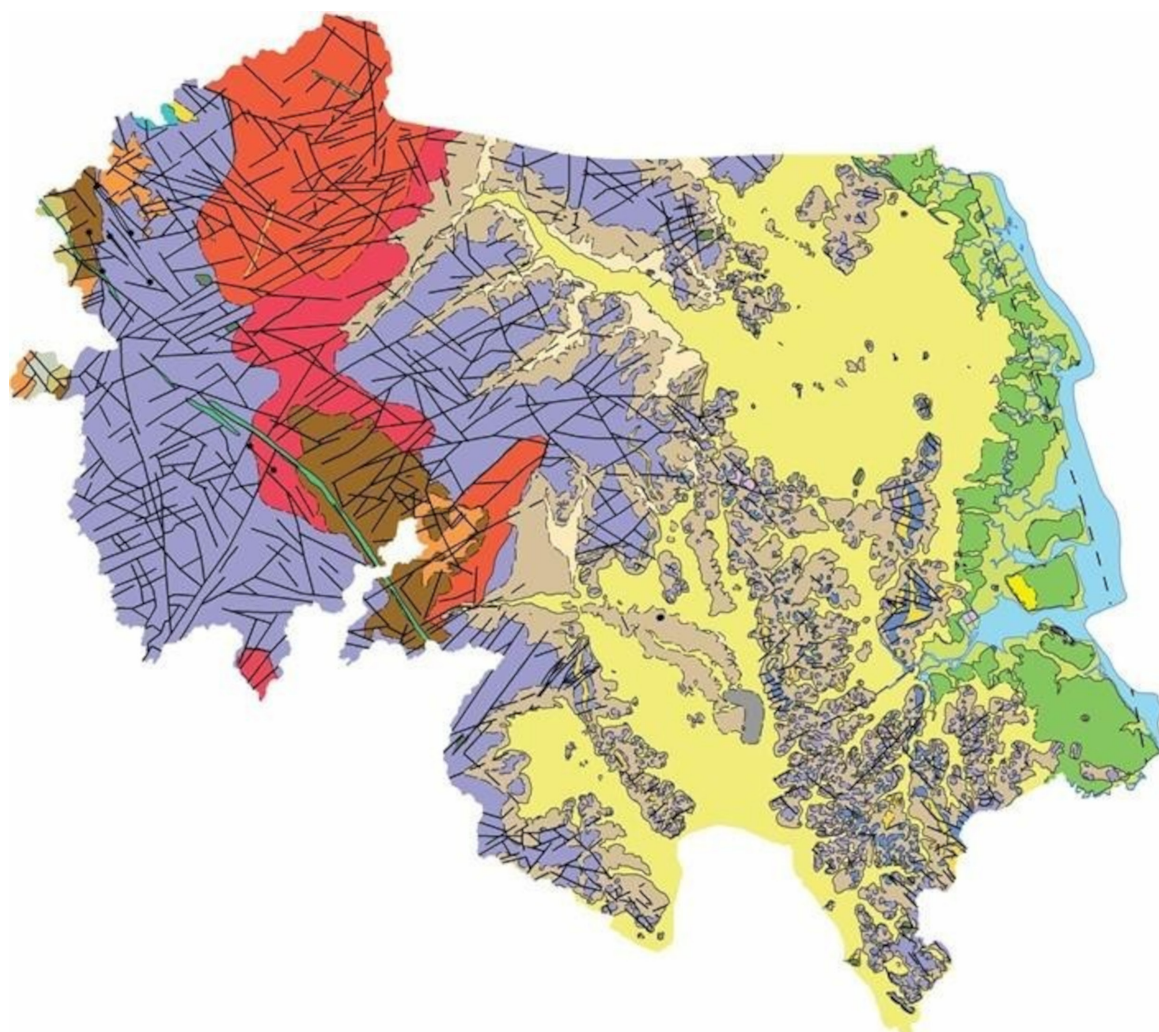
Com o delineamento dessas unidades, fragmenta-se o arcabouço geológico em função de sua permeabilidade, procurando-se definir o sistema de fluxo. O uso da terminologia “unidade hidroestratigráfica” foi originalmente proposto por Maxey (1964) aplicado a “corpos de rocha com extensão lateral considerável compondo um arcabouço geológico que funciona razoavelmente como um sistema hidrológico distinto”. Ele também mostra a necessidade de definição de unidades de água subterrânea baseadas não somente em características litológicas específicas, mas que incluam parâmetros que correspondam especialmente ao movimento, ocorrência e armazenamento de água subterrânea.

A definição proposta por Seaber (1982; 1986; 1988) para “unidade hidroestratigráfica” é que esta é “um corpo rochoso distinto por sua porosidade e permeabilidade”, que ele considera mais consistente com a nomenclatura estratigráfica estabelecida. Com essa definição, Seaber tenta comprovar a observação de que uma “unidade hidroestratigráfica pode ocorrer em uma ou mais unidades estratigráficas, aloestratigráficas, pedoestratigráficas e litodêmicas”.

O termo “sistema aquífero” foi originalmente definido por Poland, Lofgren e Riley (1972) como “um corpo heterogêneo de materiais com intercalações permeáveis e pobremente permeáveis que funciona como uma unidade hidroestratigráfica produtora de água; ele compreende duas ou mais camadas permeáveis, separadas ao menos localmente por aquíferos que impedem o movimento das águas subterrâneas, mas que não afetam a continuidade hidráulica do sistema”. A unidade confinante foi definida como equivalente aos termos aquífero e aquícluído e tem sido usado nos relatórios do *United States Geological Survey* desde 1972. Laney e Davidson (1986) sugerem que a definição de sistemas aquíferos poderia ser mais geral se o termo “aquíferos” fosse substituído pelo termo “camadas permeáveis”. Para Jorgensen, Helgeson e Imes (1993), um sistema aquífero pode ser descrito como consistido em “dois ou mais aquíferos no mesmo sistema hidráulico, os quais estão separados na maioria dos locais por uma ou mais unidades confinantes”. Do mesmo modo, eles definem um sistema confinante como “duas ou mais unidades de confinamento, separadas na maioria dos locais por um ou mais aquíferos que não estão no mesmo sistema hidráulico”.

3.2 Unidades Hidroestratigráficas de Joinville

O município de Joinville – SC é composto por uma sucessão de unidades hidroestratigráficas que representam todos os domínios geológicos desde o Neo-Arqueano-Paleoproterozoico até o Cenozoico (Figura 3.1). Cada qual exibe características hidrodinâmicas, hidráulicas e hidroquímicas que permitem diferenciá-las, sendo que muitas delas são captadas simultaneamente pelos poços tubulares. Para o Mapa Hidrogeológico na escala 1:50.000 foram determinadas e descritas as seguintes unidades: Embasamento Cristalino, Bacias Neoproterozoicas (Campo Alegre e Joinville), Serra Geral (diques de diabásio), Intrusivas Alcalinas e Sedimentos Cenozoicos. As unidades Embasamento Cristalino, Serra Geral e Intrusivas Alcalinas compõem o Domínio Hidrogeológico Fraturado enquanto as Bacia Neoproterozoicas e Sedimentos Cenozoicos dão origem ao Domínio Granular.



ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	CRONO-ESTRATIGRAFIA DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE																	
MESOZOICOCENOZOICO	Quaternário	2.58	Q2ca	Depósitos colúvio-aluvionares	Q2el	Depósitos eólicos litorâneos	Q2pm	Depósitos de pântanos e mangues	Q2at	Depósitos antropogênicos										
		66	Q2co	Depósitos colúvionares	Q2a	Depósitos aluvionares	Q2pe	Depósitos paleo-estuarino	Q2f	Turfeiras										
MESOZOICOCENOZOICO	Cretáceo	145	K1	Intrusivas Alcalinas	BACIA DO PARANÁ															
		251	K1δb	Grupo Serra Geral																
		541		Diques e Sills de Diabásio																
NEOPROTEROZOICO	Ediacarano		Suíte Serra do Mar (NP3 _y m)		Bacias Neoproterozoicas: Campo Alegre e Joinville															
			Np3 _{ymdl}	Granito Dona Francisca	Np3 _{ympl}	Granito Pirai	Grupo Campo Alegre (NP3 _{ca})													
							NP3 _{cam}	Fm Serra de São Miguel												
							NP3 _{can}	Fm Rio Negrinho												
							NP3 _{brb}	Fm Bateias (NP3 _b)												
PALEO ARQUEANO/PROTEROZOICO		635	CRÁTON LUÍS ALVES																	
		1000									Complexo Granulítico de Santa Catarina									
		1600																	PP2 _{rl}	Suíte Rio da Luz
		2800																	A4PP2 _g	Paragneisses Luis Alves - g - gnaisses; q - quartzitos
	A4PP2 _{la}	Gnaisses Granulíticos Luis Alves																		
	A4PP2 _{ubv}	Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha																		

Figura 3.1 Mapa geológico e crono-estratigrafia do Município de Joinville – SC.

3.2.1 Domínio Hidrogeológico Fraturado (Fr)

O Domínio Hidrogeológico Fraturado é composto pelas rochas do embasamento cristalino de Joinville, representado pelo Complexo Granulítico de Santa Catarina, cujos litotipos e unidades geológicas predominantes são os granulitos intermediários a félsicos com composições quartzo-dioríticas, tonalíticas, granodioríticas e monzograníticas, pertencentes à Unidade Gnaisses Granulíticos Luís Alves. Também fazem parte dessa unidade, os piroxenitos, gabronoritos e quartzo-gabros da Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha, assim como os granulitos pelíticos, quartzitos e formações ferríferas bandadas da Unidade Paragnaisses Luís Alves.

Tais rochas ocorrem na região litorânea, parte constituída pela área urbana, com grande predominância de depósitos sedimentares quaternários, cotas altimétricas médias de 5 a 30 m e com morros testemunhos dispersos, cotas altimétricas médias de 70 a 400 m. A região da Serra do Mar é representada pela Serra da Dona Francisca e pelos campos de altitude em direção à cidade de Campo Alegre, apresentando cota altimétrica média de 800 m, podendo chegar a 1.300 m. Estes dois setores apresentam diferenças morfológicas e geológicas.

Na porção litorânea ocorrem rochas pertencentes à Unidade Paragnaisses Luís Alves, como silimanita gnaisses, formações ferríferas bandadas, piroxenitos e quartzitos.

Na porção da serra, os granulitos são intrudidos pelo Granito Rio da Luz, de idade paleoproterozoica com diferentes graus de contato, retos ou difusos, e deformação conjunta com os granulitos e gnaisses em zonas de cisalhamento. Na porção da serra, há somente uma área conhecida de ocorrência da unidade Paragnaisses Luís Alves, representada por um quartzito à magnetita no noroeste do município. Ocorrem, ainda na porção da serra, pequenos corpos de rochas da Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha.

Diques de diabásio e rochas intrusivas alcalinas, relacionados ao evento Serra Geral, também compõem o Domínio Hidrogeológico Fraturado.

Eventos tectônicos sobre as rochas do embasamento cristalino propiciam a formação de zonas fraturadas que dão origens aos aquíferos fraturados. Geralmente a zona fraturada desenvolve-se em profundidades de dezenas a centenas de metros.

3.2.1.1 Unidade Hidroestratigráfica Barra Velha (A4PP2 μ bv)

Esta unidade é composta por metapiroxenitos a plagioclásio, hornblenda-piroxenitos, metagabronoritos, metaquartzo-gabros e paragnaisses. A maioria dos afloramentos são de pequenas dimensões e encontram-se espalhados pela área leste do município. As formas comuns de ocorrência dessa unidade são como bandas, lentes e enclaves dentro dos granulitos intermediários a félsicos. Ocorrem na encosta da Serra do Mar, no Rio Bonito, também formando vários morros e morrotes isolados em meio às planícies aluvionares dos rios Cubatão e Pirabeiraba, na planície costeira. Também ocorrem como pequenos cortes, lajeados, blocos, matacões esparsos, e como lentes nos paragnaisses na área urbana.

Seu comportamento é de aquífero livre a semiconfinado, com porosidade por faturamento ampliada por porosidade primária, relacionada ao manto de intemperismo, sobretudo na região da Serra da Dona Francisca, onde pode ser enquadrado como aquífero da classe 4 (Figura 3.2). Nessa situação pode-se obter expressivas vazões de até 15 m³/h em poços tubulares, devido à alta recarga disponível naquela região. No entanto, sua classe predominante é a 5, onde desenvolve um comportamento de aquífero pouco produtivo de pequena importância relativa local, devido a sua ocorrência nos topos dos morros na área urbana onde há rede pública de abastecimento. As vazões podem alcançar os 4 m³/h, captados em fontes naturais. Seus morros isolados e declivosos imprimem a essa unidade um comportamento de aquícludes e aquífugos, raramente aquíferos suspensos localizados de pouca produtividade (classe 5), que ocorrem em áreas escassamente povoadas no topo de regiões montanhosas, caracterizando uma pequena importância hidrogeológica local.

As suas águas são, de modo geral, boas para todos os usos, com TSD (total de sais dissolvidos) normalmente inferior a 100 mg/L. Localmente, podem ocorrer problemas relativos a altos teores de ferro e manganês.

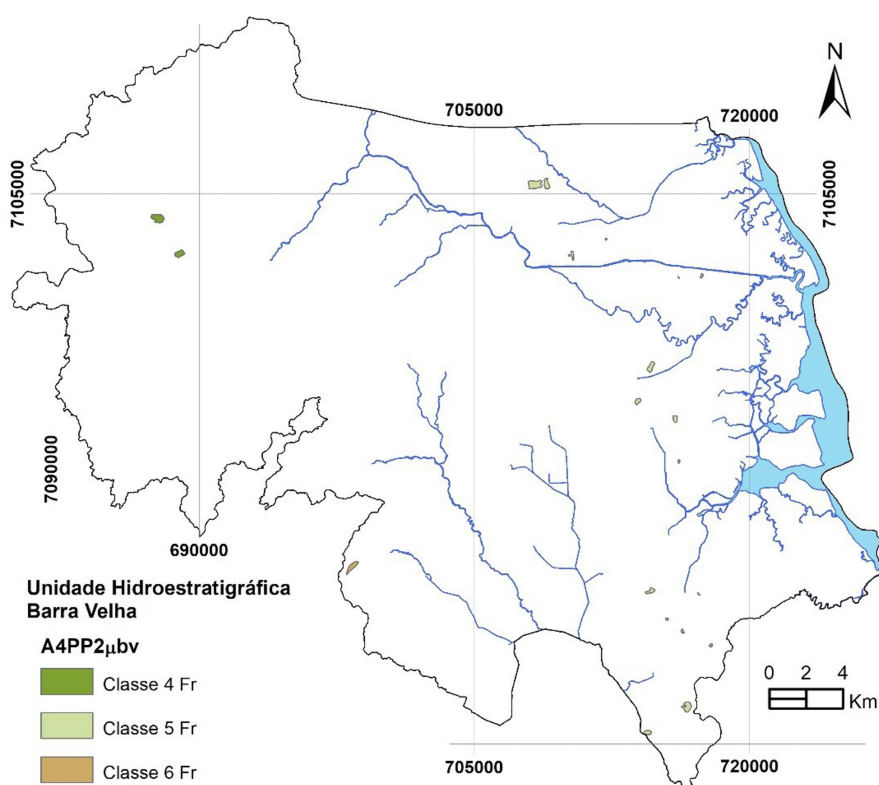


Figura 3.2 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Barra Velha.

3.2.1.2 Unidade Hidroestratigráfica Gnaisses Granulíticos Luís Alves (A4PP2la)

Esta unidade é composta por ortognaisses félsicos a intermediários, máficos quartzo-dioríticos, tonalíticos, granodioríticos e monzograníticos.

É um aquífero livre a semiconfinado, de extensão regional, com porosidade por fraturamento, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico, ampliada localmente por porosidade intergranular da porção intemperizada regolítica. O regolito tem como característica a porosidade intergranular e forma um aquífero freático associado à zona saturada nestas camadas superficiais. Este horizonte pode ou não estar interligado com o aquífero fissural subjacente. Quando, em relevo pouco dissecado, há comunicação ou captação simultânea entre os dois horizontes, o aquífero passa a ser denominado como misto e sua produtividade aumenta, levando-o a ser classificado como classe 4. É captado por poços com profundidade média de 127,2 m, sendo a profundidade mais encontrada a de 100,0 m e havendo uma expressiva parcela de poços com profundidades maiores que 200 m. As vazões captadas por poços tubulares bem construídos variam entre 1,0 e 25,0 m³/h com vazão média de 8,04 m³/h. Na maioria dos casos, a vazão limita-se a 10 m³/h. Os níveis estáticos variam geralmente entre 5 e 26 m. As vazões na classe 4 podem atingir até 30 m³/h em situações muito peculiares como em cruzamento de fraturas, relevo pouco dissecado, manto de alteração ou cobertura sedimentar pronunciados. A classe 4 exibe aquíferos de média a alta produtividade subjacentes aos depósitos quaternários, englobando importantes áreas urbanas, o que lhes confere grande importância hidrogeológica local.

Esta unidade comumente ocorre na forma de morros isolados, sobretudo na área urbana, com declividades acentuadas e cobertos por vegetação (Figura 3.3). Quando atingem uma área de exposição maior e topografia pouco declivosa são designados como classe 5. As vazões captadas por poços tubulares bem construídos variam entre 1,0 e 10,0 m³/h. Trata-se de um aquífero de grande importância relativa local, pois permite o abastecimento de várias indústrias.

Nas situações em que os morros são pequenos, isolados e declivosos, ou onde ocupam áreas de escarpas junto à serra, são classificados como classe 6, sendo não aquíferos ou aquíferos praticamente ausentes. Nestas áreas, a unidade hidroestratigráfica comporta-se como aquícludes e aquífugos, raramente aquíferos localizados, restritos a zonas fraturadas ou desenvolvidos no manto de alteração como aquífero suspenso. Possuem pequena importância hidrogeológica local pois ocorrem majoritariamente em áreas urbanas com rede pública de abastecimento e em áreas de escarpas e topo de regiões montanhosas, desabitadas ou incipientemente habitadas. Nas áreas rurais recomenda-se a captação através de fontes naturais devidamente construídas.

A qualidade da água da unidade hidroestratigráfica Gnaisses Granulíticos Luís Alves apresenta qualidade química boa para todos os fins: abastecimento doméstico e público, agrícola e industrial. O valor de TSD normalmente é inferior a 300 mg/L, com valores de ferro e manganês que localmente ultrapassam as estipuladas pelas normas de potabilidade. Em geral são águas de fácies bicarbonatadas cálcicas a sódicas.

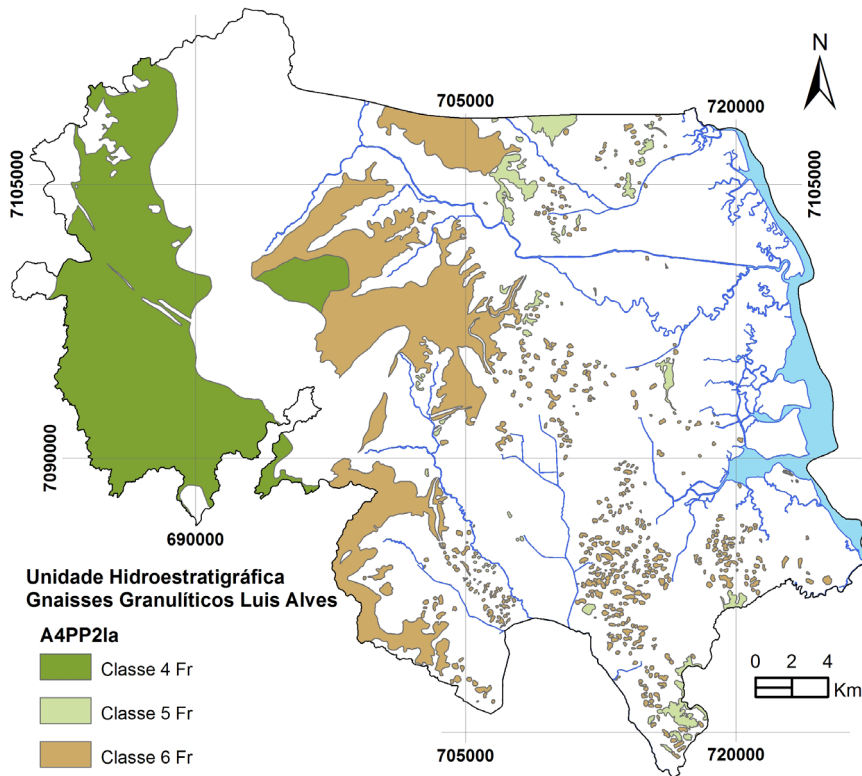


Figura 3.3 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Gnaisses Granulíticos Luís Alves.

3.2.1.3 Unidade Hidroestratigráfica Paragnaisses Luís Alves (A4PP21g)

Esta unidade é formada regionalmente por metassedimentos representados por quartzitos puros, quartzitos com fuchsitita, paragnaisses pelíticos, gnaisses calcossilicatados e formações ferríferas bandadas a magnetita. Para a hidrogeologia, constituem aquíferos livres a semiconfinados, de extensão regional, com porosidade por fraturamento, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Ocorrem sobretudo em morros isolados na área urbana do município classificados como classe 6, e quando ocorrem em elevações de dimensões maiores, são classificados como classe 5 (Figura 3.4). Nestas condições são captados por fontes naturais que atingem até vazões de 4 m³/h. Apresenta pequena importância rela-

tiva local pois a sua ocorrência restringe-se aos topos dos morros na área urbana, onde há rede pública de abastecimento.

Quando presentes em morros menores isolados, estão classificados como classe 6, comportando-se como não aquíferos ou aquíferos praticamente ausentes. Nesta situação não apresentam vazões significativas e compõem-se de aquícludes, aquífugos e raramente aquíferos muito localizados, com pequena importância hidrogeológica local.

Em ambas as classes a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD normalmente inferior a 100 mg/L. Localmente podem ocorrer problemas relativos à alta concentrações de ferro e manganês.

Nesta unidade hidroestratigráfica não se recomenda a perfuração de poços tubulares profundos, existindo a possibilidade de aproveitamento de fontes e poços escavados, caso houver aquíferos suspensos.

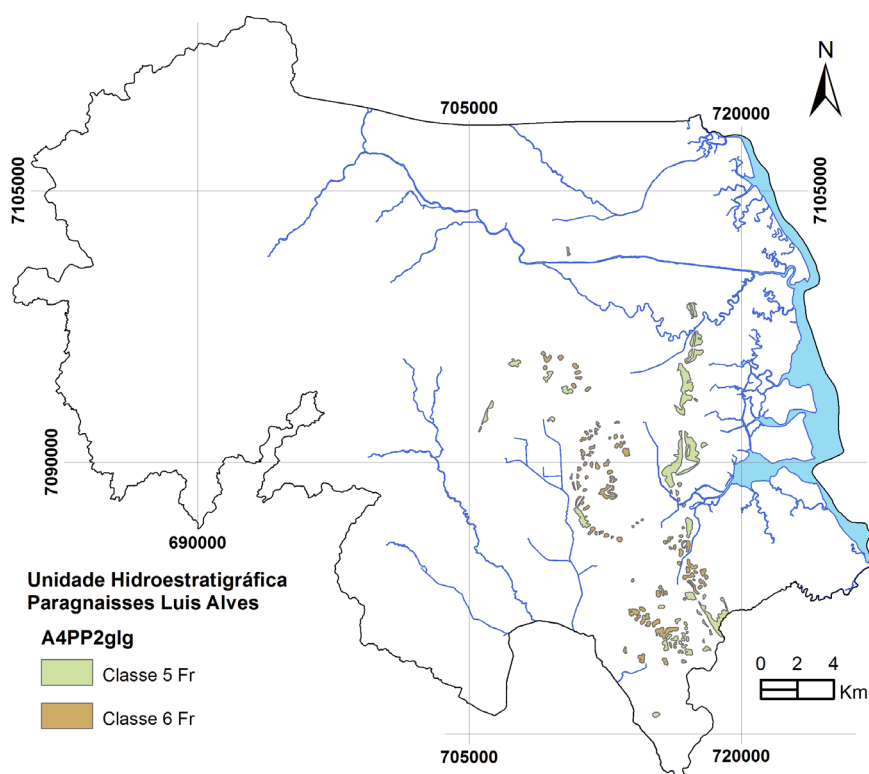


Figura 3.4 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Paragnaises Luís Alves.

3.2.1.4 Unidade Hidroestratigráfica Quartzitos Luís Alves (A4PP2glq)

Os quartzitos Luís Alves alternam-se com camadas de magnetita em menor proporção, cujas intercalações levam à geração de Formações Ferríferas Bandadas, estas últimas menos frequentes. Os quartzitos se sobressaem em relação às demais rochas metassedimentares em função de sua composição mineralógica específica, silicosa e granoblástica monomineralica, distinta da composição dos gnaisses granulíticos pelíticos encaixantes. Os corpos de quartzitos de maiores dimensões concentram-se na área urbana (morros do Boa Vista, do Finder e Timbé) e formam cristas alinhadas que podem ser acompanhadas por vários quilômetros para sudeste, até próximo do limite com Araquari (Figura 3.5). No oeste-sudoeste da cidade, próximo e ao longo da escarpa da Serra do Mar até o Dedo Grosso, ocorre outra faixa de quartzitos alinhados.

Esta unidade dá origem a um aquífero livre a semiconfinado da classe 5, de extensão regional, com porosidade por fraturamento, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico com vazões que podem atingir

até 5 m³/h em captações de fontes naturais. Devido a sua ocorrência nos topos dos morros em área onde há rede pública de abastecimento, apresenta pequena importância relativa local. Nas áreas rurais sua importância relativa local é alta.

A qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD normalmente inferior a 100 mg/L. Localmente podem ocorrer problemas relativos a ferro e manganês, como ocorre, por exemplo, no Morro do Timbé.

Devido a sua condição de topo estrutural, não se aconselha a captação desta unidade por poços tubulares e sim por captações de fontes, se devidamente protegidas e construídas, sobretudo na zonal rural.

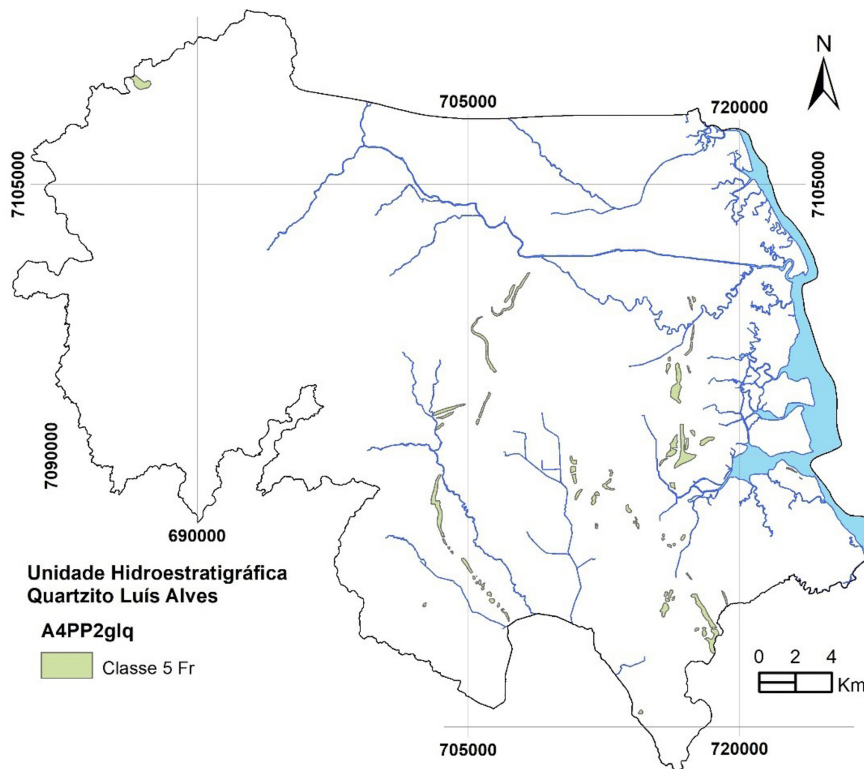


Figura 3.5 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Quartzitos Luís Alves.

3.2.1.5 Unidade Hidroestratigráfica Rio da Luz (PP2μrl)

Esta unidade é composta por sienogranitos e monzogranitos vermelhos, que apresentam uma foliação milonítica considerável, com granulação média a grossa e uma quantidade de máficos restrita. Aparentemente estão associados a zonas de falhas e de cisalhamento dúctil tardios.

Comportam-se como aquícludes e aquífugos, raramente aquíferos localizados, restritos a zonas fraturadas, com vazões pouco significativas devido a sua condição de topo estrutural e pequeno manto de alteração. Por isso são classificados como classe 6, sendo não aquíferos ou aquíferos praticamente ausentes. Possuem pequena importância hidrogeológica local, pois ocupam áreas de grandes altitudes e despovoadas no geral (Figura 3.6).

Suas águas estão relacionadas à infiltração recente de precipitações pluviométricas, exibindo excelente qualidade química com TSD não ultrapassando 100 mg/L.

As características litológicas, estruturais e geomorfológicas desta unidade desaconselham a perfuração de poços tubulares profundos. A presença de uma densa rede de drenagem proporciona o aproveitamento de fontes ou poços escavados, desde que apropriadamente construídos.

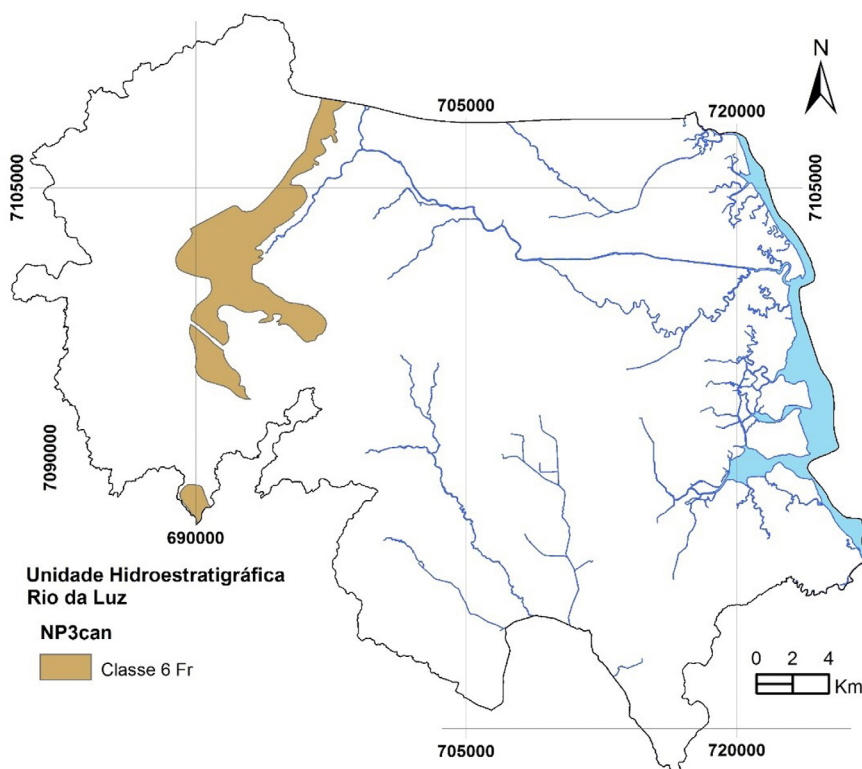


Figura 3.6 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio da Luz.

3.2.1.6 Unidade Hidroestratigráfica Dona Francisca (NP3 γ mdf)

A Unidade Hidroestratigráfica Dona Francisca é composta por um corpo granitoide de formato aproximadamente elíptico com orientação norte-sul, aflorante no noroeste do município em uma área aproximada de 83 km², sendo a rocha formadora da Serra Queimada, cujas feições geomorfológicas atingem as maiores cotas de Joinville-SC, chegando a 1.315 m de altitude (Figura 3.7). Apresenta composição monzogranítica, sienogranítica e sienítica, de coloração vermelho intensa. É isótropo, com textura equigranular e granulação fina a grossa.

Trata-se de um aquífero livre a semiconfinado, de extensão local, com porosidade por fraturamento, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Enquadra-se na classe 5, decorrente da sua situação topográfica, situado em área alta e plana, interceptado por lineamentos estruturais importantes.

Devido a sua restrita ocorrência em área não habitada, apresenta pequena importância relativa local e sua qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD normalmente inferior a 100 mg/L.

Considerando as características litológicas, estruturais e geomorfológicas desta unidade, é aconselhável a perfuração de poços tubulares profundos e também o aproveitamento de fontes ou poços escavados.

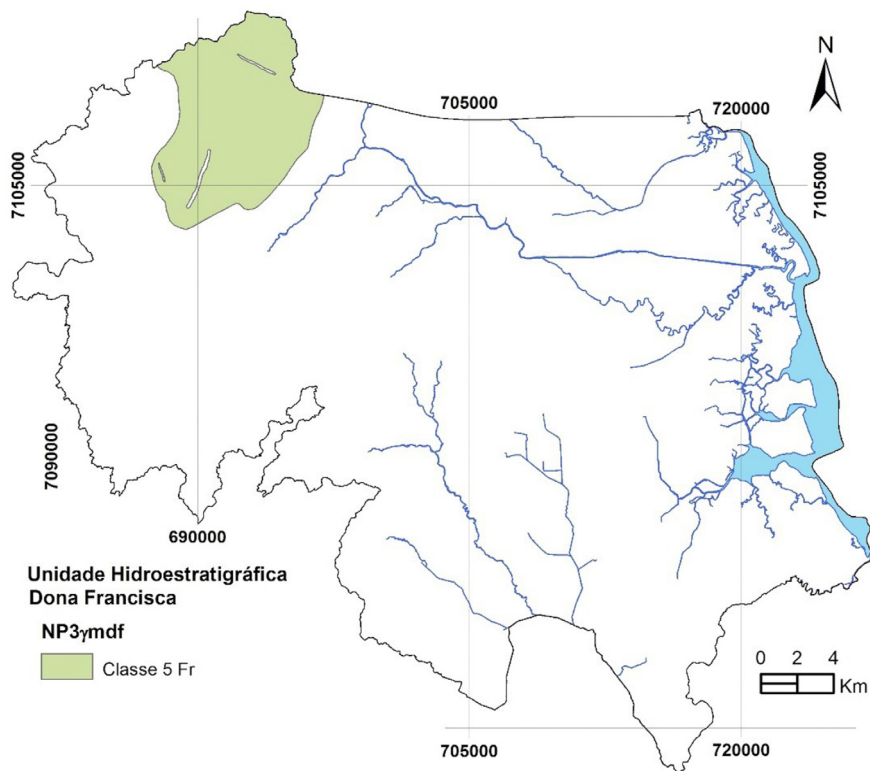


Figura 3.7 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Dona Francisca.

3.2.1.7 Unidade Hidroestratigráfica Piraí (NP3γmpi)

Esta unidade é composta por um corpo granítico aflorante na região centro-sul do município, no limite entre a região litorânea e a serrana, com uma área aproximada de 35 km², fazendo parte da escarpa frontal da Serra do Mar. É caracterizado como sendo de composição sienogranítica a sienítica, leucocrático, de coloração vermelha intensa, isótropo, com granulação média a grossa.

Suas características topo estruturais (Figura 3.8) lhe conferem uma condição de não aquífero ou aquífero praticamente ausente (classe 6), caracterizada pela presença de aquicludes e aquífugos, raramente aquíferos localizados suspensos ou restritos a zonas fraturadas. Sua importância relativa hidrogeológica local é pequena, justificada pela sua ocorrência em áreas de grandes altitudes e despovoadas.

Quando ocorrem aquíferos de pequena magnitude, a potabilidade química é boa e o TSD não ultrapassa 100 mg/L.

Dadas as características litológicas, estruturais e geomorfológicas desta unidade hidroestratigráfica, desaconselha-se a perfuração de poços tubulares profundos. Entretanto, caso necessário, a presença de uma densa rede de drenagem proporciona o aproveitamento da água subterrânea por meio de fontes ou poços escavados, se construídos de forma apropriada.

3.2.1.8 Unidade Hidroestratigráfica Serra de São Miguel (NP3cam)

A Unidade Hidroestratigráfica Serra de São Miguel é composta por derrames traquíticos a quartzotraquíticos, intercalados com membros riolíticos e traquiandesíticos, por vezes com depósitos de fluxos piroclásticos. Sua ocorrência é restrita ao extremo oeste do município, na divisa com Campo Alegre (Figura 3.9). É classificada como classe 6 e caracteriza-se por aquicludes, aquífugos e, raramente, aquíferos suspensos, localizados, de pouca produtividade, que ocorrem em áreas escassamente povoadas no topo de regiões montanhosas, constituindo pequena importância hidrogeológica local. Quando ocorre, a água é de boa qualidade físico-química, com TSD inferior a 100 mg/L.

Não se recomenda a perfuração de poços tubulares profundos, existindo a possibilidade de aproveitamento de fontes e poços escavados, caso existam aquíferos suspensos.

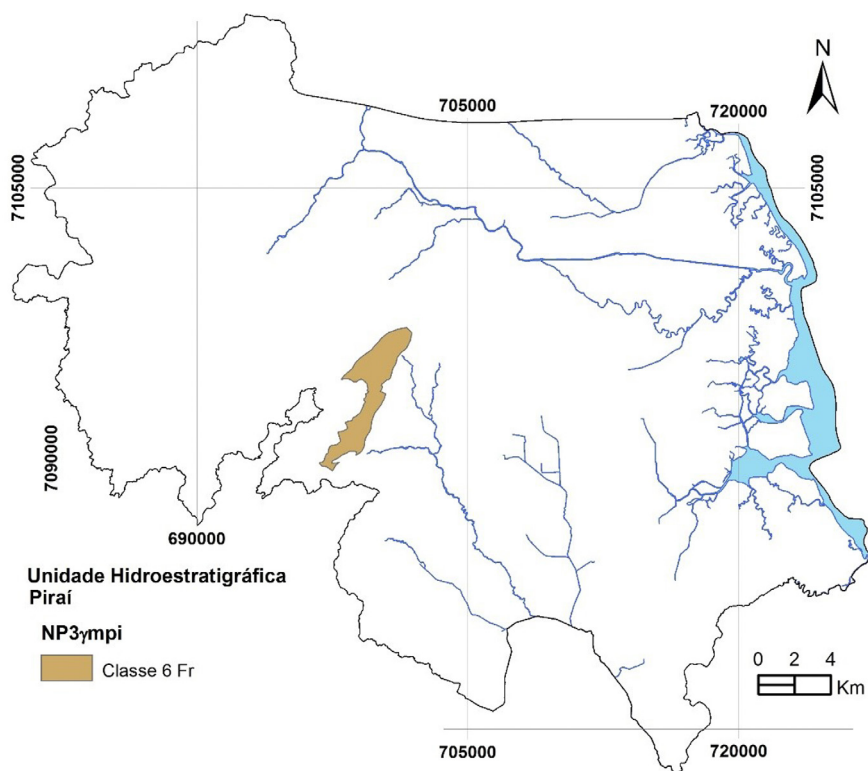


Figura 3.8 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Pirai.

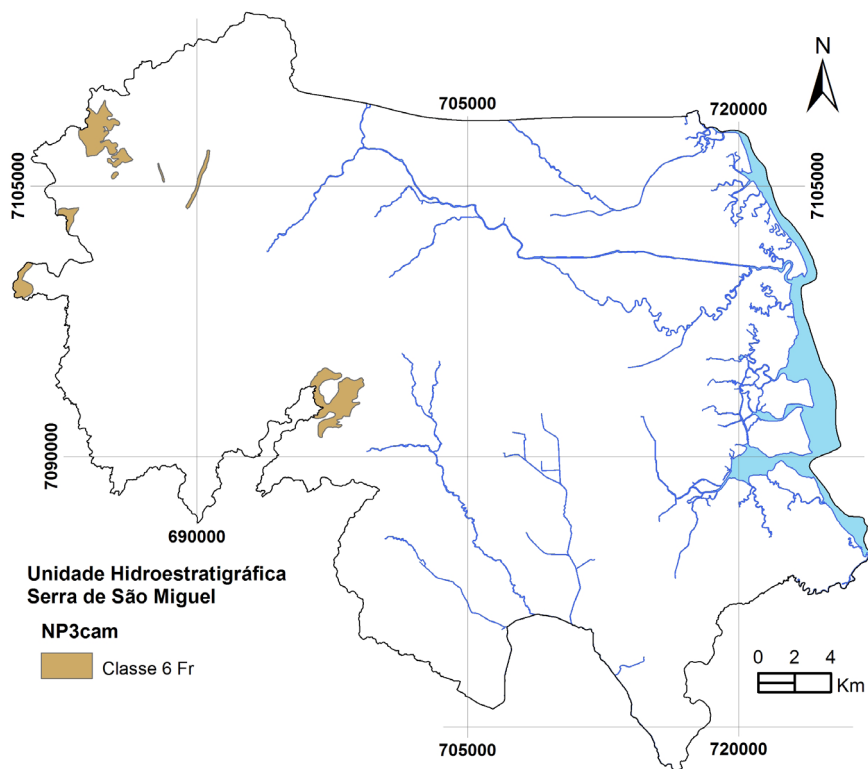


Figura 3.9 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Serra de São Miguel.

3.2.1.9 Unidade Hidroestratigráfica Rio Negrinho (NP3can)

Esta unidade é constituída por rochas vulcânicas de composições básica a intermediária, mais precisamente basalto e andesito, intercalados com traquito e quartzo-traquito. Compõem um aquífero da classe 5 localizado em campos de altitude circundados por morros (Figura 3.10). Seu comportamento é de aquífero livre a semiconfinado, de extensão regional, com porosidade por fraturamento, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico. Suas vazões são pequenas e captadas por fontes naturais e poços escavados.

Devido a sua restrita ocorrência em área não habitada, apresenta pequena importância relativa local. Suas águas apresentam baixa salinização e são boas para qualquer natureza de consumo. Recomenda-se captações de fontes naturais para esta unidade hidroestratigráfica.

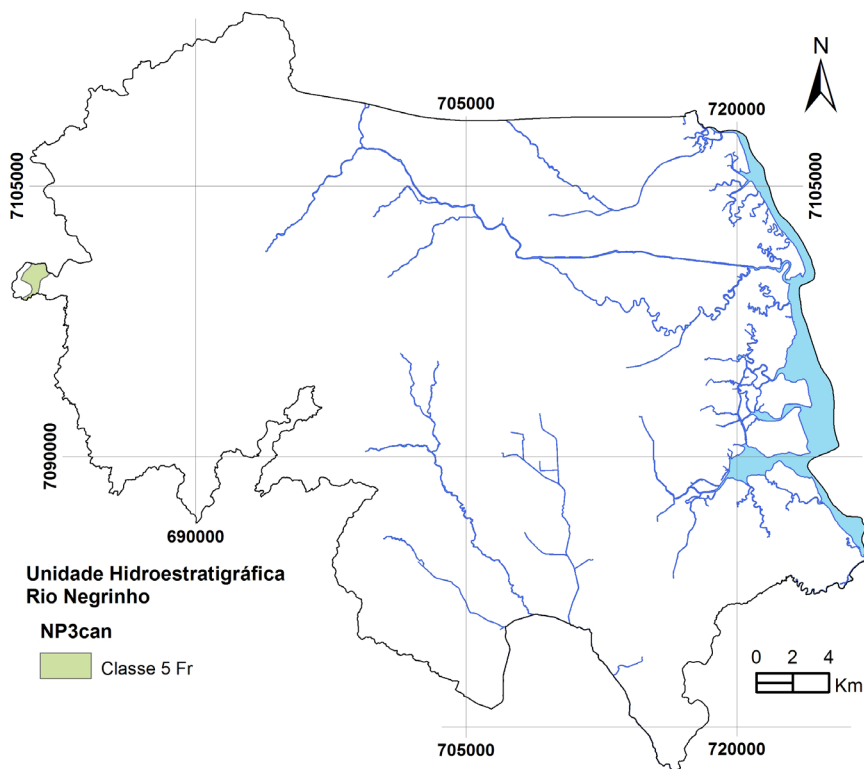


Figura 3.10 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio Negrinho.

3.2.1.10 Unidade Hidroestratigráfica Diques de Diabásio (K1δdb)

Esta unidade é constituída pelos diques de diabásio relacionados ao magmatismo mesozoico do Grupo Serra Geral. São diques básicos que apresentam espessuras e comprimentos diversos. Esses corpos apresentam larguras de poucos centímetros a vários metros e extensões de centenas de metros a mais de 50 quilômetros (Figura 3.11).

Hidrogeologicamente não possuem nenhuma importância, fazendo parte da classe 6 – não aquíferos ou aquíferos praticamente ausentes – ou seja, sem vazões significativas. Seu comportamento é de aquíferos e não se aconselha a perfuração de poços tubulares profundos, existindo possibilidade de aproveitamento de fontes, caso haja aquíferos suspensos. Neste caso, as águas são de boa qualidade química com TSD baixo.

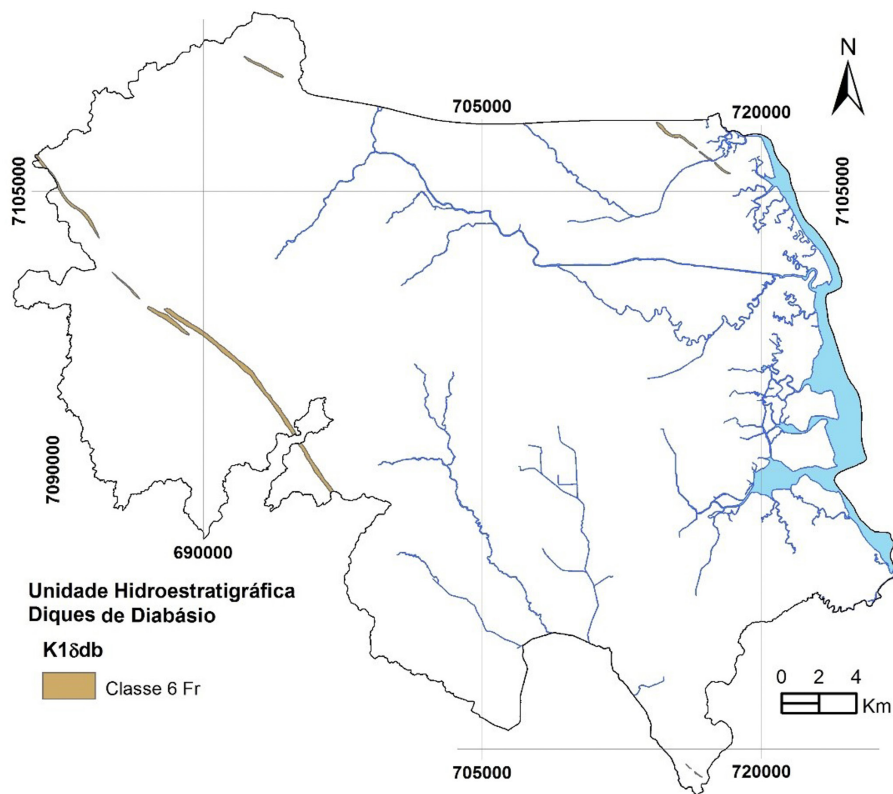


Figura 3.11 Ocorrência da unidade hidroestratigráfica Diques de Diabásio.

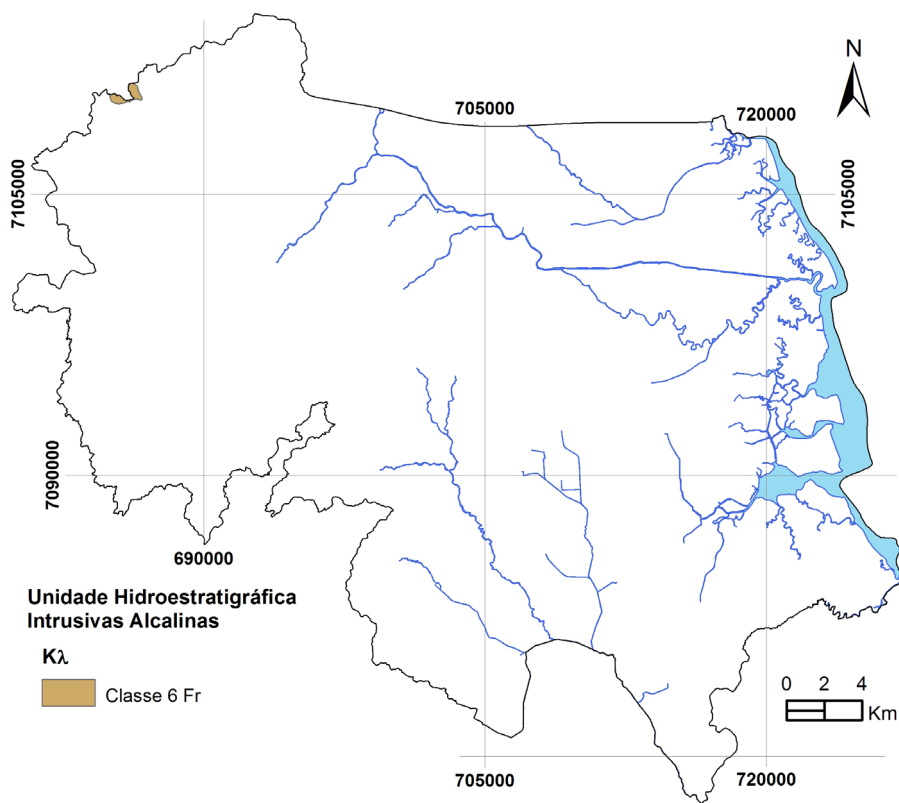


Figura 3.12 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Intrusivas Alcalinas.

3.2.1.11 Unidade Hidroestratigráfica Intrusivas Alcalinas (K γ)

A Unidade Hidroestratigráfica Alcalinas Intrusivas localiza-se no limite noroeste do município de Joinville com o município de Campo Alegre, entre o Granito Dona Francisca e a Bacia de Campo Alegre (Figura 3.12). Trata-se de uma intrusão de um aegirina sienito, que forma um corpo elíptico com cerca de 2,0 por 1,25 km de diâmetro. Essa rocha alcalina não apresenta importância hidrogeológica. Enquadra-se na Classe 6, sendo não aquífera ou não exibindo vazões significativas.

3.2.2 Domínio Hidrogeológico Granular (Gr)

O Domínio Hidrogeológico Granular é representado por todas as rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados que dão origem aos aquíferos de porosidade intersticial. Os aquíferos granulares podem ser classificados quanto ao confinamento em livres, confinados e semiconfinados, porém em Joinville – SC somente ocorrem os aquíferos granulares livres.

Os aquíferos granulares são representados pelas rochas neoproterozoicas da Formação Bateias, composta pelo Membro São Bento do Sul, Membro Papanduvinha e Membro Rio do Bugre, bem como sedimentos cenozoicos representados pelos depósitos recentes, inconsolidados, do período Quaternário. Este último encontra-se representado pelos depósitos coluvionares, colúvio-aluvionares, aluvionares, paleoestuarinos, eólicos litorâneos, depósitos de turfeiras e depósitos de pântanos e mangues.

Os aquíferos relacionados a este domínio têm como recarga principal a precipitação pluviométrica, porém apresentam intensa relação com as águas superficiais, isto é, ora sendo recarregados por elas, ora descarregando nelas suas águas. Nesta dinâmica é que, em algumas áreas, há influência dos canais que contêm águas salinas derivadas das águas da Baía da Babitonga. Geralmente são aquíferos muito vulneráveis à poluição devido a sua constituição litológica e nível freático raso.

3.2.2.1 Unidade Hidroestratigráfica São Bento/Papanduvinha (NP3bcg)

Esta unidade hidroestratigráfica é constituída pelas rochas sedimentares da Formação Bateias, que constituem especificamente os membros São Bento do Sul e Papanduvinha. O Membro Papanduvinha refere-se aos depósitos de conglomerados desordenados, com seixos, blocos e pequenos matacões angulosos a subarredondados e mais raramente brechas, depositados em leques aluviais (fanglomerados). Já o Membro São Bento do Sul é representado por conglomerados polimíticos com seixos e blocos, subangulosos a arredondados, com matriz arenosa feldspática a arcoseana, rica em minerais máficos, argila variável e cimentação ferruginosa, depositados em ambiente fluvial de rios entrelaçados de grande energia.

Comporta-se como um aquífero pertencente à classe 5, com comportamento livre, extensão local e porosidade intergranular ampliada por fraturas e alteração intempérica. Suas vazões são pequenas e o modo de captação comum se dá através de fontes naturais. A qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD normalmente inferior a 100 mg/L.

Sua importância hidrogeológica relativa local é baixa por ocupar áreas pouco habitadas e por enquadrar-se na classe 5 (Figura 3.13). São recomendadas captações de fontes naturais ou poços escavados bem construídos.

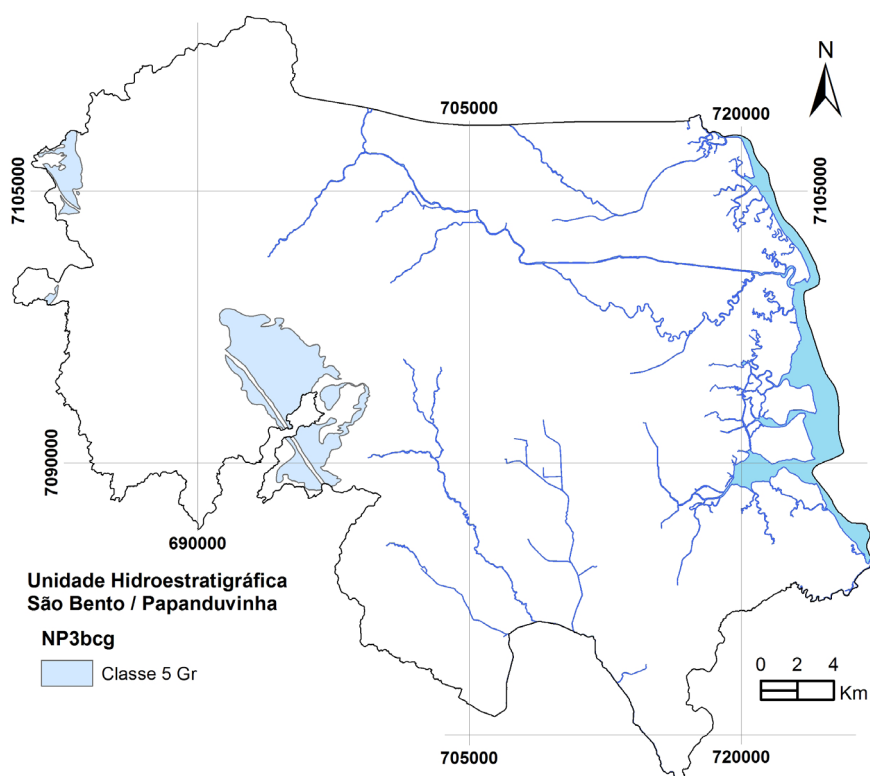


Figura 3.13 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica São Bento/Papanduvinha.

3.2.2.2 Unidade Hidroestratigráfica Rio do Bugre (NP3brb)

Esta unidade caracteriza-se pela ocorrência de arenitos grossos a finos, arcoseanos, com estratificações cruzadas tabulares de pequeno porte. Apresenta lentes de conglomerados finos na base e arenitos médios a finos, arcoseanos, intercalados com siltitos arenosos e argilosos no topo, depositados em ambiente fluvial e subaquoso.

Apesar de ser constituída por sedimentos clásticos, é uma rocha muito antiga, que se encontra muito compacta e com espaços preenchidos pela diagênese. Este fator leva essa unidade a se comportar como aquífero livre da classe 5, de extensão local, com porosidade intergranular ampliada por fraturas e alteração intempérica com vazões pequenas relacionadas a fontes naturais. Devido a sua ocorrência restrita à área de preservação da APA Dona Francisca (Figura 3.14), apresenta pequena importância relativa local. Suas águas, quando presentes, possuem excelente qualidade físico-química, com baixo TSD. São recomendadas captações de fontes naturais para aproveitamento de suas águas.

3.2.2.3 Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo (Q2el)

A Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo é composta por depósitos que ocorrem na área atrás das praias, formados por sedimentos arenosos finos a muito finos, na forma de paleodunas e paleomantos eólicos, e quando presentes, podem ocorrer estratificação plano-paralela e cruzada, além de bioturbações. Localiza-se no bairro Espinheiros, onde é reconhecida uma boa extensão deste depósito, composto por areias finas a muito finas, bem a muito bem selecionadas, de coloração esbranquiçada, sem estruturas visíveis. Estes depósitos eólicos são de espessura normalmente reduzida, bastante pedogeneizados e urbanizado, ocupando planícies fluviodeltaicas com altitudes próximas a 5 m (Figura 3.15).

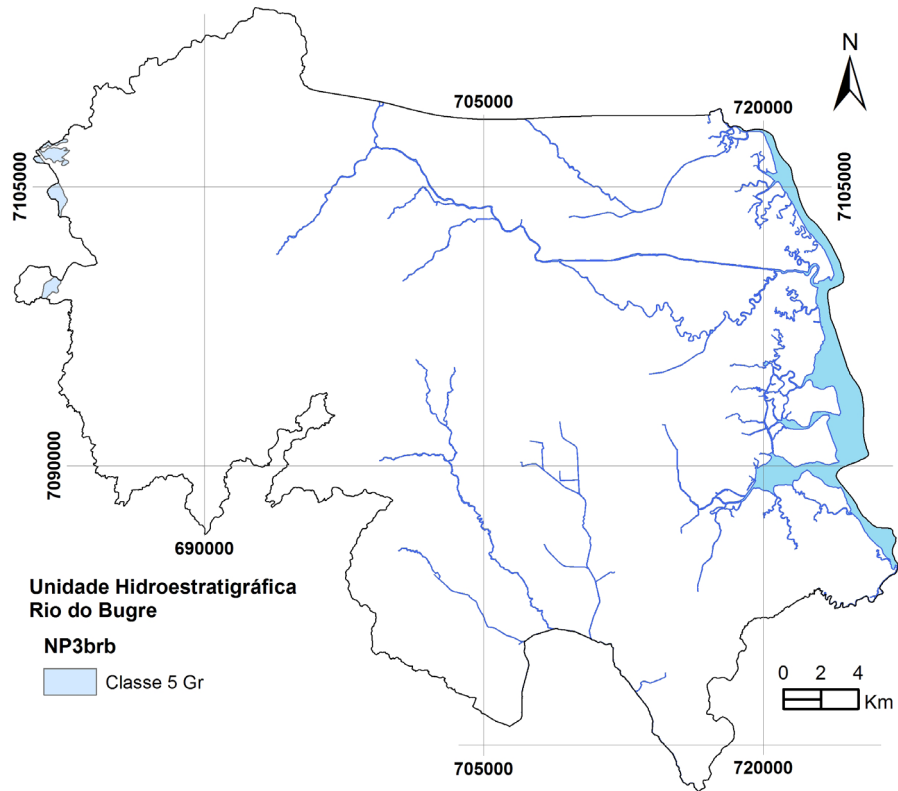


Figura 3.14 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Rio do Bugre.

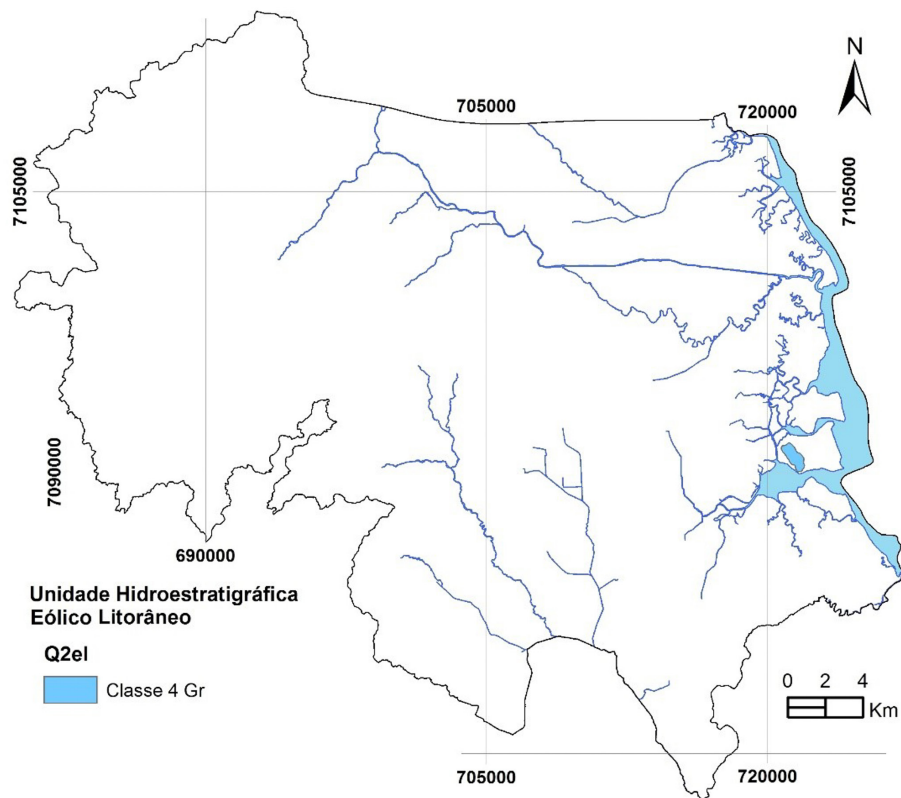


Figura 3.15 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo.

Configuram um aquífero livre de extensão local da classe 4, com porosidade intergranular, homogêneo e contínuo. Suas vazões são captadas por ponteiros variando entre 1 e 4 m³/h. Os níveis estáticos são rasos em geral. Poços tubulares bem construídos ou campos de ponteiros possibilitam vazões superiores a 10 m³/h. Sua vulnerabilidade natural é intensa em função da sua composição e dos níveis rasos.

Em função da sua restrita ocorrência em área com disponibilidade de rede pública de abastecimento, apresenta pequena importância relativa local. Geralmente a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD inferior a 200 mg/L. Podem ocorrer localmente concentrações excessivas de cloretos devido à proximidade com as águas da Baía da Babitonga.

Para captação de suas águas são recomendados campos de ponteira e poços tubulares rasos bem construídos com filtros e pré-filtros posicionados por perfilagem geofísica.

3.2.2.4 Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar (Q2a)

Esta unidade hidroestratigráfica é formada por depósitos de barras arenosas com cascalho, silte e argila em menor proporção. Geralmente, os depósitos podem ser constituídos, da base para o topo, por uma sequência arenosa média a fina com estratificação cruzada festonada, e seixos na base.

Ocupa planícies com componentes aluviais e terraços fluviais (Figura 3.16) com altitudes geralmente inferiores a 14 m e compõem um aquífero livre sobre aquíferos fraturados de menor permeabilidade. Enquadrado como classe 4, possui extensão regional, espessura superior a 30 m, com porosidade intergranular, homogêneo e contínuo. As vazões são atualmente produzidas por poços escavados e ponteiros variando entre 0,5 e 3,5 m³/h. Os níveis estáticos oscilam entre aflorantes e 5 m. Desempenha importante papel de recarregar a unidade fraturada subjacente.

Nas áreas de menor espessura da unidade, sua produtividade é baixa e a unidade passa a pertencer à classe 5. Apesar de menos produtiva, ocupa áreas rurais onde possui grande importância relativa local.

Em geral a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD comumente inferior a 200 mg/L, podendo ocorrer localmente concentrações excessivas de cloretos, ferro e manganês. A vulnerabilidade natural dessa unidade é alta devido a sua composição e seus níveis rasos.

No tocante às obras de captação sugeridas, são recomendados, exclusivamente nas zonas rurais, poços de pequeno diâmetro (ponteiros) e poços escavados para captações de pequenas vazões. Porém, nas áreas de maior espessura sugere-se a construção de campos de ponteiros ou poços tubulares com filtros e pré-filtros, bem dimensionados, que poderão atingir vazões em torno de 20 m³/h.

3.2.2.5 Unidade Hidroestratigráfica Paleoestuarino (Q2pe)

A Unidade Hidroestratigráfica Paleoestuarino é composta por areia fina, mal selecionada, comumente intercalada com lama e matéria orgânica, formando perfis espessos e intensamente alterados com horizontes pedogeneizados. Ocupa planícies fluviomarinhas com altitudes próximas a 5 m (Figura 3.17) e apresenta níveis estáticos rasos. Suas condições hidrogeológicas são de aquífero livre da classe 5, de extensão regional, com porosidade intergranular, homogêneo e contínuo. As vazões captadas por ponteiros variam entre 1 e 4 m³/h. Devido a sua restrita ocorrência, apresenta pequena importância relativa local.

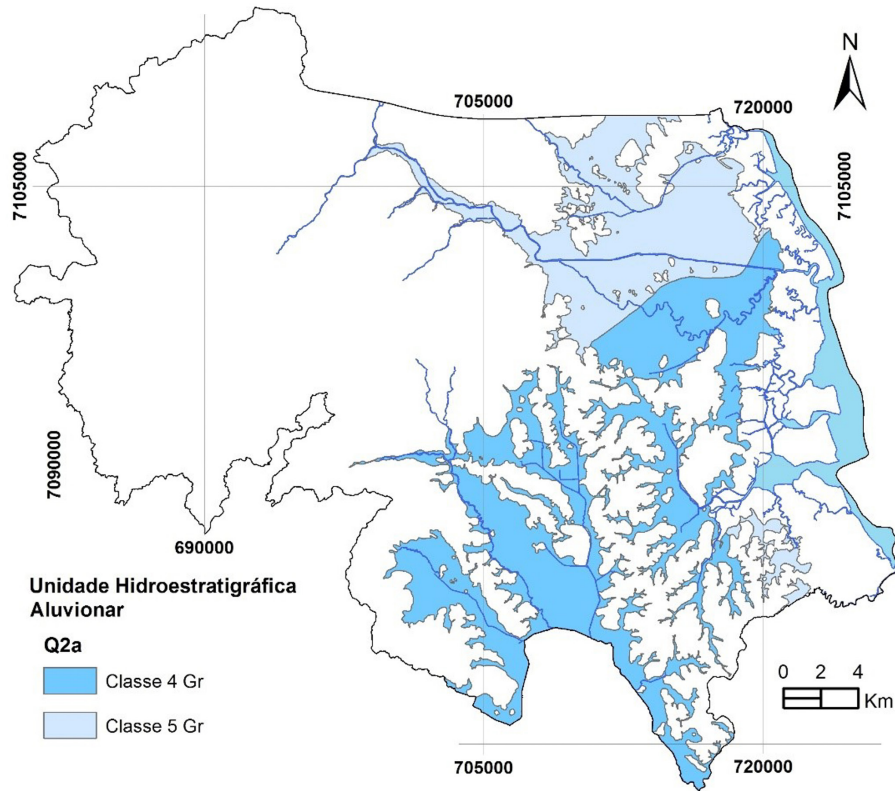


Figura 3.16 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar.

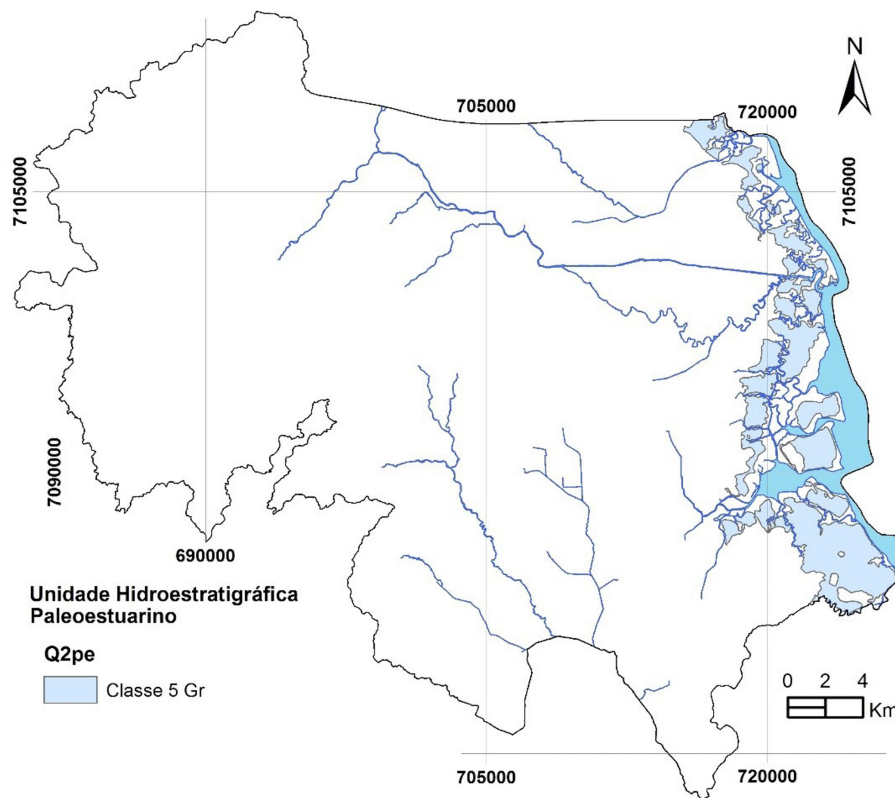


Figura 3.17 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Paleoesuarino.

Normalmente a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD comumente inferior a 150 mg/L. São recomendados poços ponteira para captações de pequenas vazões.

3.2.2.6 Unidade Hidroestratigráfica Coluvionar (Q2co)

Esta unidade hidroestratigráfica é formada pelos sedimentos siltico-argilosos e finos com proporções variadas de areia, blocos e seixos angulosos, mal selecionados, derivados de processos que ocorreram em encostas, como queda de blocos, fluxo de detritos e rastejamento de solo (Figura 3.18). São associados a vertentes de alta declividade e compostos por fluxos de detritos ou fluxos de lama.

Os colúvios comportam-se como aquífero livre de extensão localizada, com porosidade intergranular, homogêneo e contínuo. As vazões são obtidas sobretudo por poços escavados, captações de fontes naturais e poços ponteira entre 0,5 e 5 m³/h. Os níveis estáticos são geralmente rasos, devido às altas taxas pluviométricas. Nas áreas rurais possuem grande importância hidrogeológica relativa local, onde são captados por fontes ou poços escavados. Também favorecem a recarga dos aquíferos fraturados subjacentes, ampliando sua potencialidade.

De modo geral a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD normalmente inferior a 100 mg/L, podendo ocorrer concentrações indesejadas de ferro e manganês. Os tipos de obras de captação sugeridas são poços escavados, poços ponteira, poços tubulares e captações de fontes para suprir pequenas demandas de água.

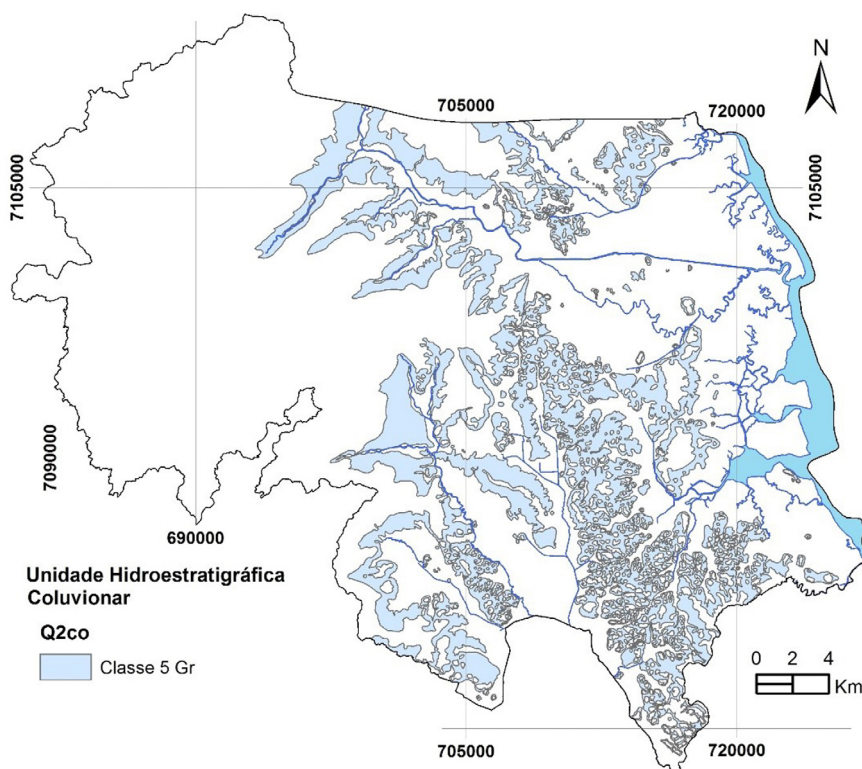


Figura 3.18 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Coluvionar.

3.2.2.7 Unidade Hidroestratigráfica Colúvio-aluvionar (Q2ca)

Os depósitos colúvio-aluvionares são compostos por sedimentos semelhantes aos colúvios, porém retrabalhados por ação fluvial responsável por retirar sedimentos finos e concentrar cascalhos e areias. Esses depósitos formam a Unidade Hidroestratigráfica Colúvio-aluvionar, classificada em sua totalidade na classe 5. Dão origem a aquíferos livres de extensão local com porosidade intergranular e pequena espessura, cuja vazões são captadas principalmente por poços escavados e variam entre 0,5 e 4 m³/h. Os níveis estáticos são muito rasos em geral, por vezes aflorantes. Devido a sua restrita ocorrência (Figura 3.19), esta unidade apresenta pequena importância relativa local.

Geralmente a qualidade da água é boa para todos os usos, com TSD comumente inferior a 100 mg/L, podendo ocorrer concentrações indesejadas de ferro e manganês. São recomendados poços escavados e poços ponteira para captações de pequenas vazões nesse aquífero.

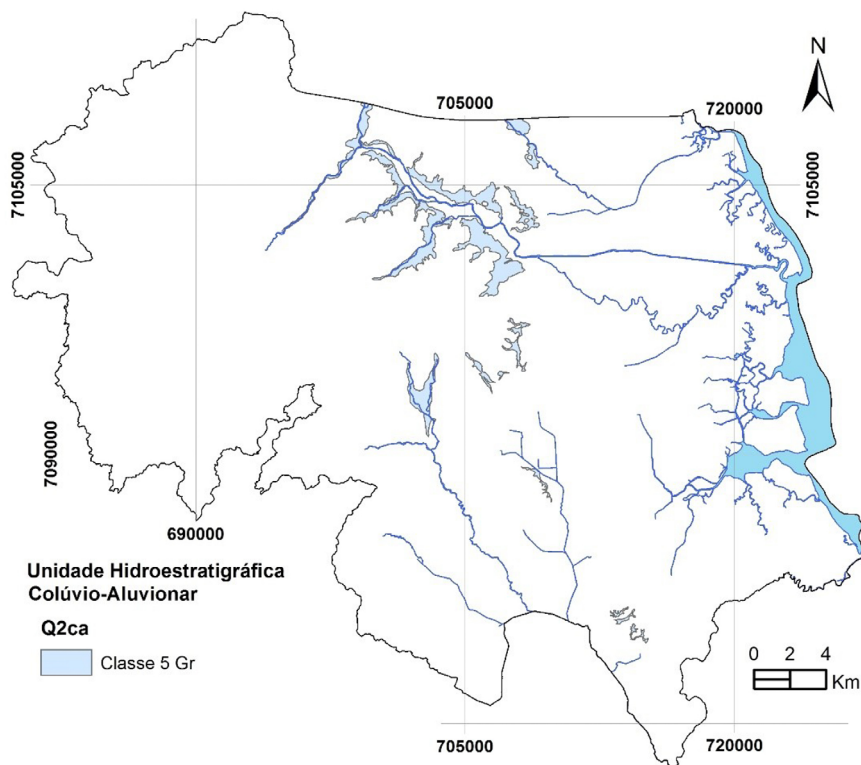


Figura 3.19 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Colúvio-aluvionar.

3.2.2.8 Unidade Hidroestratigráfica Turfeiras (Q2tf)

As turfeiras são depósitos formados por argila orgânica amarronada, visivelmente com fragmentos de vegetais, subordinadamente gradando de areia argilosa para areia muito fina, rica em matéria orgânica. Esses depósitos de turfas ocorrem nas várzeas, onde existiam pântanos ou antigas lagoas, e são facilmente distinguíveis por sua coloração marrom escura a preta.

Essa unidade estratigráfica comporta-se como aquitardo e aquíclode, com depósitos de pouca extensão e esparsa distribuição (Figura 3.20), e não possui vazões significativas, portanto pertencente à classe 6, sendo não aquífero ou aquífero praticamente ausente. Suas águas, quando presentes, possuem qualidade inadequada devido à presença de matéria orgânica e elevadas concentrações de ferro. Não se recomenda a captação dessa unidade de forma alguma.

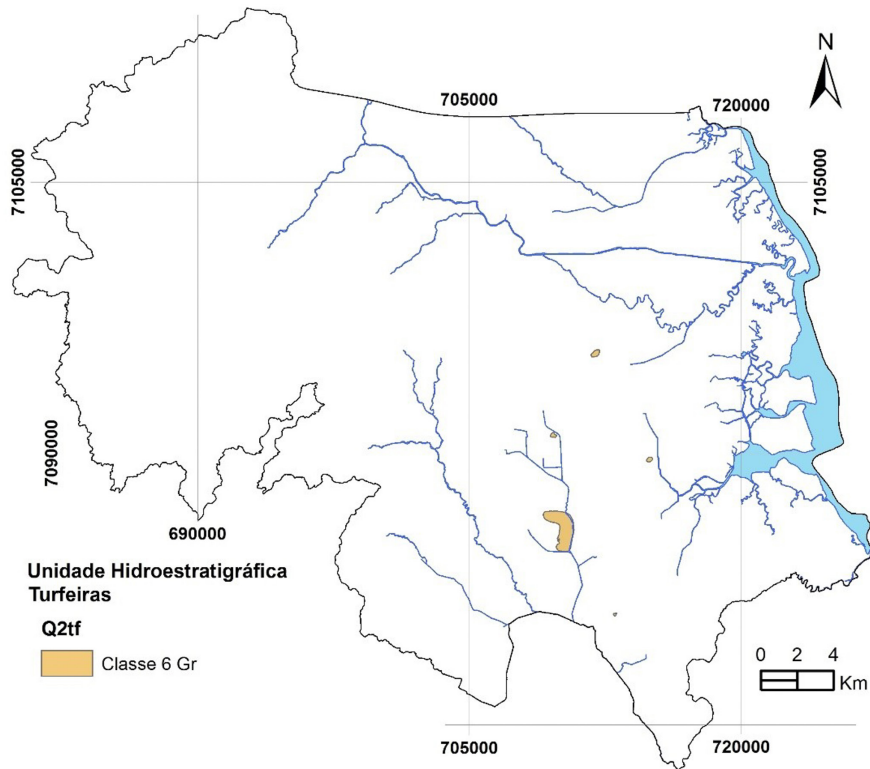


Figura 3.20 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Turfeiras.

3.2.2.9 Unidade Hidroestratigráfica Pântanos e Mangues (Q2pm)

É composta por sedimentos ricos em matéria orgânica, localizada nas porções próximas à Baía da Babitonga, onde predominam sedimentos finos (argilas e siltes) com matéria orgânica, formando as planícies de maré. Os canais de maré, mais abaixo na topografia, são caracterizados pela mistura de sedimentos argilosos e arenosos, com a predominância de areia aumentando na direção do canal da Babitonga.

Hidrogeologicamente é caracterizada por um aquitardo de distribuição localizada, componente da classe 6, na qual as vazões são insignificantes e sem importância relativa local. Quando presente, a água tem baixa qualidade devido à ocorrência de matéria orgânica e às elevadas concentrações de cloreto.

3.3 Bloco-Diagrama das Unidades Hidrogeológicas

Com a finalidade de visualizar as unidades hidrogeológicas mapeadas e sua distribuição no município de Joinville – SC, foi construído um bloco diagrama a partir do mapa hidrogeológico e do modelo digital de elevação (Figura 3.22). Notam-se os aquíferos fraturados compondo a totalidade da área da Serra da Dona Francisca, os morros e morrotes da área urbana e parte da Serra do Mar, nos limites norte e nordeste da área; os aquíferos do domínio granular ocupam os sopés da serra, fundo dos vales e toda a planície costeira. Também é possível observar os depósitos de mangue, mapeados como não aquíferos, bordejando a Baía da Babitonga.

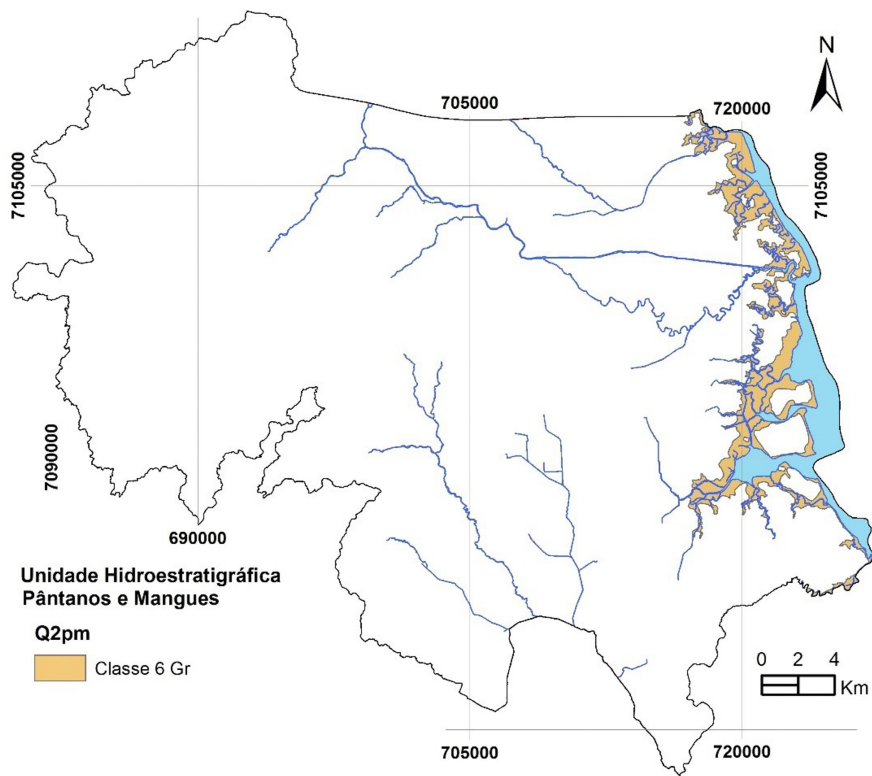


Figura 3.21 Ocorrência da Unidade Hidroestratigráfica Pântanos e Mangues.

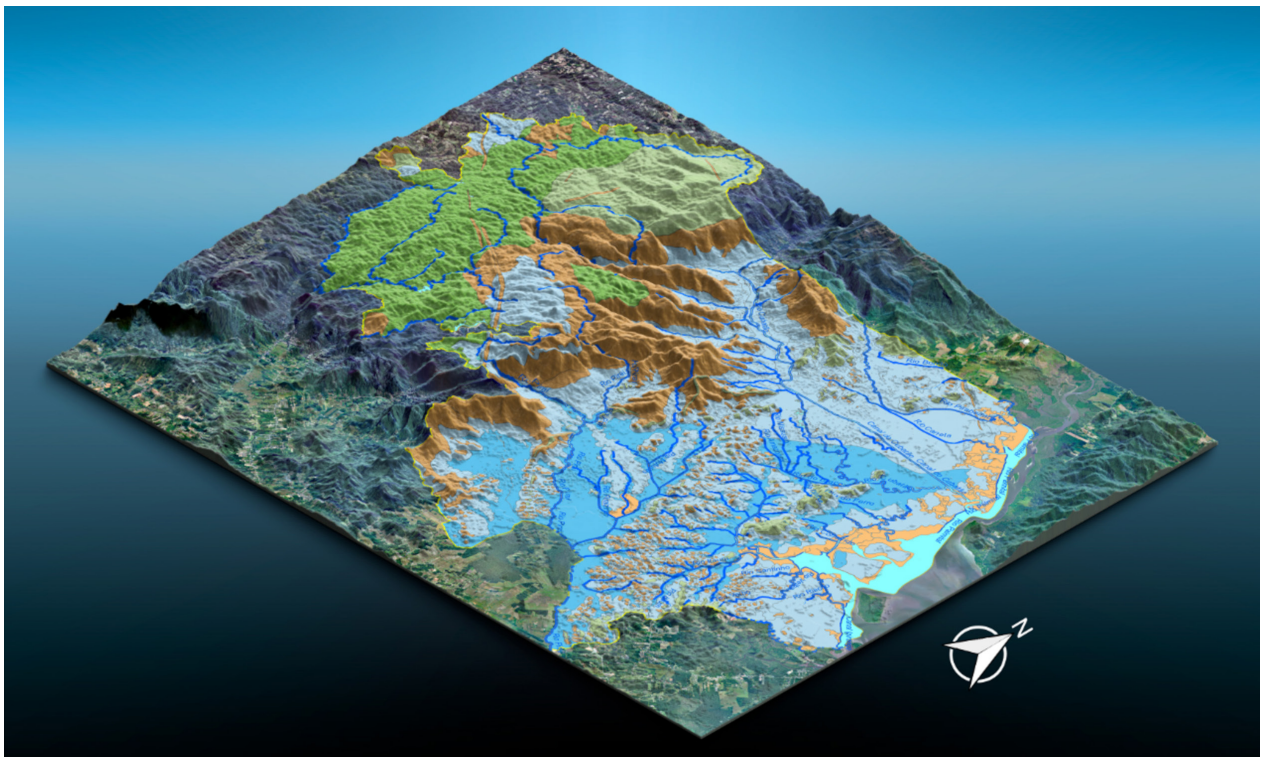


Figura 3.22 Bloco-diagrama das unidades hidroestratigráficas mapeadas.

3.4 Mapa Hidrogeológico

O Mapa Hidrogeológico de Joinville – SC, na escala 1:50.000, reúne todas as informações de natureza hidrogeológica das unidades hidroestratigráficas descritas na seção 3.2. O Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000 apresenta um cartograma principal centralizado – o mapa hidrogeológico propriamente dito –, com uma legenda descritiva à esquerda e orbitado por uma série de informações auxiliares como os mapas de encarte e seções hidrogeológicas.

Como há uma grande quantidade de poços representativos e detalhes hidrogeológicos, na zona industrial norte e na área central, o mapa principal apresenta duas janelas em maior escala destacadas para melhorar a visualização das informações nessas áreas.

3.4.1 Legenda Hidrogeológica

A legenda hidrogeológica consiste em uma tabela composta pelas seguintes informações de cada unidade hidroestratigráfica:

- Sigla;
- Domínio hidrogeológico;
- Nome;
- Litologias;
- Condições hidrogeológicas;
- Vazões prováveis e níveis estáticos;
- Importância hidrogeológica local;
- Qualidade da água e teor de sólidos totais dissolvidos;
- Tipos de obras de captação sugeridas.

3.4.2 Mapas de Encarte

Os mapas de encarte são os de menor escala que orbitam o principal e têm função de complementar e ilustrar as informações referentes ao tema desenvolvido. O mapa hidrogeológico de Joinville – SC possui onze mapas de encarte, a saber: domínios geológicos, domínios hidrogeológicos, padrões de relevo, potenciometria dos aquíferos granulares livres, vulnerabilidade natural à contaminação, zoneamento hidrogeoquímico, recarga total anual, altimetria, densidade de poços e volumes totais explorados.

3.4.2.1 Domínios Geológicos

O mapa de domínios geológicos (Figura 3.23) apresenta o arcabouço geológico do município de Joinville – SC. Tais domínios dividem-se em Cráton Luís Alves, Granitos Anorogênicos, Bacias Vulcanossedimentares, Bacia do Paraná e Coberturas Cenozoicas. Esses domínios representam um dos principais condicionantes do comportamento hidrogeológico, expresso pelas diversas unidades hidroestratigráficas apresentadas anteriormente.

3.4.2.2 Domínios Hidrogeológicos

O encarte de Domínios Hidrogeológicos (Figura 3.24) reúne as diversas unidades hidroestratigráficas em dois grupos de acordo com a porosidade: fraturados e granulares. O Domínio Fraturado, composto por rochas ígneas e metamórficas, representa a porosidade secundária gerada por fraturas tectônicas ou de alívio que dão origem a aquíferos anisotrópicos heterogêneos. O Domínio Granular é composto por rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados que têm porosidade primária intergranular e comportamento isotrópico.

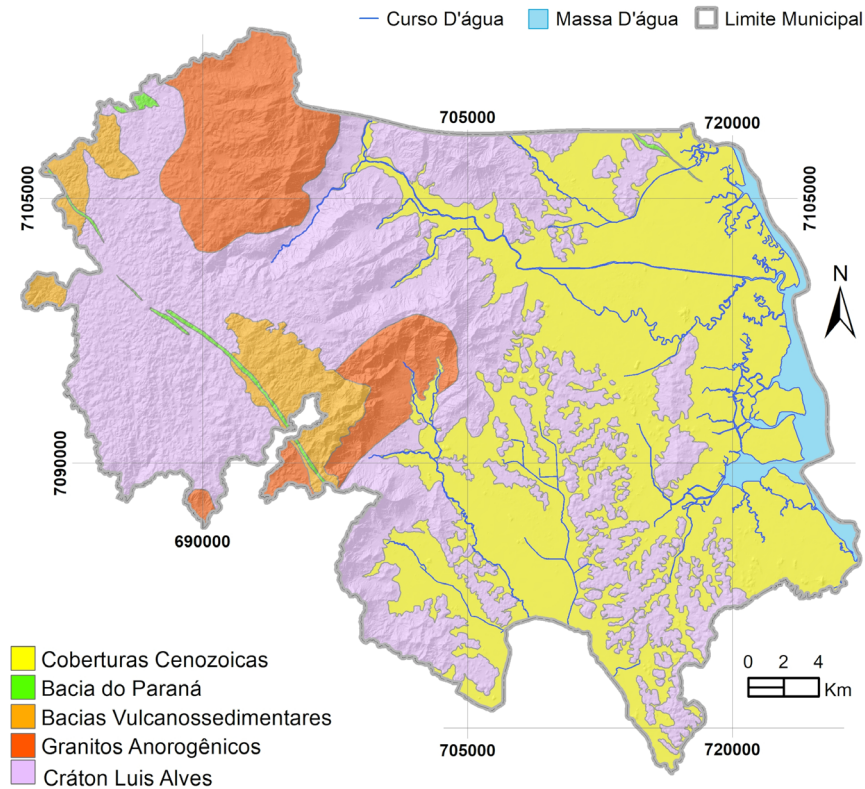


Figura 3.23 Encarte de Domínios Geológicos.

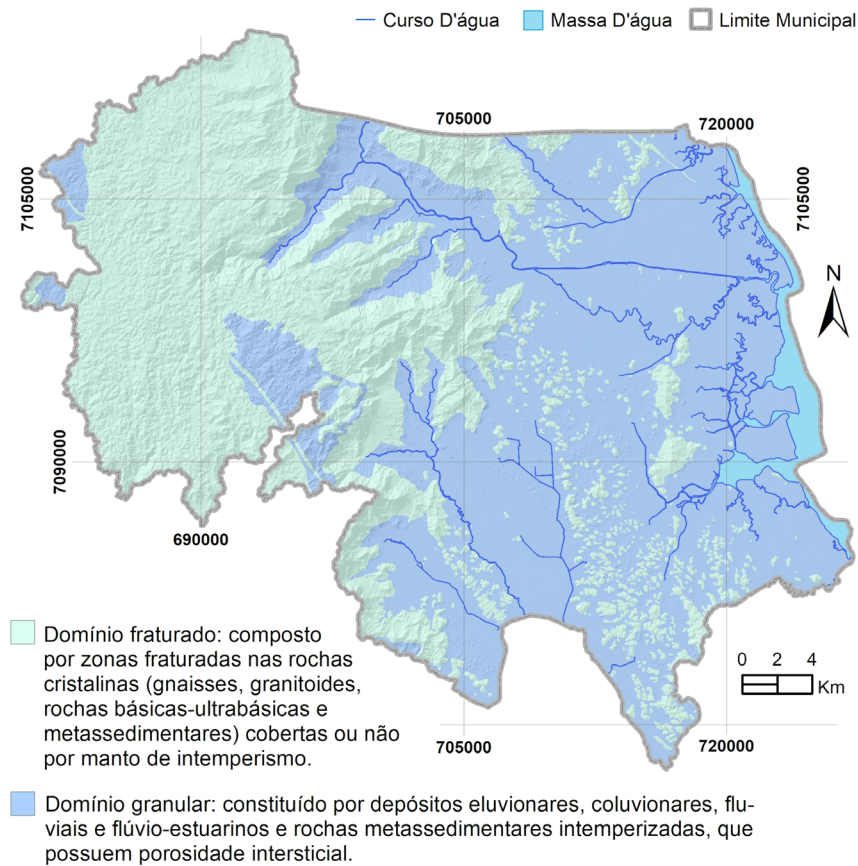


Figura 3.24 Encarte de Domínios Hidrogeológicos.

3.4.2.3 Padrões de Relevo

O mapa deste encarte (Figura 3.25) exibe uma classificação de unidades morfoestruturais, unidades morfoesculturais, unidades geomorfológicas e padrões de relevo, estes últimos caracterizados quanto às amplitudes de relevo e declividades predominantes (DANTAS *et al.*, 2020). A compartimentação que origina o mapa são informações derivadas de processamento de dados de Modelo Digital de Terreno (MDT), por sua vez cruzadas com bancos de dados pretéritos como Mapa de Solos, Mapas Geológicos e correlatos. O MDT utilizado foi o fornecido pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, no recorte para o município. A resolução espacial deste modelo é de 1 m por pixel. De mesma fonte foi utilizado um mosaico aerofotogramétrico de resolução de 40 cm por pixel. O MDT base foi reclassificado aos limiares de corte topográfico para melhor entendimento da hipsometria e separação das unidades de relevo. Dele se derivou curvas de nível em espaçamento de 10 m, declividades em graus do terreno e relevo sombreado. Todos os processamentos de imagens deste trabalho foram realizados em ambiente SIG no aplicativo ArcMap 10.8.1 da ESRI. Após obter-se os dados morfométricos de terreno, procedeu-se a distinção dos padrões de relevo conforme manual proposto pelo SGB-CPRM em Dantas (2016), por critérios topográficos de amplitude e declividade associados a natureza geológica e pedológica do terreno. A Figura 3.25 exibe as unidades de relevo sobre o modelo digital de elevação, facilitando a visualização da geomorfologia da área.

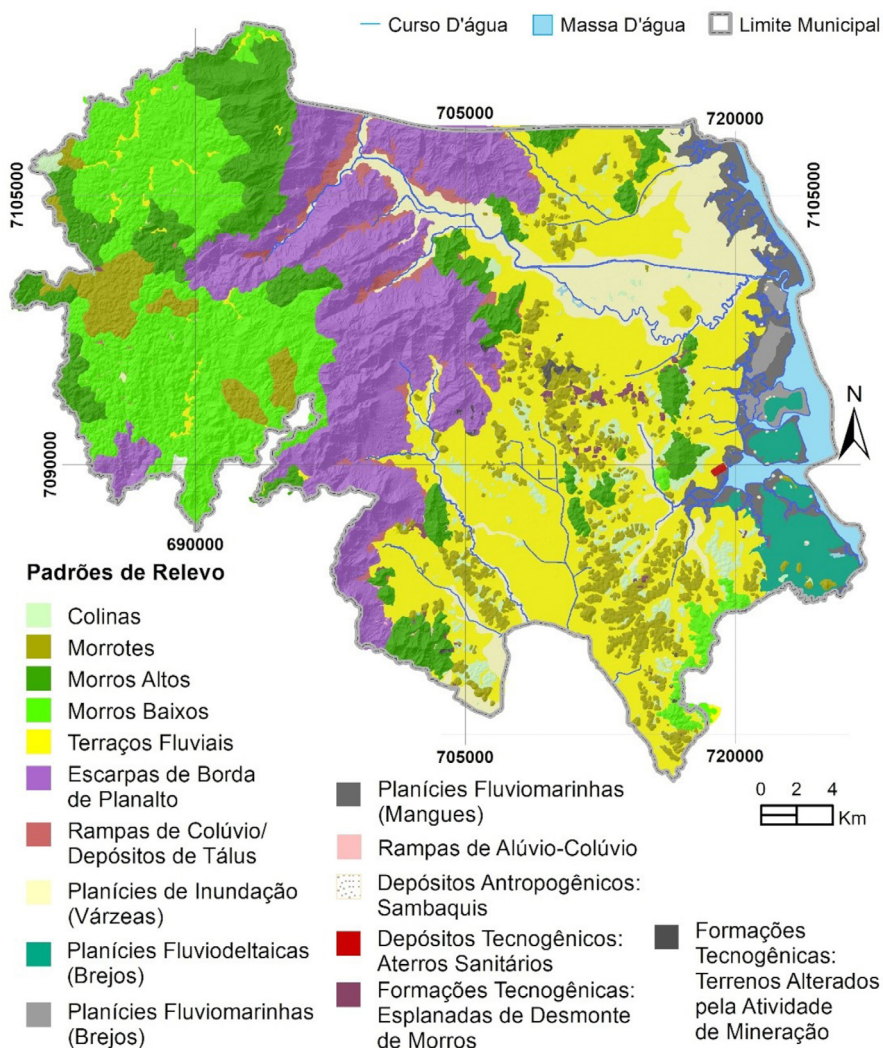


Figura 3.25 Encarte Padrões de Relevo.

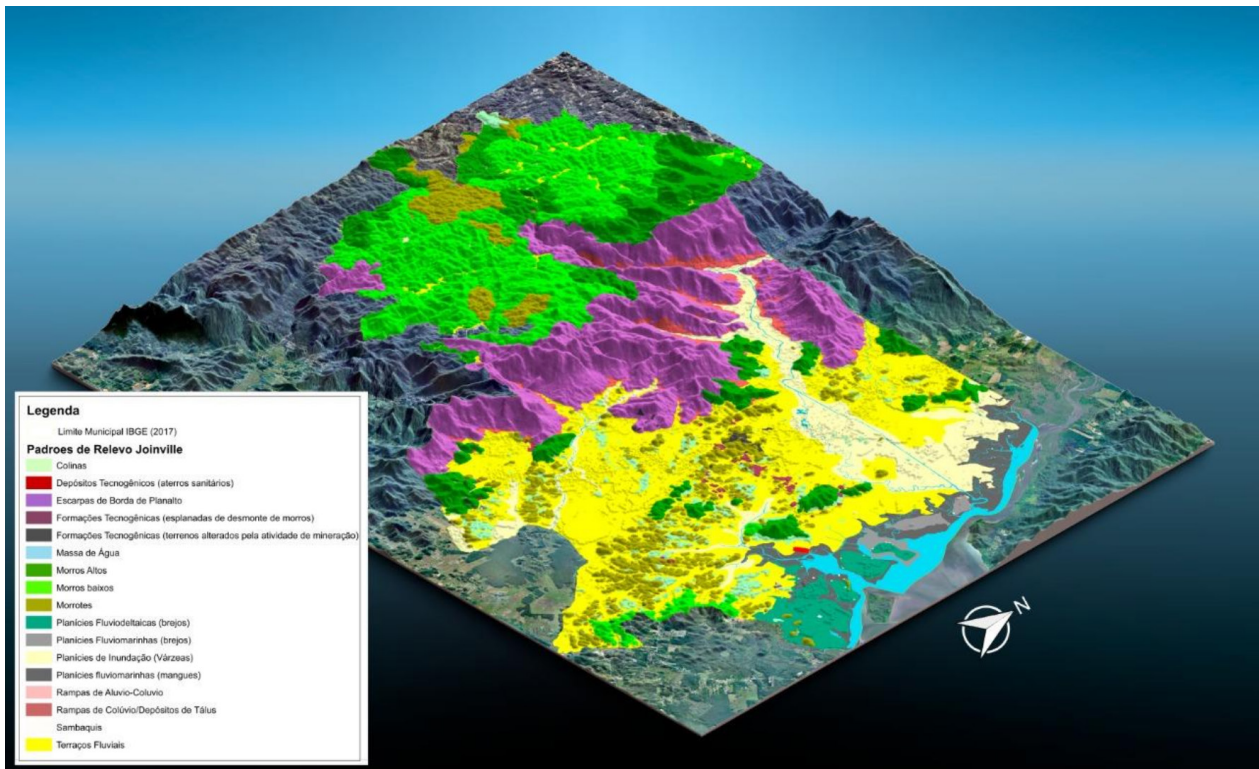


Figura 3.26 Padrões de relevo em visualização 3D.

3.4.2.4 Potenciometria

O encarte Potenciometria representa as curvas equipotenciais do aquífero granular livre composto por sedimentos inconsolidados e horizontes regolíticos. Foi confeccionado a partir da interpolação de cotas de níveis registrados em sondagens SPT, poços escavados, poços ponteira, sondagens elétricas verticais, sondagens realizadas para os testes de infiltração e pontos de observação de campo. O resultado, presente na Figura 3.27, mostra o comportamento da cota do nível (em relação ao nível do mar) das águas subterrâneas do aquífero granular livre.

O sentido do fluxo regional também é expresso por setas, didaticamente ilustrado em três dimensões na Figura 3.28. Nota-se, na referida figura, que o aquífero livre descarrega suas águas nas encostas e escarpas da serra, através das nascentes, dando origem a grande parte dos cursos d'água superficiais. Na planície seu espaçamento é maior, indicando aquíferos com transmissividade superior relacionada à Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar, os quais descarregam suas águas na Baía da Babitonga.

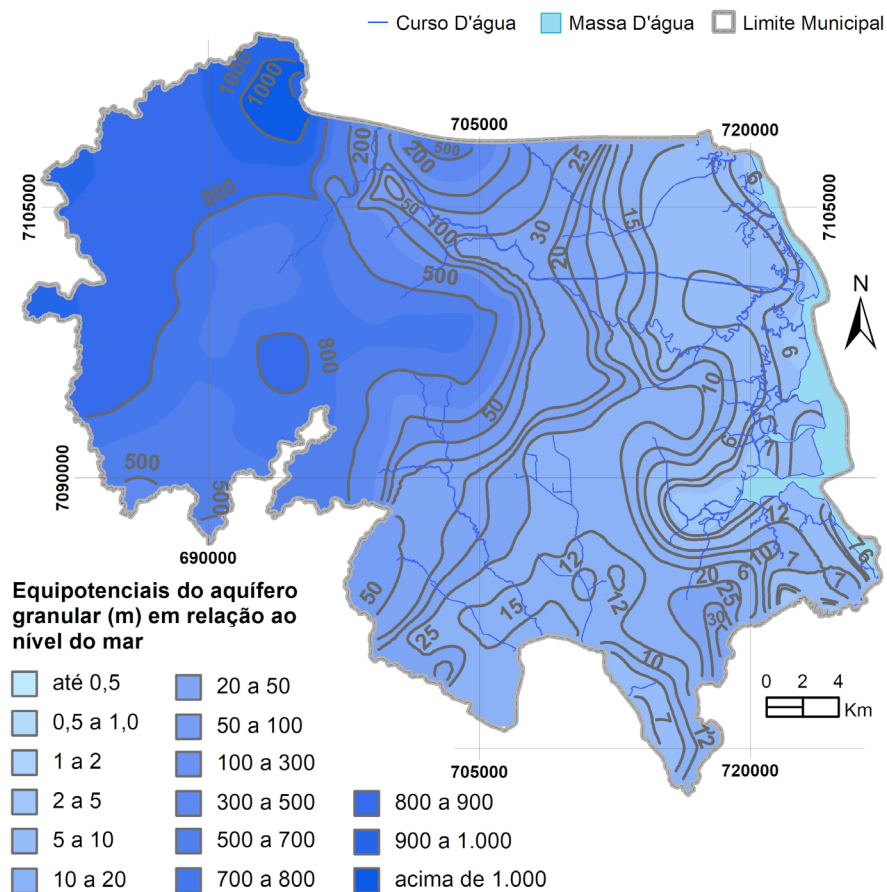


Figura 3.27 Encarte da potenciometria do aquífero granular livre.

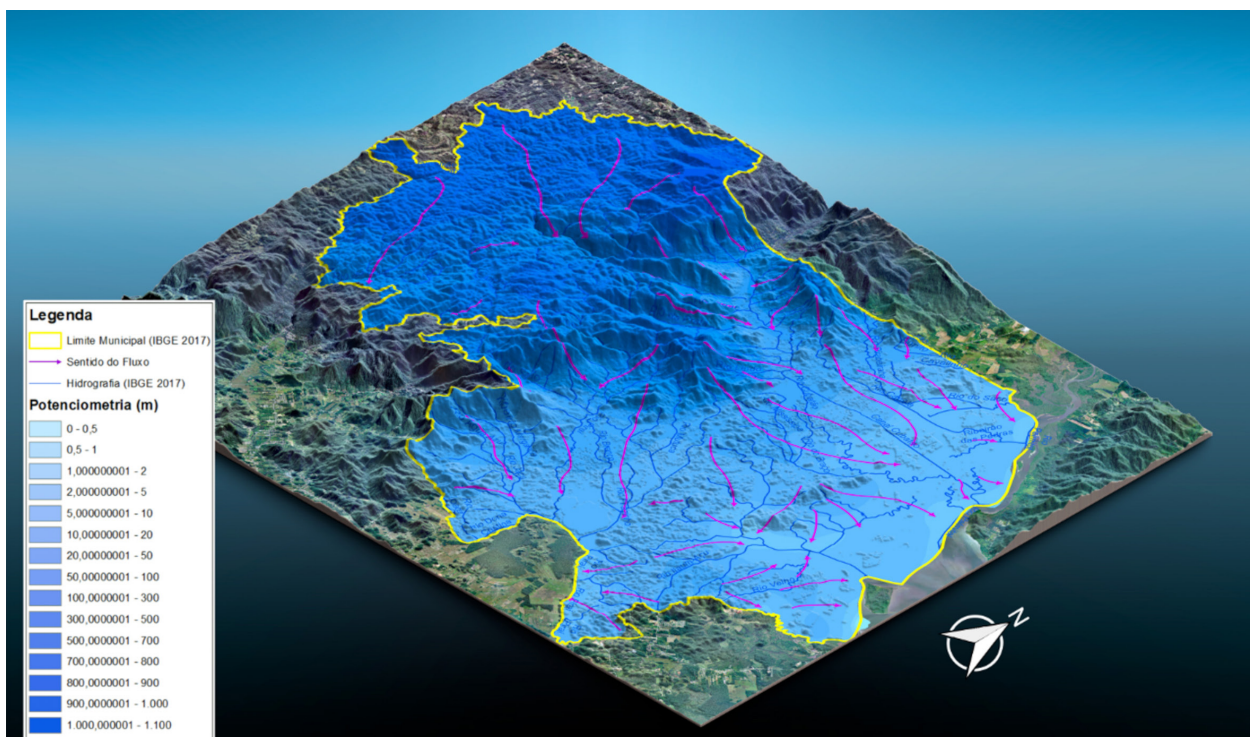


Figura 3.28 Equipotenciais e sentido de fluxo regional do aquífero granular livre sobre o modelo digital de elevação.

3.4.2.5 Vulnerabilidade Natural à Contaminação

O encarte vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos de Joinville – SC é representado pelo mapa de vulnerabilidade DRASTIC (ALLER; LEHR; PETTY, 1985) apresentado anteriormente no Produto 5 - Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos. Os índices de vulnerabilidade indicam as áreas com maior e menor vulnerabilidade intrínseca à contaminação (Figura 3.29).

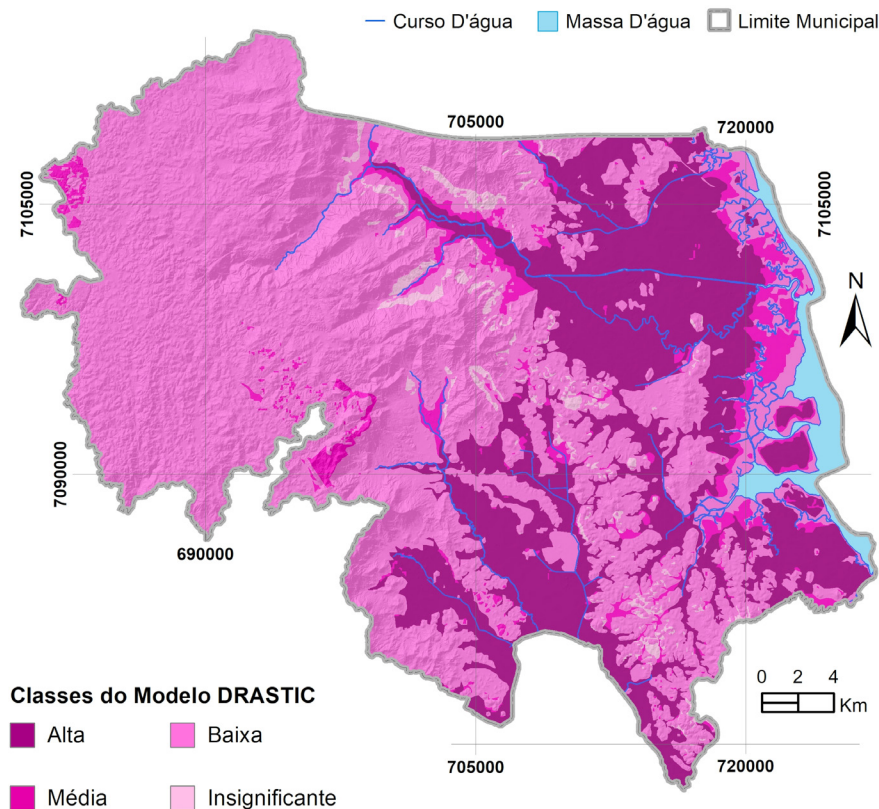


Figura 3.29 Encarte de vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação, representada pelos índices DRASTIC (Aller et al., 1985).

3.4.2.6 Zoneamento Hidrogeoquímico

O encarte zoneamento hidrogeoquímico (Figura 3.30), derivado do estudo apresentado no Produto 4 - Mapa Hidrogeoquímico, ilustra os tipos hidrogeoquímicos das águas subterrâneas que ocorrem no município, além de sua evolução. Regionalmente, essas águas evoluem de oeste para leste, partindo de águas bicarbonatadas cálcicas para águas bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas.

3.4.2.7 Recarga Total Anual

O encarte de recarga total anual apresenta a estimativa da recarga média anual para o município de Joinville – SC, realizada utilizando as bacias hidrográficas como unidades de cálculo, e compreendeu a estimativa da recarga proveniente de ambientes naturais e urbanos, descritas detalhadamente no capítulo 5 deste relatório. Sua função é ilustrar, na área de estudo, a variação das recargas dos aquíferos (Figura 3.31).

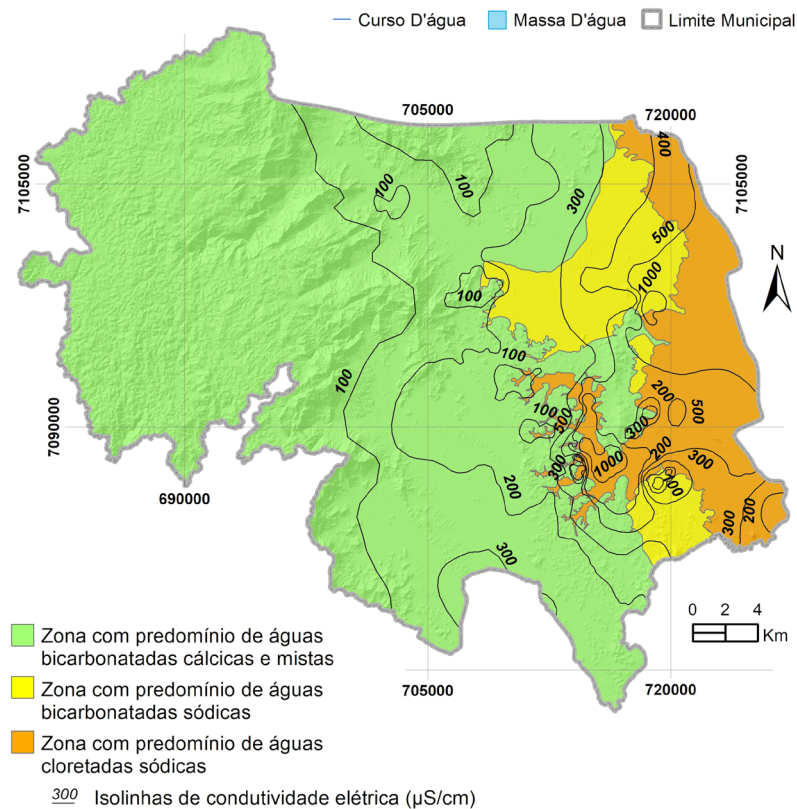


Figura 3.30 Encarte Zoneamento Hidrogeoquímico das Águas Subterrâneas.

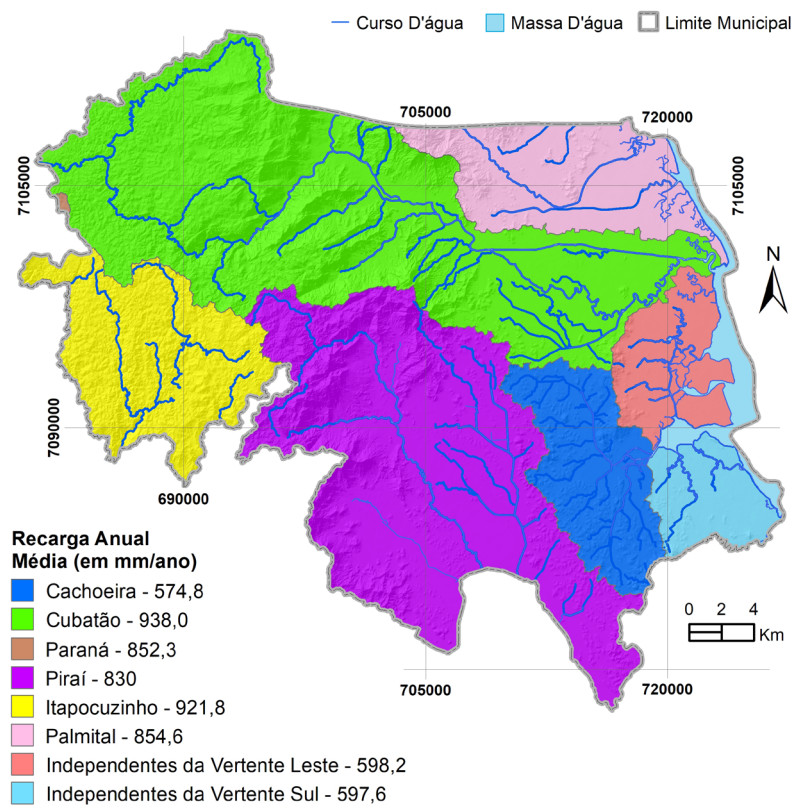


Figura 3.31 Encarte Recarga Total Anual.

3.4.2.8 Altimetria

O encarte de altimetria (Figura 3.32) exibe a variação das altitudes do terreno em Joinville – SC a partir do modelo digital do terreno. Sua função é permitir avaliar como se comporta o terreno que influi diretamente no comportamento das águas superficiais e subterrâneas em Joinville.

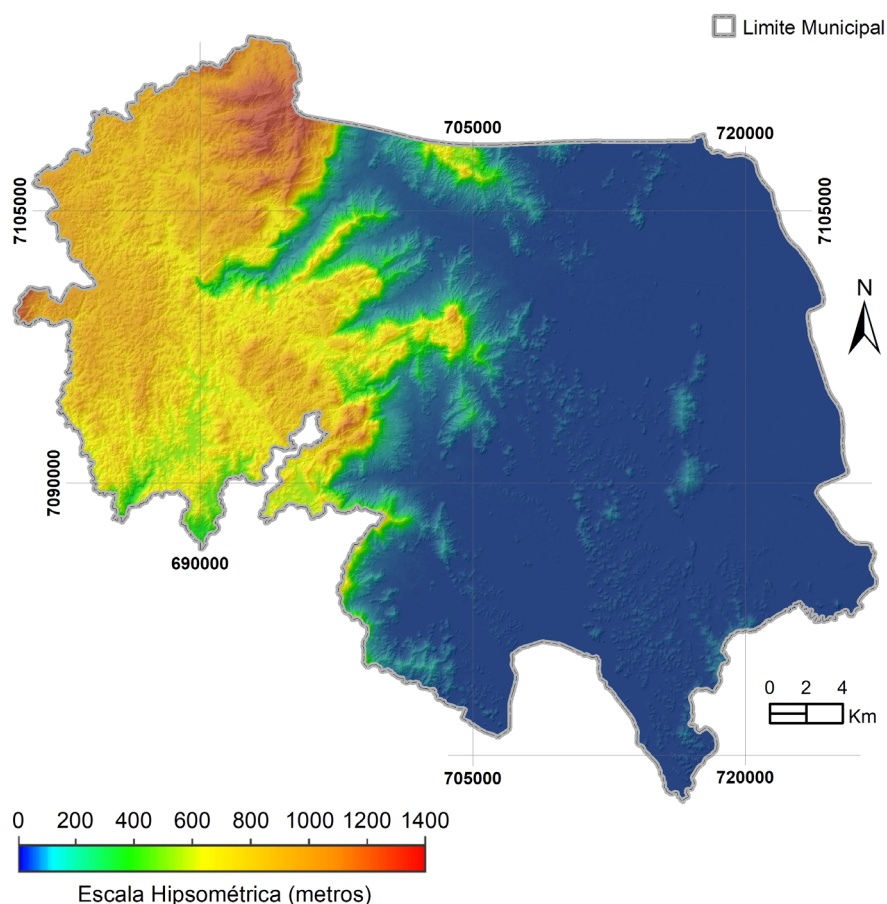


Figura 3.32 Encarte Altimetria.

3.4.2.9 Densidade de Pontos Cadastrados

Este encarte representa a densidade de pontos de captação de água subterrânea cadastrados durante o projeto como poços tubulares, poços escavados, poços de pequeno diâmetro (poços ponteira) e fontes. Sua função é exibir a densidade de informação utilizada para a cartografia hidrogeológica. Observa-se que as maiores densidades estão nas áreas urbanizadas (Figura 3.33).

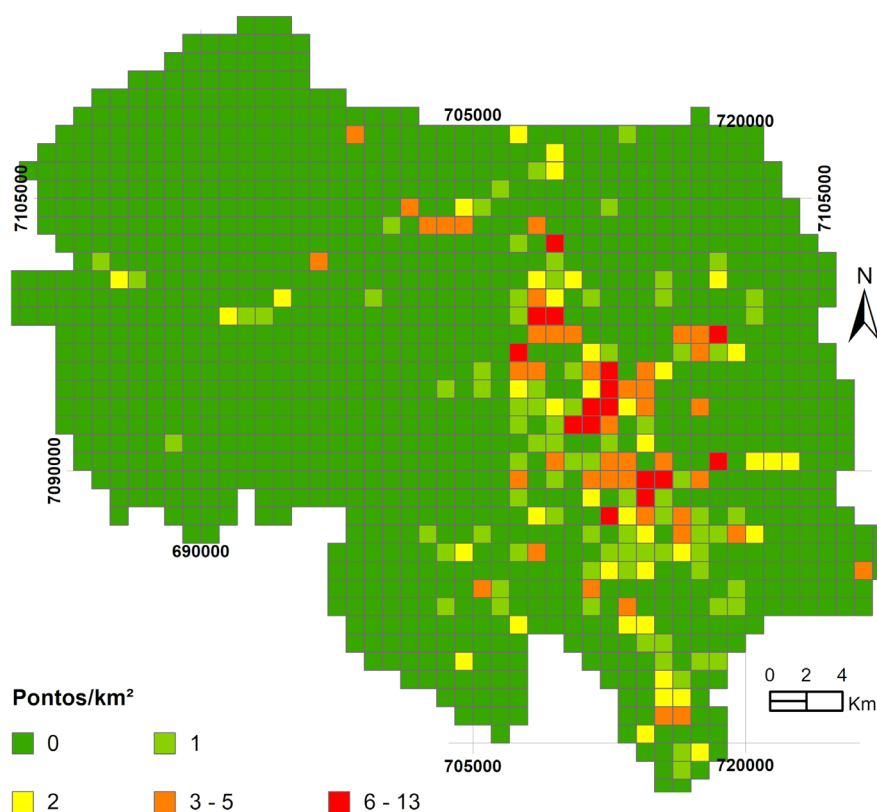


Figura 3.33 Encarte Densidade de Pontos Cadastrados.

3.4.2.10 Volumes Anuais Explotados

A função deste encarte é ilustrar a espacialização da retirada de água subterrânea em Joinville – SC pelos diversos tipos de captação. As maiores retiradas ocorrem na área central e na zona industrial (Figura 3.34). Para tanto, foram reunidos 457 poços cadastrados no banco de dados SIAGAS para o município de Joinville – SC, o que inclui os poços cadastrados em campo no âmbito do Projeto Mapeamento Geológico e Hidrogeológico de Joinville e outros poços preteritamente catalogados durante as últimas duas décadas, por diversos outros trabalhos executados pelo SGB-CPRM. Deste montante inicial, os registros de 110 poços foram descartados por não se caracterizarem como poços em bombeamento, com muitos estando fora de uso ou não possuindo dados confiáveis. Desta forma, foram utilizados 347 poços para o cálculo, os quais contêm dados originais do consumo de água ou dados suficientes para permitir a inferência de volumes de consumo de água.

Foram utilizados os valores de explorações originais que já constavam informados para alguns poços, sendo que para os demais, foram realizadas estimativas baseadas em alguns cálculos. Essas estimativas consideraram valores de tempo de bombeamento médios com base nos diferentes tipos de uso (Quadro 3.1/Quadro 3.1). Para os casos em que não haviam dados de vazão, foi estimada de forma conservadora uma vazão de exploração geral de 1 m³/h, que é um valor de vazão comum para poços encontrados em Joinville – SC que, em geral, realizam a exploração por meio de bombas centrífugas de até 1 CV e pequenas bombas submersas.

Quadro 3.1 Estimativas consideraram valores de tempo de bombeamento médios com base nos diferentes tipos de uso.

Tipo de Uso	Estimativa de Tempo de Uso
Industrial	8h/dia, 20 dias/mês
Doméstico e Doméstico/Animal	2h/dia, 30 dias/mês
Outros (Lazer)	1h/dia, 4 dias/mês
Irrigação, Doméstico/Irrigação e Doméstico/Irrigação/Animal	3h/dia, 30 dias/mês
Múltiplo	2h/dia, 15 dias/mês

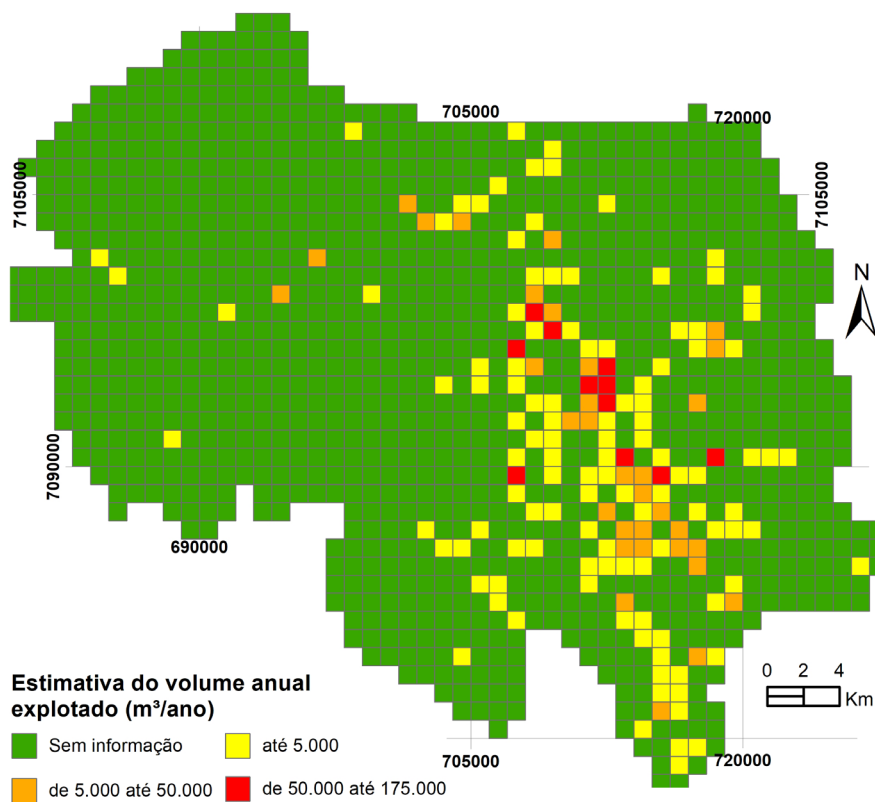


Figura 3.34 Encarte Volume Anual Explotado.

3.4.3 Seções Hidrogeológicas

As seções hidrogeológicas A-A' (NS) e B-B' (EW) foram construídas a partir da interpretação dos dados de poços e sondagens elétricas verticais (SEVs) realizadas pelos estudos geofísicos executados (Figura 3.35). Ambas possuem um exagero vertical de 10 vezes. Sua função é elucidar o comportamento das unidades hidroestratigráficas em profundidade, contendo espessura, nível freático e topografia.

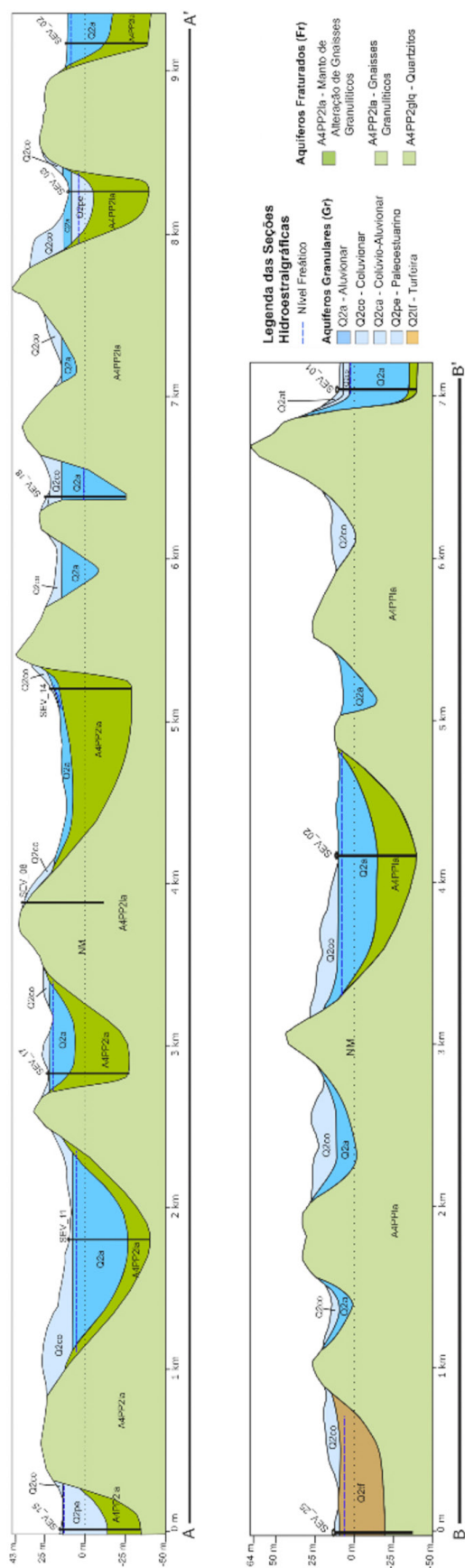


Figura 3.35 Seções hidrogeológicas A-A' e B-B'.

4. PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

4.1 Introdução

A determinação dos parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero representa uma etapa muito importante na sua caracterização de modo quantitativo, permitindo sua classificação em termos de produtividade para diferentes formas de uso, como abastecimento público e doméstico, irrigação, des-sedentação de animais, industriais, entre outros. Além disso, as análises qualitativas permitem prever o comportamento de contaminantes externos, possibilitando seu controle, monitoramento e adoção de medidas necessárias para a recuperação das áreas contaminadas, sempre quando possível. Os parâmetros também proporcionam estabelecer as relações entre as águas subterrâneas e superficiais, exercendo papel fundamental nos balanços hídricos.

Os principais parâmetros hidrodinâmicos são a condutividade hidráulica (K), a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S). Eles podem ser calculados a partir de testes de aquíferos, determinados através de ensaios de bombeamento em poços tubulares. Já o parâmetro comumente chamado de capacidade específica (q), ou mesmo de vazão específica, diz mais respeito às condições de cada poço.

4.2 Parâmetros Hidrodinâmicos

4.2.1 Condutividade Hidráulica (K)

A condutividade hidráulica pode ser definida como a velocidade aparente por gradiente hidráulico único de um aquífero (FEITOSA *et al.*, 2005). Resumidamente, é a capacidade do meio poroso de transmitir água. A unidade de medida é m/s, m/h, cm/s, etc. Seus valores dependem das propriedades físicas do aquífero (granulometria, porosidade, mineralogia), gradiente hidráulico e viscosidade do fluido (água) que percola por ele. A condutividade hidráulica, também conhecida como coeficiente de permeabilidade, representa a velocidade que a água pode atingir ao passar por um meio poroso, tanto em aquíferos mais profundos, em rochas sedimentares, quanto em aquíferos mais rasos, compreendidos por sedimentos inconsolidados, solos e mantos de alteração de rochas pré-existentes. Quanto mais fino for o sedimento que constitui o aquífero ou solo, menor será a condutividade hidráulica (permeabilidade), pois a água sofrerá maior resistência ao passar pelo material, sendo que sua velocidade de fluxo diminuirá. O Quadro 4.1 mostra valores estimados da condutividade hidráulica em diferentes meios porosos.

Quadro 4.1 Condutividade hidráulica de alguns materiais, modificado de Feitosa *et al.* (2005).

Material	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	10^{-9} a 10^{-6}
Silte; Silte arenoso	10^{-6} a 10^{-4}
Areia Argilosa	10^{-6} a 10^{-4}
Areia Siltosa; Areia Fina	10^{-5} a 10^{-3}
Areia bem selecionada	10^{-3} a 10^{-1}
Cascalho bem selecionado	10^{-2} a 1

4.2.2 Transmissividade (T)

A transmissividade corresponde à quantidade de água que o aquífero é capaz de liberar através de uma seção vertical unitária, igual à espessura do aquífero, quando o gradiente hidráulico é unitário (KRUSEMAN; RIDDER, 1970), e pode ser expressa conforme a seguinte fórmula:

$$T = K \times b$$

onde T equivale à Transmissividade, K equivale à Condutividade Hidráulica e b equivale à espessura saturada do aquífero.

As unidades de medida mais utilizadas para expressar valores de Transmissividade são o m^2/h e o m^2/dia . Tanto o cálculo da transmissividade quanto da condutividade hidráulica são mais apropriados para aquíferos porosos, sedimentares, intergranulares, como sedimentos inconsolidados, rochas sedimentares, aluviões, mantos de alteração e solos de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

4.2.3 Coeficiente de Armazenamento (s)

O coeficiente de armazenamento é a parcela de água liberada por um prisma vertical de base unitária e com a mesma espessura do aquífero, quando a altura piezométrica é reduzida a um comprimento unitário. O coeficiente de armazenamento é adimensional. Para a determinação deste parâmetro é imprescindível que os ensaios de bombeamento possuam poços de observação situados a distâncias conhecidas dos poços de bombeamento. Como não foi possível a utilização de poços de observação nos ensaios de bombeamento, este parâmetro não foi calculado.

4.2.4 Capacidade Específica (q)

É o quociente da vazão pelo rebaixamento do nível no poço em relação ao tempo de bombeamento. Atua como indicador do rendimento da formação aquífera. Em muitos casos, quando há o decréscimo da capacidade específica, isso pode sugerir a ocorrência de anomalias construtivas dos poços, tal como incrustações de filtros (DAVIS; WIEST, 1971).

4.3 Testes de Bombeamento Para Determinação de Parâmetros Hidrodinâmicos

Para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos é necessária a execução de testes de bombeamentos em poços tubulares. Estes ensaios são executados através do bombeamento da água em poços, simultaneamente ao acompanhamento da evolução dos rebaixamentos e recuperações dos níveis d'água nestes poços e em poços de observação, situados a uma distância conhecida dos poços bombeados, sempre em intervalos de tempo pré-determinados. A norma técnica da ABNT NBR 12.244/(1935)2006 recomenda 24 horas ininterruptas para a duração do teste. A partir do resultado dos testes de bombeamento, é feito o cálculo da transmissividade através de soluções analíticas e, conseqüentemente, da condutividade hidráulica. O cálculo da condutividade hidráulica só é possível de ser realizado quando se tem informações dos relatórios e/ou perfis dos poços, onde devem constar as descrições litológicas, entradas de água e espessuras dos aquíferos.

Os testes de bombeamento com a utilização de poços de observação constituem o método apropriado para calcular os parâmetros condutividade hidráulica (K), transmissividade (T) e coeficiente de armazenamento (s). Não existindo poços de observação para a realização dos testes, os valores dos parâmetros T e K podem ser obtidos utilizando-se apenas o poço bombeado, sendo estimativas limitadas a pequenas distâncias dentro do aquífero e não se levando em consideração as perdas de carga por fluxo não laminar existente nos poços de observação. Já o coeficiente de armazenamento não pode ser definido com ensaios de bombeamento em poços únicos, necessitando categoricamente de poços de observação.

Para a realização dos ensaios de bombeamento de 24 horas de duração, é imprescindível que os poços fiquem à disposição por pelo menos 36 horas, período no qual o poço não poderá ser utilizado para qualquer finalidade. Caso o poço já possua bomba submersa instalada, este intervalo de tempo poderá ser superior a 36 horas, pois haverá a necessidade de se retirar a bomba do poço, instalar a bomba de teste e os tubos para acesso aos medidores de níveis. E, após a realização do ensaio de bombeamento, a bomba de teste deverá ser retirada e a bomba de exploração do poço novamente instalada. Desta forma, não é fácil obter a concordância dos proprietários para que disponibilizem poços para a realização dos testes de vazão. Mais raro ainda é a existência de poços próximos passíveis de serem aproveitados como poços de observação, ou seja, que possuam condições para que sejam feitas as medições de níveis e que fiquem à disposição durante as 36 horas, tal qual o poço principal a ser bombeado.

No caso do estudo em questão, os testes foram executados em poços particulares gentilmente cedidos, mas não por períodos superiores a 12 horas, e não houve oportunidade de se medir níveis em poços de observação, pela inexistência dos mesmos.

4.3.1 Métodos de cálculos dos parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos

Inúmeros são os métodos analíticos desenvolvidos para os cálculos dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e interpretação dos ensaios de bombeamento. O pioneiro e principal método é o de Theis (1935). Este método foi desenvolvido para aquíferos confinados, sob as seguintes premissas:

- O aquífero é isotrópico e homogêneo e a água possui viscosidade e densidades constantes;
- O aquífero é confinado no topo e na base;
- O aquífero não sofre recarga;
- A água retirada do armazenamento é liberada instantaneamente e proporcionalmente ao rebaixamento potenciométrico;
- O poço é bombeado a uma vazão constante.

Além destas prerrogativas, os ensaios de bombeamento realizados para os cálculos hidrodinâmicos devem possuir um poço de bombeamento e um ou mais poços de observação, onde serão medidos os níveis de água dos rebaixamentos tanto nos poços bombeados quanto nos de observação. A partir do método de Theis (1935), inúmeros autores elaboraram outros métodos, sempre os adaptando às condições dos diferentes aquíferos, como aquíferos livres, semiconfinados, drenantes e confinados drenantes. Também foram desenvolvidos métodos para cálculos de parâmetros a partir de ensaios de bombeamento em poços únicos, quando não há a possibilidade de se utilizar poços de observação nos ensaios. Em função da inexistência de poços de observação nas cercanias dos locais onde foram realizados os ensaios de bombeamento e pela inexistência de registros no SIAGAS de ensaios de bombeamento com poços de observação, os ensaios realizados foram interpretados com métodos de cálculo para poço único. Neste caso, foi utilizado o método da recuperação de Theis e Jacob *apud* Kruseman e De Ridder (1970).

O software utilizado para a realização dos cálculos e análises gráficas dos ensaios de bombeamento foi o Aquifer Test, versão 10.0, desenvolvido pela empresa canadense Waterloo Hydrogeologic.

4.3.2 Análise de Recuperação

Após um poço ser submetido a um bombeamento por um determinado período (teste de bombeamento), interrompe-se o funcionamento da bomba e o seu nível d'água começa a subir, tendendo a voltar ao seu nível original (nível estático), medido antes de ser iniciado o bombeamento. A recuperação do nível d'água é considerada como rebaixamento residual em relação ao nível estático. Os incrementos de rebaixamentos residuais, durante um período de tempo de recuperação (t'), são utilizados para o cálculo da transmissividade através da solução analítica desenvolvida por Theis e Jacob *apud* Kruseman e

De Ridder (1970). A utilização deste parâmetro de recuperação é mais confiável do que a utilizada para calcular a transmissividade a partir do rebaixamento, quando o poço está sendo submetido ao bombeamento. Isto se deve ao fato de que na recuperação, a “injeção” (taxa de bombeamento) é constante e o poço não está sendo submetido às perdas de carga provenientes do bombeamento. O rebaixamento residual é a diferença do nível d’água em cada instante da recuperação, subtraída do nível estático medido antes do bombeamento (Figura 4.1).

Com base nesse método de cálculo, é possível determinar a transmissividade (T) do aquífero e, por conseguinte, sua condutividade hidráulica (K), quando a espessura for conhecida.

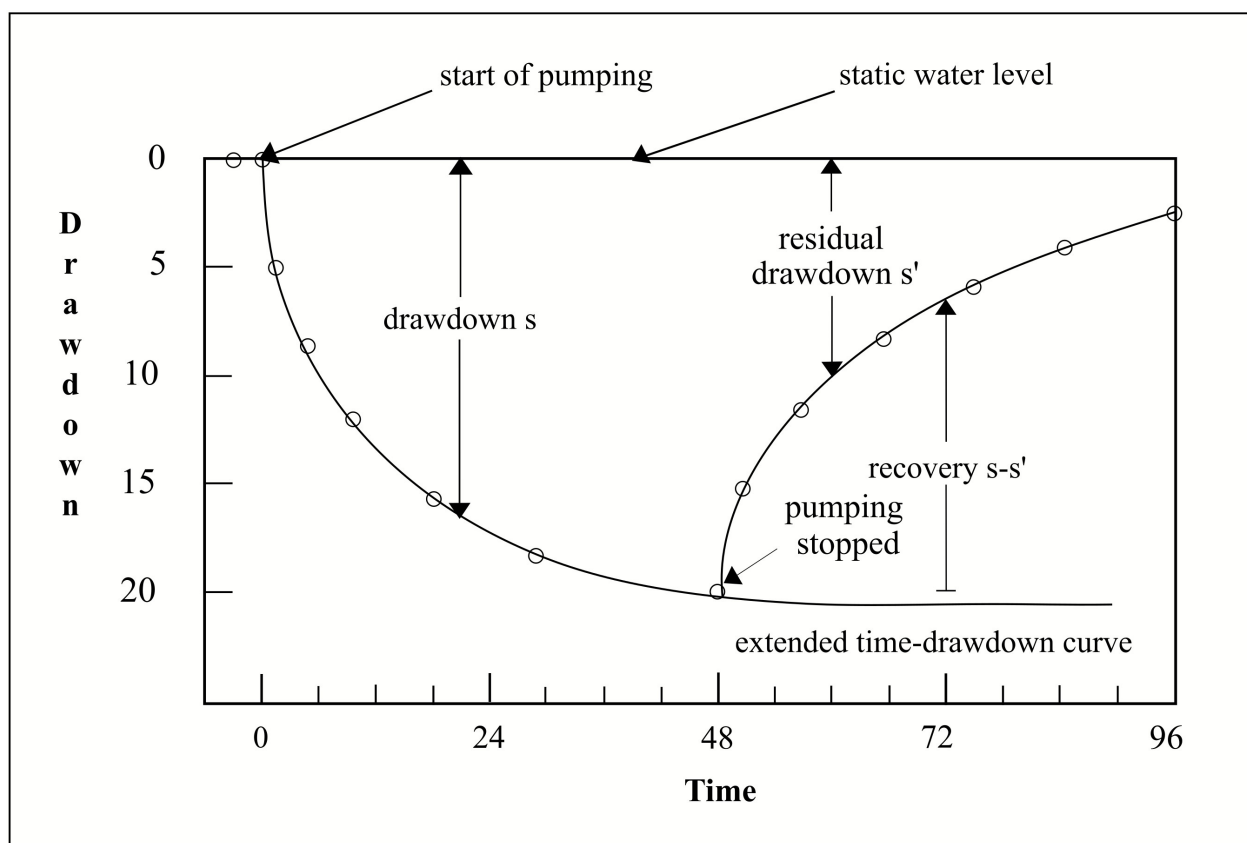


Figura 4.1 Rebaixamento Residual (residual drawdown) medido em cada instante da recuperação em relação ao nível estático original, após cessar o bombeamento do poço. A medida de recuperação é computada logo após a última medida de rebaixamento (drawdown) a que o poço foi submetido no ensaio. Extraído de Kruseman e de Ridder (1970).

Com a determinação das transmissividades e condutividades hidráulica dos aquíferos e das capacidades específicas dos poços, determinados através de cada ensaio de bombeamento, pode-se classificar os aquíferos em termos de produtividade, usando-se a classificação proposta por Diniz *et al.* (2012, 2014), adotada pelo SGB-CPRM e aplicada neste estudo. Conforme este sistema de classificação, são identificadas seis classes de aquíferos em termos de produtividade, conforme mostrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Sistema de classificação para a produtividade de aquíferos adotada pelo SGB-CPRM, elaborado por Diniz *et al.* (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995).

Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K (m/s)	Q (m ³ /h)	Produtividade de Aquífero	Classe de Produtividade
≥4,0	≥10 ⁻⁰²	>10 ⁻⁰⁴	≥100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0≤Q/s<4,0	10 ⁻⁰³ ≤T<10 ⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤K<10 ⁻⁰⁴	50≤Q<100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos	(2)
1,0≤Q/s<2,0	10 ⁻⁰⁴ ≤T<10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤K<10 ⁻⁰⁵	25≤Q<50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas	(3)
0,4≤Q/s<1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤T<10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤K<10 ⁻⁰⁶	10≤Q<25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04≤Q/s<0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤T<10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤K<10 ⁻⁰⁷	1≤Q<10	Geralmente baixa, porém localmente muito baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
<0,04	<10 ⁻⁰⁶	<10 ⁻⁰⁸	<1,0	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais.	(6)

Q/s = Capacidade Específica ou Vazão Específica; T = Transmissividade; K = Condutividade Hidráulica; Q = Vazão.

* Valores válidos para testes de bombeamento de pelo menos 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m.

4.3.3 Ensaios de Bombeamento realizados

Para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos de Joinville – SC, foram efetuados ensaios de bombeamentos em 5 poços cedidos (Figura 4.2) e utilizados os registros de outros 61 ensaios de bombeamento existentes na base de dados SIAGAS do SGB-CPRM, realizados pelas empre-

sas de perfuração na data de construção de cada poço, totalizando 66 poços. O resumo dos dados dos ensaios de bombeamento efetuados no município está na Tabela 4.2, e a localização em mapa de cada poço está na Figura 4.2. Além dos ensaios, também foram realizadas perfilagens ópticas (vídeo endoscópias), onde foi possível investigar as condições internas dos poços e reconstituir seus perfis construtivos. Todos os dados de cada ensaio efetuado podem ser consultados no Apêndice C – Planilha dos Ensaios de Bombeamento Realizados.

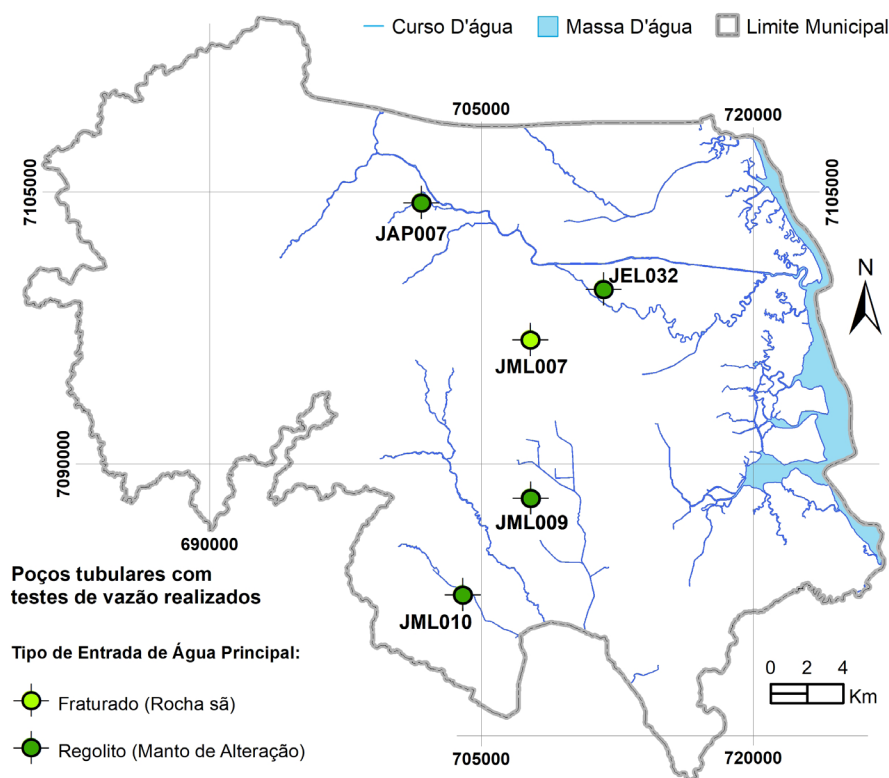


Figura 4.2 Localização dos ensaios de bombeamento realizados pelo SGB-CPRM para o estudo hidrogeológico.

Tabela 4.2 Resumo dos dados dos ensaios de bombeamento efetuados pelo SGB-CPRM em Joinville – SC.

Poço	Duração (minutos)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão média de teste (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Taxa de recuperação (%)	Capacidade específica (m ³ /h/m)
JAP007	360	3,47	9,49	5,4	6,02	64,00	0,90
JEL032	360	1,16	54,4	4,5	53,24	93,00	0,08
JML010	300	3,47	6,17	18,5	3,7	45,00	5,01
JML009	330	3,7	16,98	2,75	13,28	72,00	0,21
JML007	360	4,05	19,9	11,4	15,85	55,00	0,72

4.3.3.1 Poço JAP007

O poço JAP007 (Figura 4.3), de propriedade do Mercado Schroeder, localizado no bairro Pirabeiraba, região norte de Joinville, é utilizado para fins diversos, como abastecimento doméstico e irrigação. O poço capta água do aquífero granular relacionado às unidades hidroestratigráficas aluvionar e colúvio-aluvionar, ambas livres. Suas litologias são representadas por depósitos quaternários, solos e mantos de intemperismo. Na vídeoendoscopia realizada, as imagens estavam muito turvas, principalmente devido às altas concentrações de ferro existentes na água. Por isso, não foi possível verificar se o poço atinge ou adentra as rochas do embasamento cristalino da região.



Figura 4.3 Ensaio de bombeamento no poço JAP007.

O ensaio de bombeamento foi realizado no dia 16/01/2020 com duração de 6 horas de bombeamento e sua recuperação durou 100 minutos. O nível estático registrado foi de 3,47 m e o nível dinâmico aos 360 minutos atingiu 9,49 m. O rebaixamento foi de 6,02 m. A capacidade específica calculada foi de 0,90 m³/h/m, com transmissividade de $1,91 \times 10^{-4}$ m/s e condutividade hidráulica igual a $1,0 \times 10^{-5}$ m/s.

Observando-se o Gráfico 4.1, que exibe rebaixamento x tempo, nota-se que o rebaixamento não estabilizou com a vazão bombeada (5,4 m³/h). Entretanto, leva-se em consideração que neste rebaixamento estão somadas as perdas de carga do aquífero e do próprio poço, gerando este comportamento no rebaixamento. Já o Gráfico 4.2, recuperação x t/t' , as perdas de carga do poço estão diminuídas, em função da não existência de fluxo turbulento do aquífero para o poço, tendo em vista que nesta situação o poço não está sendo bombeado. Logo, a recuperação se dá especificamente pelo aporte de água do aquífero. Por este motivo, a interpretação do teste de bombeamento é mais confiável com o método de cálculo da recuperação de Theis e Jacob *apud* Kruseman and De Ridder (1970).

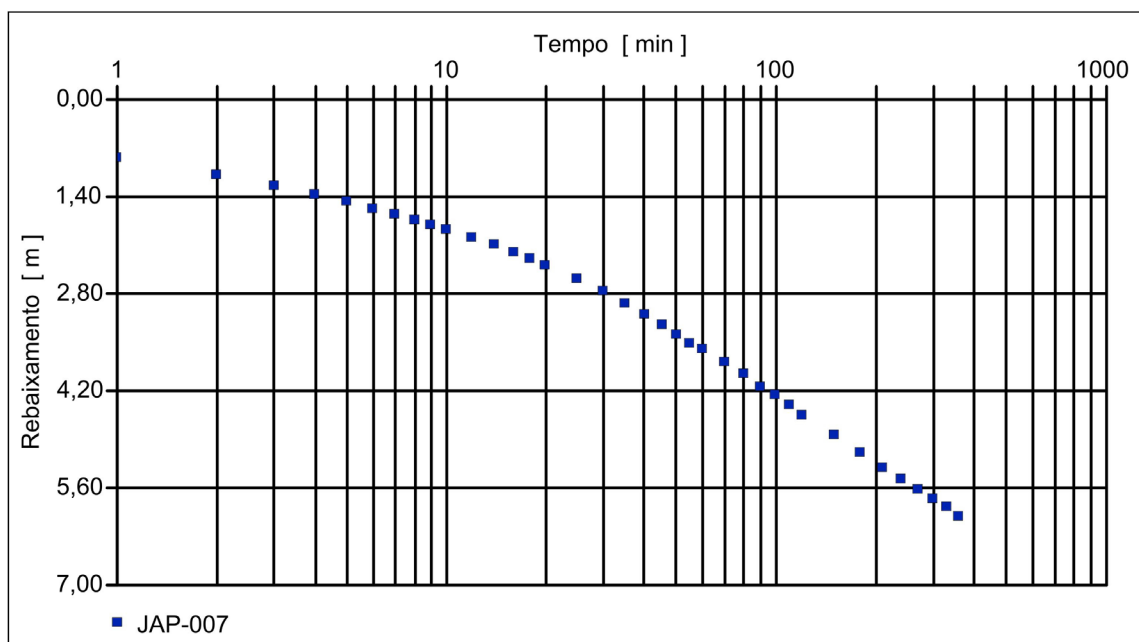


Gráfico 4.1 Curva de rebaixamento x tempo no poço JAP007.

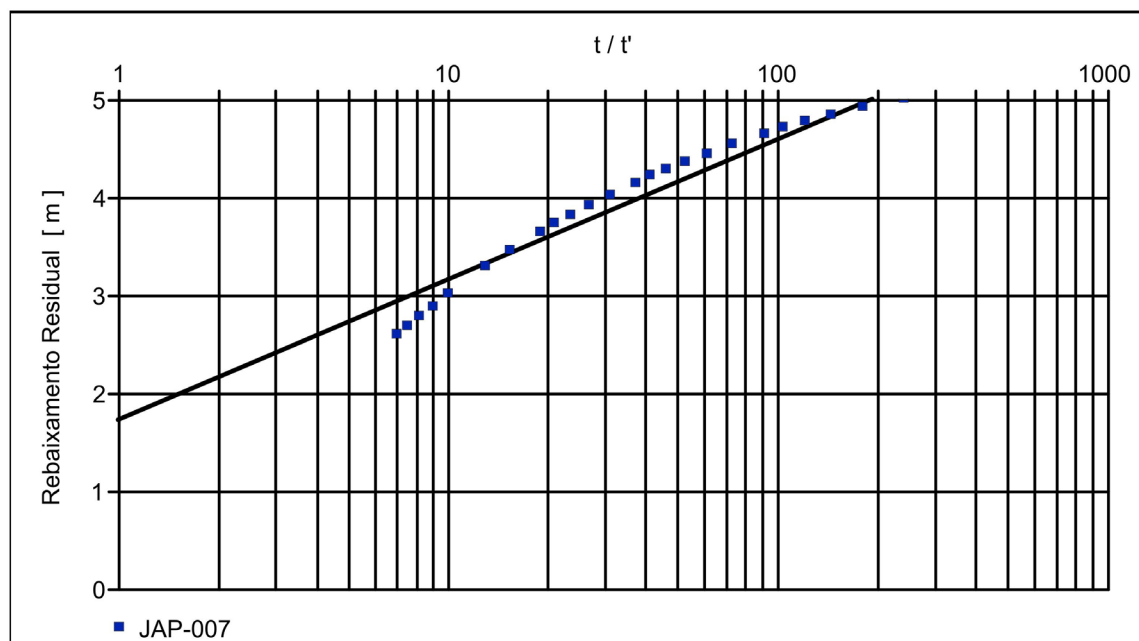


Gráfico 4.2 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JAP007, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.

4.3.3.2 Poço JEL032

O poço JEL032, situado no Haras Esser, não vem sendo utilizado pelo proprietário devido à má qualidade da água. Pelas informações obtidas pela perfilagem óptica (Figura 4.4), o poço possui 9,72 m de revestimento, sendo que dos 7 aos 9,72 m está instalada uma seção de filtros, levando ao diagnóstico

de que o aquífero explotado é o aluvionar livre, com eventual contribuição de fraturas do aquífero fraturado sotoposto em rochas gnáissicas do embasamento cristalino. Através da perfilagem óptica foi possível notar pequenas fraturas nas porções mais profundas do poço, embora sejam de pequeno porte (Figura 4.4 d). O aquífero freático é constituído por sedimentos inconsolidados e/ou solos e mantos de alteração das rochas granítico-gnáissicas sotopostas. Estas camadas possuem espessura em torno de 10 m, evidenciado pela profundidade de instalação dos tubos de revestimento no poço, conforme pode ser visualizado na Figura 4.4 (b).

No dia 21/01/2020, com a vazão de 4,8 m³/h (Figura 4.5) o poço foi bombeado por 6 horas e teve seu nível recuperado em 50 minutos. O nível estático registrado foi de 1,16 m e o nível dinâmico aos 360 minutos atingiu 54,40 m, portanto com um rebaixamento de 53,24 m. A capacidade específica calculada foi de 0,089 m³/h/m, com transmissividade de 7,14 x 10⁻⁶ m/s e condutividade hidráulica igual a 2,2 x 10⁻⁶ m/s.



a) Filtros



b) Contato revestimento x rocha



c) Gnaisse



d) Rocha fraturada

Figura 4.4 Imagens da perfilagem óptica no poço JEL032: a) Filtros para captar água do aquífero freático; b) Final do revestimento; c) Rocha gnáissica do embasamento cristalino; d) Fraturas de pequeno porte em rochas gnáissicas.



Figura 4.5 Ensaio de bombeamento realizado no poço JEL-032.

Pela análise dos dados obtidos com o teste de bombeamento, conclui-se que o aquífero captado pelo poço é classificado na sistemática de Diniz *et al.* (2012, 2014) como tendo uma produtividade baixa e localmente muito baixa, pertencente à classe 5. O Gráfico 4.3 mostra o rebaixamento dos níveis d'água ao longo do tempo de bombeamento, onde pode-se notar uma ligeira estabilização do nível nos primeiros minutos do bombeamento, mas um descenso acentuado logo a seguir. Mais para o final do ensaio ocorre outra estabilização do nível d'água, em profundidades maiores, possivelmente por uma contribuição de aporte de água do aquífero fraturado. Já no Gráfico 4.4, que mostra a recuperação do poço após o encerramento do bombeamento, nota-se uma subida acentuada do nível d'água, com estabilização mais próxima da superfície, evidenciando a maior contribuição de água do aquífero freático.

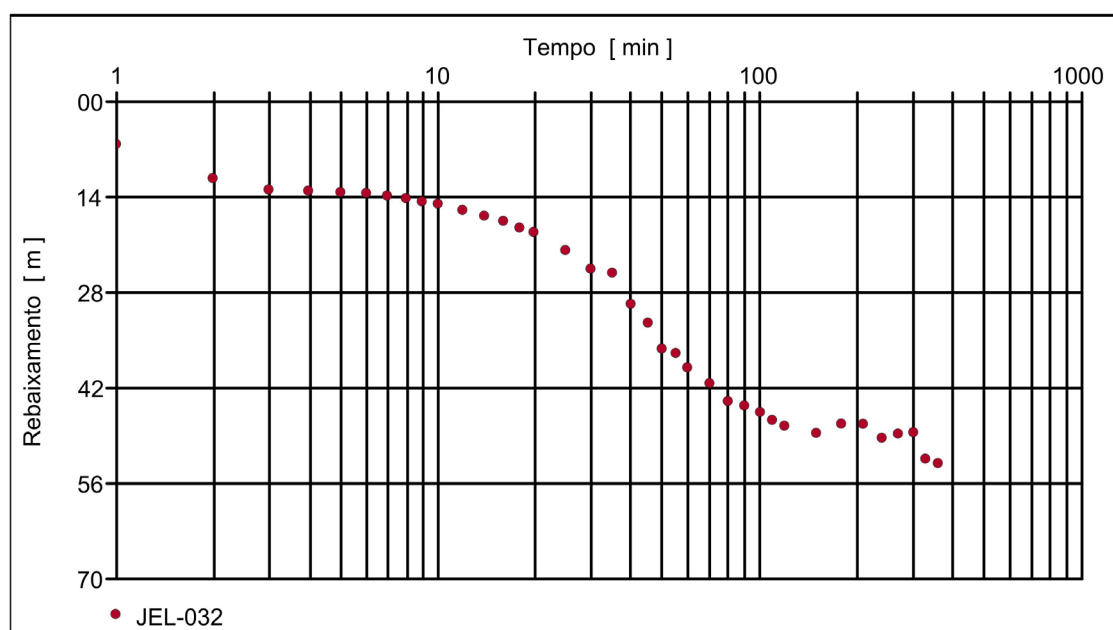


Gráfico 4.3 Rebaixamento x tempo do poço JEL-032.

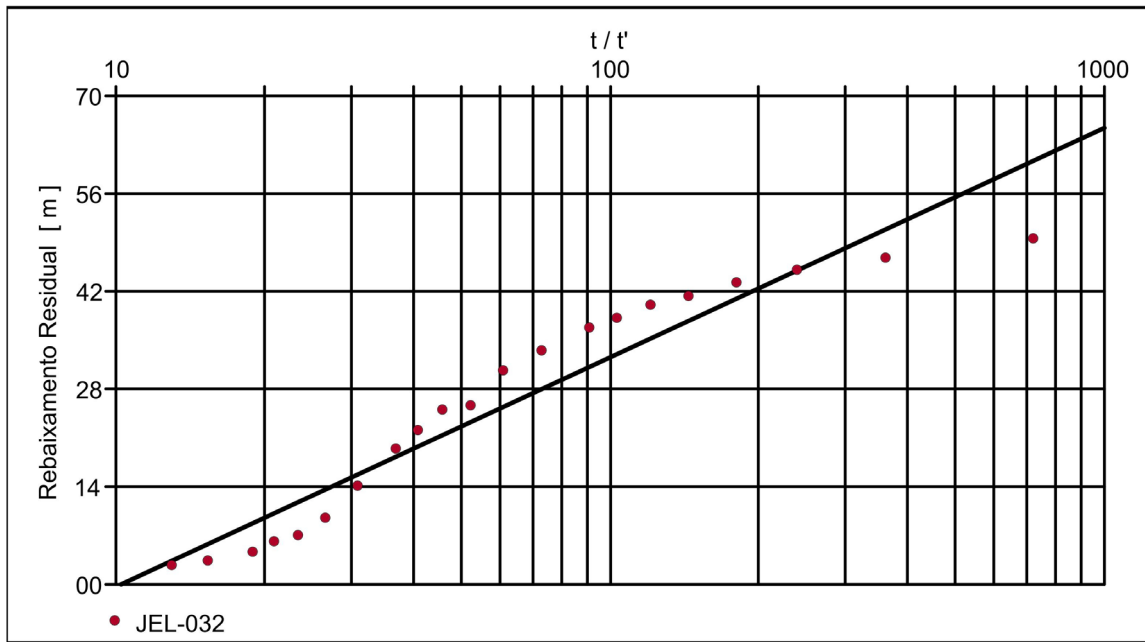


Gráfico 4.4 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JEL032, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.

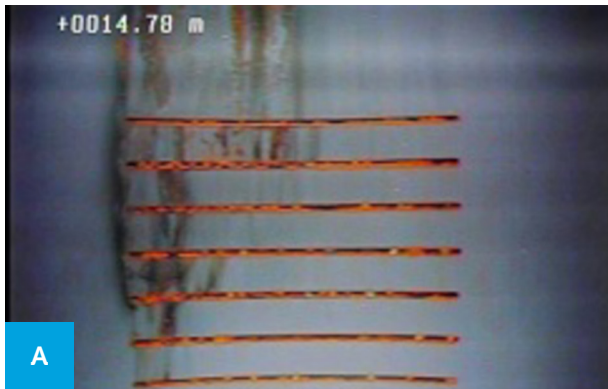
4.3.3.3 Poço JML010

O poço JML -010 está situado na SC-207 (Estrada do Arroz) no km 08, na indústria Sementes Maccopi, e não está sendo utilizado pelo proprietário por causa das altas concentrações de ferro presentes na água. Sua profundidade é de 71 m, com 21 m dentro de depósitos quaternários/solos/mantos de alteração de rochas granítico-gnáissicas, conforme visualizado pela perfilagem óptica (Figura 4.6). A existência de filtros nas porções revestidas indica que o aquífero freático, mais superficial, é captado. Fraturas presentes nas rochas também permitem inferir a contribuição do aquífero fraturado para o aporte de água no poço.

O ensaio de bombeamento foi realizado no dia 20/01/2020 (Figura 4.7) com duração de 5 horas e sua recuperação durou 18 minutos. O nível estático registrado foi de 2,47 m, o nível dinâmico aos 300 minutos atingiu 6,17 m, portanto com um rebaixamento de 3,70 m. A capacidade específica calculada foi de 5,0 m³/h/m, com transmissividade de 1,23 x10⁻² m/s e condutividade hidráulica igual a 1,0 x10⁻⁴ m/s.

A capacidade específica de 5m³/h/m indica que o aquífero possui uma produtividade na ordem da classe 1 – produtividade muito alta. Já a transmissividade (m/s) sugere uma produtividade ligeiramente menor, na ordem da classe 2, como um aquífero de produtividade alta. Provavelmente isto se deve às características hidrogeológicas, geológicas (como as propriedades físicas e mineralógicas dos grãos que formam os sedimentos que compõe o aquífero granular) e geomorfológicas (como o relevo plano) do local.

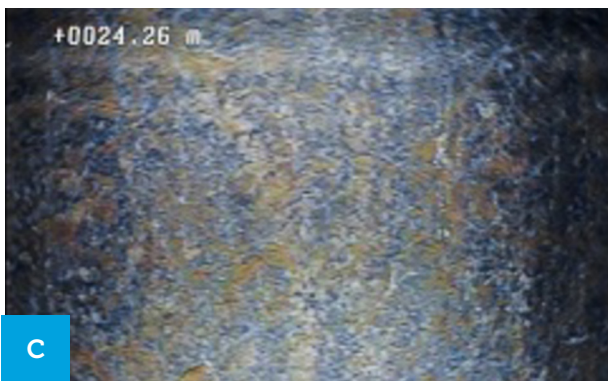
O Gráfico 4.5 demonstra o rebaixamento linear do poço ao longo do tempo de bombeamento, demonstra, também, que o rebaixamento foi de apenas 3,9 m, considerado pequeno para uma vazão de bombeamento de 18 m³/h, evidenciado pela alta capacidade específica (5m³/h/m). Da mesma forma, o Gráfico 4.6 apresenta uma recuperação bem rápida do nível d'água, mostrando a alta capacidade produtiva do aquífero.



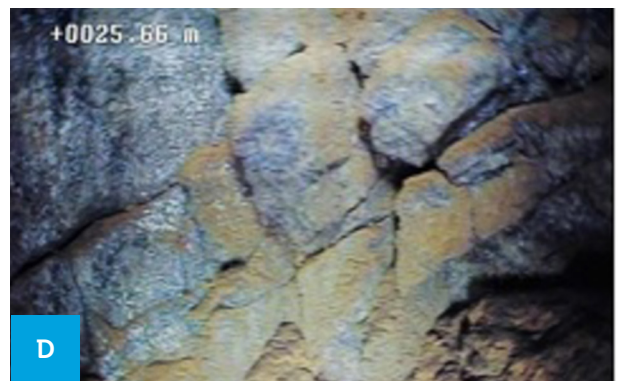
a) Seção filtrante



b) Contato revestimento x rocha



c) Rocha gnáíssica



d) Gnaisse fraturado

Figura 4.6 Imagens internas do poço JML010 obtidas através da perfilagem óptica: a) Seção filtrante com material preenchendo as ranhuras dos filtros; b) Final do revestimento com fragmentos de rocha na junção com a rocha; c) Rocha granítica maciça; d) Rocha granítica intensamente fraturada.



Figura 4.7 Ensaio de bombeamento do poço JML010.

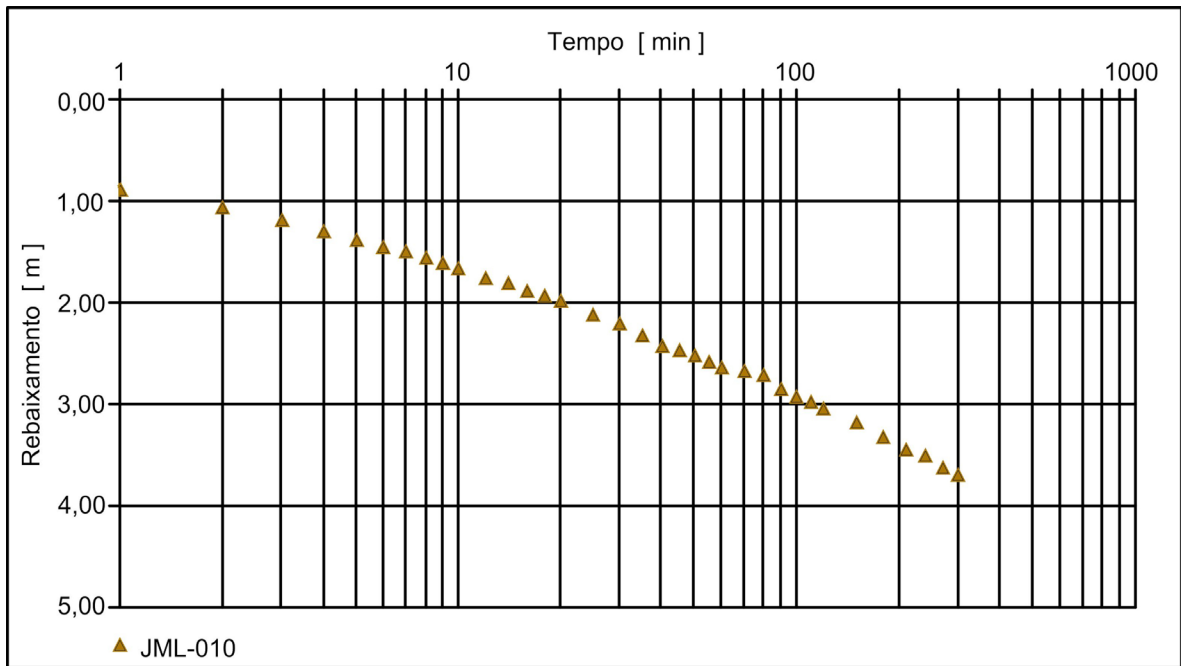


Gráfico 4.5 Rebaixamento x tempo do poço JML010.

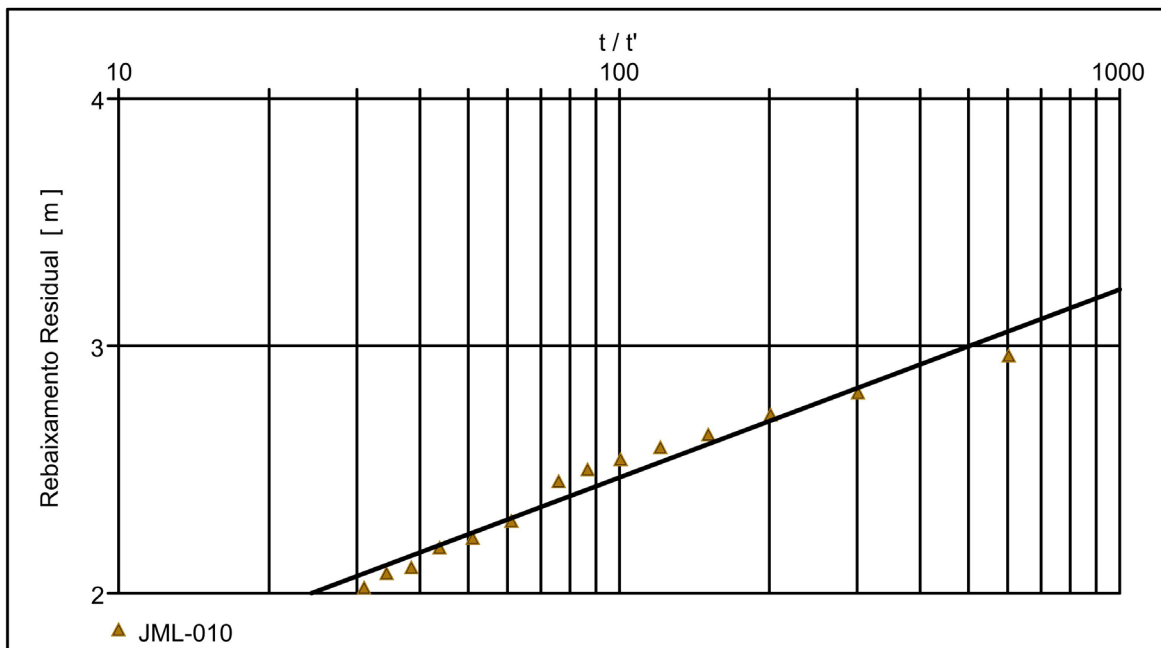
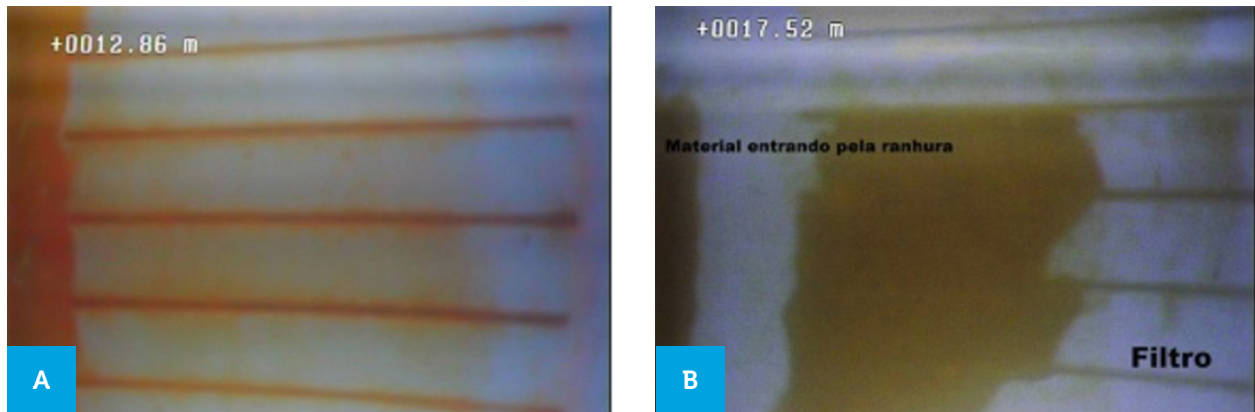


Gráfico 4.6 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JML010, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.

4.3.3.4 Poço JML009

O poço JML-009 está situado na sede de treinamentos do Esporte Clube Joinville (JEC), no bairro Vila Nova. Pelo resultado das imagens da perfilagem óptica (Figura 4.8), constatou-se que é um poço totalmente revestido, captando, desta forma, o aquífero granular livre presente na região. O revestimento é de PVC de 4” e a espessura desta unidade neste local é estimada em no mínimo 37 m. Apresenta água muito turva,

com coloração amarelada pela alta concentração de ferro existente. O ensaio realizado em 29/01/2021 teve a duração de 330 minutos de bombeamento e 40 minutos de recuperação. O nível estático era de 3,70 m e o dinâmico atingiu 16,98 m, com uma vazão de 3,78 m³/h. A capacidade específica do poço de 0,22 m³/h/m e a transmissividade de 5,7 X 10⁻⁵ m²/s situam o aquífero na faixa de produtividade geralmente baixa a localmente moderada, correspondente à classe 4, conforme Diniz *et al.* (2012, 2014). Ressalta-se que as más condições construtivas do poço podem fazer com que estes dados, calculados a partir do ensaio de bombeamento (Figura 4.9), sejam adotados com ressalvas, pois as perdas de carga provenientes da construção do poço podem ser elevadas, promovendo rebaixamentos mais acentuados com vazões baixas. Além disso, o fato de o poço possuir um diâmetro de 4” pode tornar a perda de carga ainda maior.



a) Filtros

b) Filtros com mat. suspensão

Figura 4.8 Imagens internas do poço feitas pela perfilagem óptica: a) Filtros; b) Filtros colmatados e com material em suspensão.



Figura 4.9 Ensaio de bombeamento do poço JML009.

O Gráfico 4.7 apresenta o rebaixamento do nível d'água ao longo do tempo de bombeamento, nota-se que este acontece em patamares, mesmo que constantes durante todo o ensaio. Estes patamares podem estar relacionados às imperfeições do poço quando submetidos ao bombeamento, tendo em vista que muito material em suspensão entrou no poço durante o teste. Como as vazões foram constantes durante o teste, perdas de carga acumuladas podem gerar oscilações do nível durante o bombeamento. Já o Gráfico 4.8 apresenta uma subida mais uniforme do nível d'água após o encerramento do bombeamento. Sem perdas de carga em função desse, o comportamento natural do nível d'água é mais uniforme. A análise deste gráfico demonstra que o aquífero pode ser mais produtivo em termos quantitativos do que o estabelecido pelo resultado do cálculo dos parâmetros. Poços mais bem construídos e com diâmetros maiores podem corroborar esta hipótese.

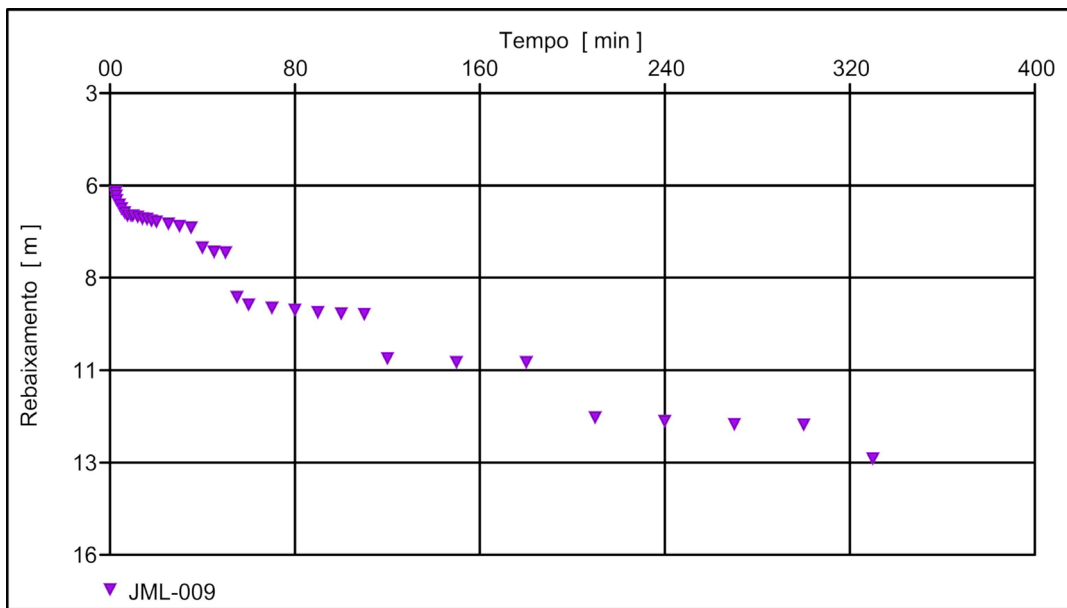


Gráfico 4.7 Rebaixamento x tempo do poço JML009.

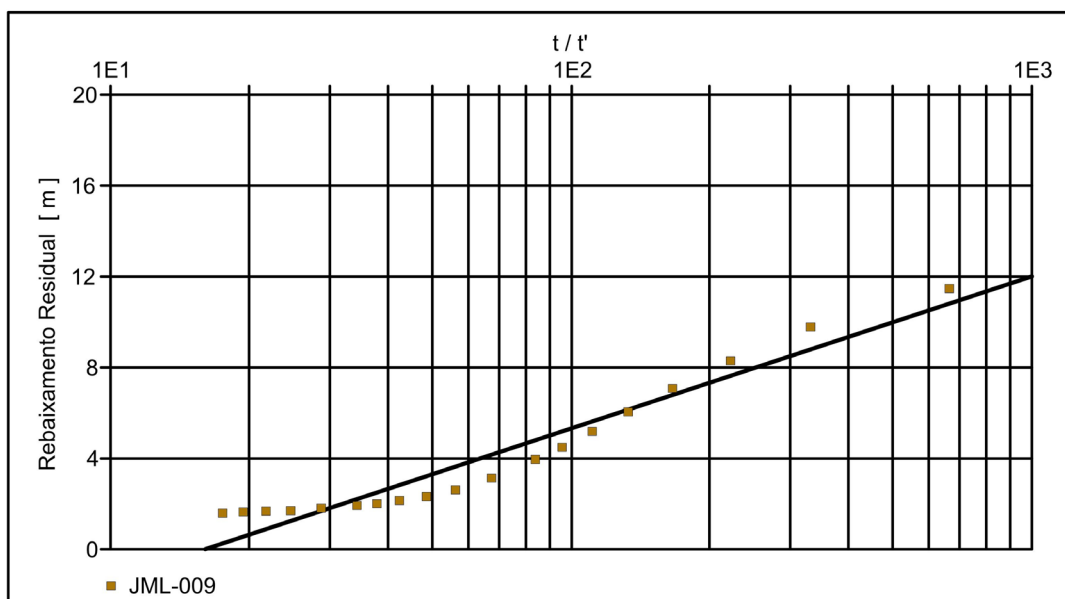


Gráfico 4.8 Curva de recuperação x tempo após a interrupção do bombeamento no poço JML009, com ajuste dos pontos feito pelo método da recuperação de Theis.

4.3.3.5 Poço JML007

O poço JML-007 (Figura 4.10) localiza-se na fábrica de tubos de concreto do bairro Pirabeiraba, pertencente à Prefeitura Municipal de Joinville. A água do poço é utilizada em toda a unidade industrial para o processo de fabricação dos tubos e para o abastecimento, visando os demais usos dos funcionários da fábrica. Possui 6” de diâmetro, revestido parcialmente com tubos galvanizados. As características construtivas principais foram determinadas através de perfilagem óptica (Figura 4.11).

Este poço capta água exclusivamente do aquífero fraturado, em fraturas que interceptam as rochas granítico-gnáissicas do embasamento cristalino. O ensaio realizado em 25/01/2020 teve uma duração de 300 minutos no bombeamento e de 100 minutos na recuperação. A vazão final foi de 19,20 m³/h com um rebaixamento de 15,85 m. Os níveis estático e dinâmico foram respectivamente 4,05 e 19,90 m. De acordo com a capacidade específica (0,717 m³/h/m) e transmissividade calculada (1,4 x 10⁻³ m²/s), o aquífero é considerado como de classe 4, com produtividade geralmente baixa a moderada localmente, típico de bons aquíferos fraturados de rochas granítico-gnáissicas.

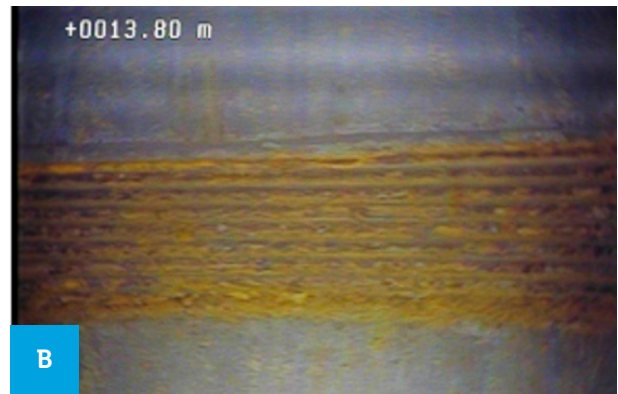
O Gráfico 4.9 mostra dois comportamentos de rebaixamentos dos níveis de água no poço durante o bombeamento. O primeiro ocorre até o tempo de aproximadamente 60 minutos do início do teste, com descenso uniforme tendendo a estabilizar, e o segundo rebaixamento ocorre de forma mais abrupta, tendendo a uma leve estabilização no final. Estes rebaixamentos distintos ocorrem em função dos incrementos na vazão do ensaio após o período inicial de 60 minutos. Já o Gráfico 4.10 apresenta uma reta de recuperação bastante uniforme, indicando que as fraturas estão permitindo uma boa circulação de água no aquífero.



Figura 4.10 Teste de vazão executado no poço JML007.



a) Rocha fraturada



b) Rosca do tubo galvanizado



c) Contato revestimento x rocha



d) Fraturas na rocha gnáíssica

Figura 4.11 Imagens internas do poço JML-007: a) Fratura aberta na rocha; b) Rosca oxidada do revestimento galvanizado; c) Final do revestimento aos 53,82 metros; d) Fratura aberta na rocha cristalina.

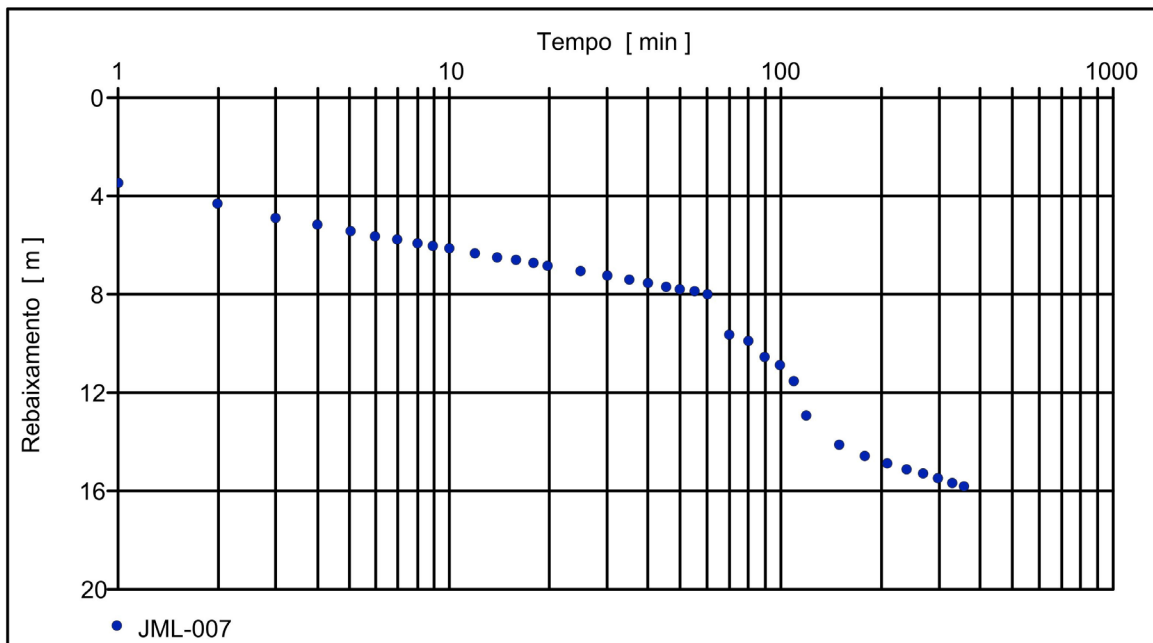


Gráfico 4.9 Rebaixamento x tempo do poço JML007.

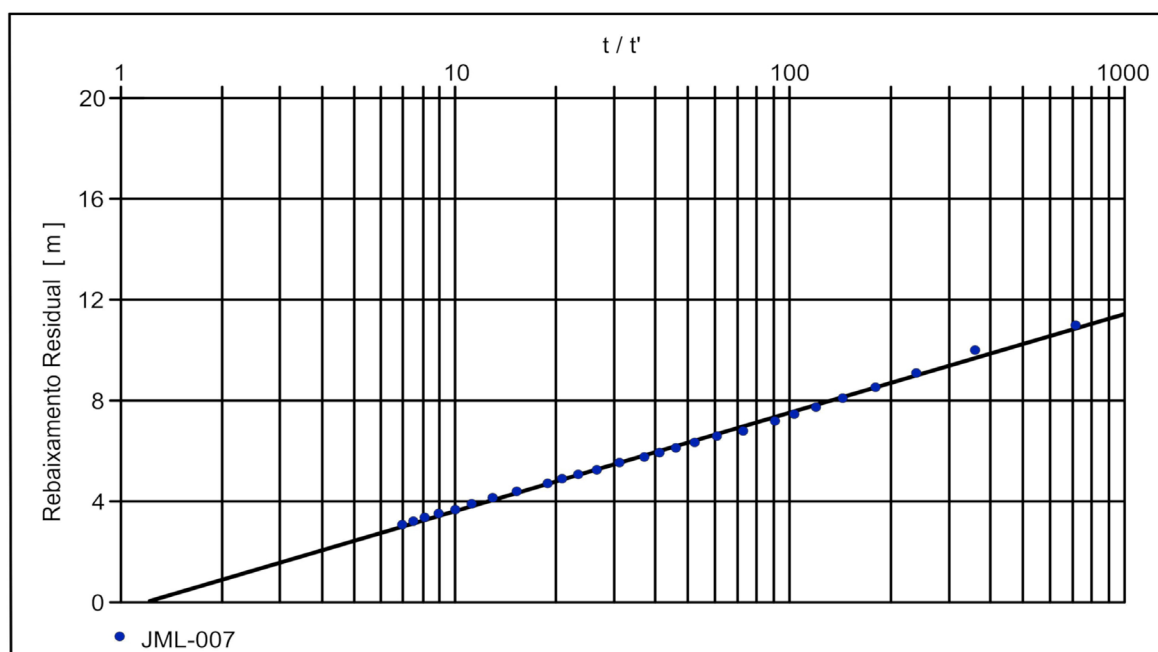


Gráfico 4.10 Recuperação pelo tempo após cessar o bombeamento do poço JML007.

4.3.4 Ensaios de Bombeamento Compilados

Visando auxiliar no processo de mapeamento da potencialidade produtiva dos aquíferos na área de estudo, além dos cinco ensaios realizados, também foram compilados ensaios de bombeamento existentes e disponíveis no banco de dados SIAGAS do SGB-CPRM. Os critérios de escolha dos referidos ensaios foram:

- Existência de ensaios de bombeamento fidedignos, com tempo de duração de pelo menos 12 horas;
- Poços que possuem perfil geológico e construtivo;
- Representatividade dos poços dentro das unidades hidroestratigráficas cartografadas.

A partir da consulta realizada, 55 poços com testes de bombeamento atendendo estas condições pré-estabelecidas (Figura 4.12) foram selecionados, cujos resultados foram consistidos e calculados da mesma forma que os ensaios realizados descritos anteriormente. O resumo dos dados hidrodinâmicos compilados estão listados na Tabela 4.3.

Um perfil completo de poço cadastrado no SIAGAS (Figura 4.13) permite extrair informações do ensaio de bombeamento e dos aspectos construtivos do poço (revestimentos, filtros, diâmetros de perfuração, profundidade) e das unidades geológicas atravessadas. Com base nestas informações é possível determinar a espessura dos aquíferos porosos sobrepostos às rochas do embasamento cristalino e se a perfuração dos poços atingiu estas formações rochosas, representativas dos aquíferos fraturados do município.

Conforme exposto no Capítulo 3, foram identificados dois domínios hidrogeológicos existentes no município de Joinville – SC de acordo com características geológicas e hidrogeológicas: o domínio granular e o domínio fraturado. Tais domínios regem os tipos de captação e controlam também os aspectos construtivos dos poços tubulares.

A classificação de produtividade do aquífero granular em Joinville – SC, conforme o sistema classificatório de Diniz *et al.* (2012, 2014), considera somente os parâmetros hidrodinâmicos destes ensaios de bombeamento, variando desde a classe 6, pouco produtiva ou não aquífera, até a classe 3, de produtividade moderada, pois as transmissividades predominam na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} e condutividade hidráulica varia entre 10^{-7} e 10^{-5} . Excepcionalmente, considerando os parâmetros hidrodinâmicos analisados, este aquífero poderia atingir no máximo a classe 2 e ser classificado como tendo produtividade alta. Como o mapeamento hidrogeológico leva em consideração outros aspectos além dos valores numéricos em si, as unidades hidroestratigráficas resultantes no Apêndice A – Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000, variam apenas entre a classe 6, a mais baixa e menos produtiva, e a classe 4, a mais alta e mais produtiva (Quadro 4.2). Não houve relevância suficiente de valores hidrodinâmicos que justificassem atribuir produtividades superiores à classe 4 para as unidades hidroestratigráficas.

A forma de captação predominantemente nos aquíferos granulares é através de poços tubulares de pequenos diâmetros (diâmetros menores que 4”), especificamente poços popularmente conhecidos como ponteiras (diâmetros menores que 2”), perfurados com pequenas profundidades e que podem atender as demandas dos proprietários, desde que não haja a necessidade de grandes consumos de água. Suprimentos da ordem de 20 m³/dia podem ser considerados como possíveis neste aquífero, desde que sejam obedecidas as condições mínimas de construção adequada desses tipos de poços.

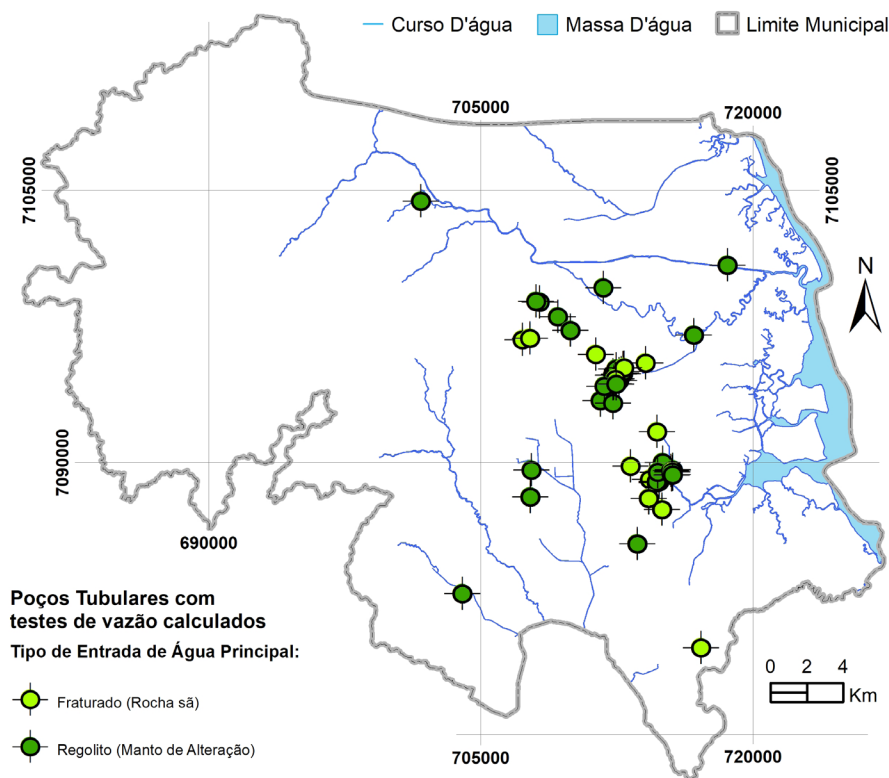


Figura 4.12 Localização dos poços nos quais os ensaios de bombeamento foram compilados, separados pelo tipo de aquífero do qual ocorre a principal entrada de água no poço.

Tabela 4.3 Parâmetros hidrodinâmicos calculados com os dados de teste de bombeamento compilados.

nº SIAGAS	Sigla do poço	T (m ² /s)	K (m/s)	Espessura do regolito/sedimento (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
4326732	JAP-057	2,92E-04	7,03E-06	41,30	13,09	1,44
4326490	JAP-058	1,81E-05	6,03E-06	3,00	5,20	0,04
4319523	JAP-061	8,75E-06	3,81E-07	23,00	6,70	0,06
4319204	JB-467	1,11E-05	6,97E-07	16,00	2,16	0,06
4318717	JB-487	4,64E-05	7,72E-05	6,00	6,60	0,24
4319216	JB-488	3,89E-06	1,10E-07	35,45	1,50	0,02
4318398	JB-518	4,28E-05	1,19E-05	3,00	16,00	0,25
4318407	JB-527	1,44E-05	4,28E-06	3,00	5,60	0,04
4318455	JB-530	1,14E-04	1,91E-05	6,00	12,00	0,37
4318458	JB-533	6,17E-06	2,13E-06	3,00	7,85	0,02
4327337	JEB-026	4,25E-05	1,41E-05	3,00	12,60	0,17
4327338	JEB-027	2,56E-05	4,44E-07	57,55	14,30	0,28
4319203	JEB-030	4,19E-05	1,05E-06	40,05	3,36	0,21
4319202	JEB-031	5,36E-06	6,94E-07	5,00	6,40	0,05
4318405	JEB-040	5,67E-05	1,89E-05	3,00	10,70	0,28
4319361	JGB-001	2,25E-05	6,08E-07	37,00	3,72	0,14
4319363	JGB-002	2,43E-05	1,22E-05	2,00	5,40	0,13
4327335	JGB-006	9,86E-06	8,19E-07	12,00	3,60	0,02
4318506	JGB-008	3,06E-05	9,56E-07	32,00	8,20	0,28
4319369	JGB-013	7,47E-06	1,87E-07	40,00	5,00	0,05
4319367	JGB-014	1,12E-05	1,32E-06	7,00	4,70	0,11
4319372	JGB-016	2,38E-05	1,16E-06	20,40	10,00	0,11
4319376	JGB-018	2,43E-05	6,94E-07	35,00	10,50	0,17
4319377	JGB-019	2,73E-05	1,36E-06	20,00	8,50	0,22
4319368	JGB-021	5,89E-05	1,18E-06	50,00	10,70	0,33
4319365	JGB-022	1,02E-04	3,17E-06	32,20	6,00	0,26
4318738	JGB-040	1,38E-05	6,78E-06	2,00	10,00	0,07
4318198	JIP-013	2,16E-05	3,58E-07	60,50	5,80	0,16
4319521	JIP-031	1,20E-05	3,08E-06	3,00	7,60	0,04
4326736	JIP-033	6,89E-05	2,24E-06	28,00	5,70	0,49

continua...

...continuação

nº SIAGAS	Sigla do poço	T (m ² /s)	K (m/s)	Espessura do regolito/sedimento (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica (m ³ /h/m)
4327226	JIP-034	3,36E-04	1,35E-05	30,00	14,40	2,71
4326737	JIP-035	3,25E-05	2,81E-06	12,34	2,70	0,18
4327227	JIP-036	9,50E-06	2,63E-06	3,00	3,70	0,11
4327229	JIP-037	4,28E-05	1,22E-06	34,60	2,95	0,29
4327228	JIP-038	8,69E-05	2,25E-06	40,50	6,00	0,84
4318402	JIP-042	1,46E-05	1,40E-06	30,00	5,40	0,12
4327330	JIP-052	1,10E-05	1,76E-06	4,00	3,14	0,04
4319207	JIP-054	1,43E-05	2,03E-07	45,00	6,00	0,23
4327251	JMB-019	2,02E-05	6,61E-06	3,00	7,10	0,13
4318204	JML-011	2,50E-04	1,90E-05	6,00	15,30	0,86
4327849	JML-012	8,42E-05	3,83E-06	21,98	12,00	0,69
4318205	JML-013	1,93E-04	1,61E-05	12,00	22,20	1,21
4320056	JP-305	5,39E-07	5,39E-08	10,00	10,00	3,30
4319526	JP-313	2,56E-04	6,42E-06	40,00	22,10	1,03
4319527	JP-314	2,39E-05	5,89E-06	4,00	4,30	0,21
4319528	JP-315	1,16E-03	1,45E-04	8,00	12,60	3,80
4319525	JP-318	6,17E-06	1,99E-07	31,00	5,30	0,07
4319585	JP-338	8,64E-06	1,44E-06	6,00	5,30	0,08
4319593	JP-346	6,50E-06	1,09E-06	6,00	13,46	0,10
4319594	JP-347	1,42E-05	1,42E-06	10,00	9,30	0,24
4319648	JP-348	1,56E-05	4,33E-07	36,00	13,61	0,18
4319649	JP-349	8,28E-06	4,14E-06	2,00	9,90	0,09
4319366	JP-405	8,06E-06	2,69E-07	30,00	3,90	0,07
4319370	JP-410	8,42E-05	2,55E-06	33,00	10,20	0,48
4319378	JP-413	9,86E-06	3,28E-06	3,00	5,70	0,29
4319379	JP-414	5,64E-06	1,76E-07	32,10	4,10	0,07
4319381	JP-416	6,89E-06	2,94E-07	23,35	5,01	0,13
4319374	JP-419	3,06E-05	2,06E-06	15,00	5,65	0,22
4325177	POÇO 17	1,58E-05	3,08E-07	50,00	9,90	0,15

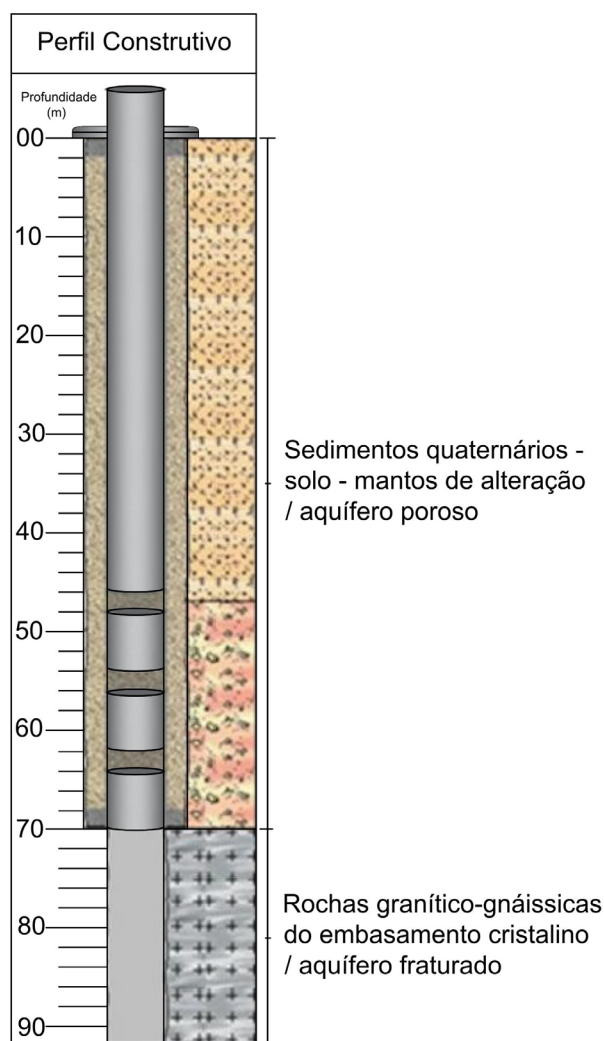



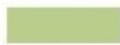




Figura 4.13 Perfil geológico e construtivo com informações necessárias para a avaliação hidrogeológica e cálculo dos parâmetros dos aquíferos.

Classe	Granulares	Faturadas	Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K (m/s)	Vazão (m ³ /h)
(4)			0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ ≤ K < 10 ⁻⁶	10 ≤ Q < 25
(5)			0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁶ ≤ T < 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ ≤ K < 10 ⁻⁷	1 ≤ Q < 10
(6)			< 0,04	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁸	< 1

Quadro 4.2 Representação das classes de produtividade de aquífero adotadas para o mapeamento hidrogeológico de Joinville – SC, conforme o sistema de classificação elaborado por Diniz et al. (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995), e adotado pelo SGB-CPRM. *Valores válidos para testes de bombeamento de pelo menos 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m.

O aquífero fraturado, associado às zonas de fraturas das rochas granítico-gnáissicas do embasamento cristalino na região, é classificado como desde não aquífero até aquífero com produtividade baixa a muito baixa, assim variando entre a classe 6 e a classe 5, com transmissividades na ordem de 10^{-6} e 10^{-5} e condutividades hidráulicas variando entre 10^{-6} e 10^{-7} . Entretanto, a predominância é de que se comporta como pouco produtivo ou não aquífero, situando-se na classe 6. Aproximadamente 30% dos poços cadastrados no SIAGAS que possuem perfis geológicos identificando este aquífero realizam a captação de água exclusivamente desse aquífero, não utilizando outro aquífero sobreposto. Seu comportamento é de semiconfinado a livre, dependendo da profundidade das fraturas e sua interconexão com a superfície. São comuns as tentativas sem sucesso da perfuração de poços tubulares neste aquífero, resultando em vazões nulas. Ao contrário do aquífero poroso, onde poços do tipo ponteira podem ser utilizados, neste somente poços tubulares podem ser perfurados, em função do tipo de equipamento apropriado (necessita ser de grande porte) e pelas profundidades maiores a serem atingidas. Normalmente as águas captadas exclusivamente deste aquífero possui qualidade superior àquelas captadas dos aquíferos porosos, em função do condicionamento geológico destes aquíferos.

A maioria dos poços tubulares considerados, cadastrados no SIAGAS, capta água de dois aquíferos simultaneamente: do fraturado sotoposto e de um granular sobreposto, configurando as captações como mistas. Normalmente estas captações ocorrem quando há insucesso nas perfurações que têm por objetivo captar exclusivamente o aquífero fraturado, principalmente pelas baixas vazões que ele proporciona em muitos casos. Desta forma, são instalados revestimentos com seções de filtros no aquífero superior, poroso, para aumentar a vazão do poço. A cobertura formada pelos aquíferos granulares amplia a produtividade dos aquíferos fraturados, como pode ser observado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Estatística dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços com captação mista e exclusiva o do aquífero fraturado.

Aquífero captado	Estatísticas	T (m^2/s)	K (m/s)	Espessura do manto de alteração/cobertura (m)	Q (m^3/h)	q ($m^3/h/m$)
Fraturado + cobertura	Mínimo	$5,39 \times 10^{-7}$	$5,40 \times 10^{-8}$	2,0	1,50	0,02
	Máximo	$2,01 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-4}$	60,5	22,20	5,03
	Média	$1,49 \times 10^{-4}$	$1,30 \times 10^{-5}$	19,69	8,78	0,63
Fraturado	Mínimo	$3,47 \times 10^{-6}$	$6,94 \times 10^{-7}$	2,0	3,14	0,05
	Máximo	$1,54 \times 10^{-4}$	$5,14 \times 10^{-5}$	30,0	16,0	0,72
	Média	$1,89 \times 10^{-5}$	$8,53 \times 10^{-6}$	5,17	7,60	0,18

4.4 Conclusões

Foram interpretados 66 ensaios de bombeamento em poços do município de Joinville – SC para a avaliação dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos, utilizados para o suprimento de água subterrânea no município, a fim de caracterizar suas produtividades. Destes ensaios, cinco foram executados *in loco* pela equipe do SGB/CPRM em poços cedidos. Os demais poços interpretados estão inseridos na base do SIAGAS do SGB/CPRM e foram selecionados em função de possuírem critérios técnicos mínimos para a análise, como ter perfis geológico, perfis construtivos, coordenadas geográficas, entradas de água das captações, ensaios de bombeamento com duração mínima de 12 horas de bombeamento e medidas de recuperação dos níveis d'água.

A classificação utilizada para a determinação da potencialidade destes aquíferos foi a de Diniz *et al.* (2012, 2014). Conforme esta classificação, baseada nos parâmetros transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K), determinadas nas interpretações de cada poço tubular, pode-se considerar que o aquífero poroso é classificado como desde pouco produtivo ou não aquífero até moderado, com transmissividades predominando na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} m²/s e condutividade hidráulica variando entre 10^{-7} e 10^{-5} m/s. Em algumas situações localizadas, este aquífero pode apresentar produtividades mais altas, dependendo das condições geológicas e geomorfológicas, como por exemplo em regiões com sedimentos mais arenosos, mais espessos, mais planos. A utilização mais frequente deste aquífero se dá através de poços do tipo ponteira, de pequeno diâmetro, com extrações de água com pequenas vazões (0,5m³/h a 1m³/h, em média). Já o aquífero fraturado é classificado como desde pouco produtivo ou não aquífero até baixa produtividade, com transmissividades na ordem de 10^{-6} e 10^{-5} m²/s e condutividades hidráulicas variando entre 10^{-6} e 10^{-7} m/s. Entretanto, a predominância de classificação é de que ele se comporta como pouco produtivo ou não aquífero. Por limitarem-se às zonas fraturadas de rochas granítico-gnáissicas, o aproveitamento deste aquífero no município é bem limitado, por não ser produtor de vazões satisfatórias e os custos de perfuração serem mais altos. Os valores relevantes obtidos permitiram enquadrar os aquíferos predominantemente entre a classe 6 e a classe 4 de Diniz *et al.* (2012, 2014).

As captações de água dos diferentes aquíferos através dos poços se dá tanto exclusivamente em cada um deles, quanto com captações simultâneas entre o aquífero poroso e o fraturado. A maior quantidade dos poços que captam água em Joinville – SC são, exclusivamente, captações únicas de aquíferos porosos, seguida pelas captações simultâneas de porosos e fraturados (de caráter misto) e em menor quantidade as captações únicas de aquíferos fraturados.

Como recomendações para estudos futuros, destaca-se a necessidade da continuidade dos estudos e análises principalmente dos aquíferos porosos, mais promissores, através de novos ensaios de bombeamento, preferencialmente com a utilização, além dos poços de bombeamento, de poços de observação, a fim de serem feitas análises mais realistas dos seus parâmetros hidráulicos. A realização de *slug tests* (inserção ou extração de um volume de água ou de um sólido em um poço, causando brusca mudança do nível d'água) no aquífero poroso pode gerar inúmeras informações dos parâmetros hidráulicos em diferentes áreas do município, embora sejam testes realizados a pequenas profundidades. Também seria muito pertinente a instalação de poços de monitoramento dedicados no aquífero poroso, a fim de acompanhar o comportamento das variações de nível de água ao longo do tempo.

5. ESTIMATIVA DE RECARGA DOS AQUÍFEROS

5.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada a estimativa da recarga para as oito bacias hidrográficas localizadas no município de Joinville – SC: bacia do Cachoeira, do Cubatão, do Itapocuzinho, do Palmital, do Paraná, do Piraí, Independentes da Vertente Leste e Independentes da Vertente Sul.

As metodologias utilizadas para os cálculos da recarga consideraram a origem de suas águas em ambientes naturais e urbanos. Para a estimativa da recarga natural a metodologia baseou-se na precipitação e suas relações com as variáveis do balanço hídrico. Na estimativa da parcela urbana, referente às águas importadas, a metodologia aplicada abrangeu o cálculo da recarga a partir das perdas nas redes de distribuição de água, perdas nas redes de coleta de esgoto e as estimativas em áreas sem coleta de esgoto.

A escolha da metodologia para o cálculo do balanço hídrico e da estimativa de recarga natural ficou limitada à disponibilidade de dados. Na área de abrangência das bacias hidrográficas que se incluem no município, não existem séries históricas de monitoramento de dados de vazões em uma densidade espacialmente representativa. Levando-se em consideração a área do município, de 1.127 km² (IBGE, 2020), não é adequado empregar técnicas de regionalização de vazões utilizando dados de monitoramento, tanto em função da escala hidrológica como em função do alto gradiente de precipitação observado. O município dispõe de séries de precipitação, séries climatológicas, mapeamento dos solos e do uso e ocupação dos solos, fornecendo dados necessários para a estimativa das componentes de entrada do modelo de balanço hídrico no solo.

Com relação às recargas urbanas, foram utilizados, como fonte de dados, as bases oficiais existentes e fornecidas pela Prefeitura Municipal de Joinville – SC, além de informações obtidas através de contatos via e-mail com a Companhia Águas de Joinville e por órgãos governamentais, como o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento).

A descrição dos métodos será apresentada nos próximos itens e, na sequência, os resultados encontrados.

5.2 Metodologia de Estimativa da Recarga Natural

A metodologia utilizada é baseada no estudo desenvolvido pelo *New Jersey Geological Survey*, descrito por Charles *et al.* (1993), e emprega um balanço hídrico no solo dado pela seguinte equação:

$$R = P - ETR - ES - \Delta S \quad \text{Equação 5.1}$$

onde R é a recarga (mm); P é a precipitação (mm); ETR é a evapotranspiração real (mm); ES é o escoamento superficial (mm), e ΔS é a variação de armazenamento de água no solo (mm).

No presente estudo, o balanço hídrico foi realizado no intervalo mensal entre janeiro de 1987 e dezembro de 2014, e assume que toda água infiltrada que se move abaixo da zona das raízes contribui para a recarga. A seguir são apresentadas as variáveis utilizadas na simulação mensal do balanço hídrico.

5.2.1 Precipitação

Os dados mensais de precipitação foram gerados a partir de séries históricas disponíveis no Portal HidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas – 2020), ferramenta integrante do SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) e no BDMEP (Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia – 2020). Os dados foram selecionados de forma a contemplar a área de abrangência do município e sua extrapolação, para apoiar a espacialização do alto gradiente de precipitações, decorrente das variações de relevo e suas influências nos processos de

formação das chuvas. Os períodos disponíveis de dados também influenciaram a escolha dos postos, uma vez que a análise de consistência pluviométrica e preenchimento de falhas se baseiam essencialmente na comparação dos dados da estação analisada com os de estações de apoio próximas e/ou de igual comportamento. Todas as estações estudadas foram submetidas a uma análise – desenvolvida a partir da elaboração e avaliação de curvas de dupla-massa dessas – em nível anual, com o objetivo de verificar a qualidade dos dados consistidos.

Os dados pontuais de precipitação mensal acumulada foram corrigidos espacialmente para as bacias hidrográficas, através de coeficientes de correção da precipitação pontual para a precipitação média sobre a área das bacias. A precipitação média espacial de longo período, para os doze meses e para as oito bacias hidrográficas, foi gerada a partir de mapas de isolinhas mensais de precipitação, elaborados utilizando metodologias de interpolação e ferramentas de geoprocessamento.

5.2.2 Escoamento Superficial

O escoamento superficial foi calculado para cada bacia hidrográfica utilizando uma modificação do método SCS de 1972, desenvolvido pelo antigo *Soil Conservation Service* (SCS) do governo dos Estados Unidos da América, atual *National Resources Conservation Center* (NRCC). Em função da insuficiência de dados reais de monitoramento fluviométrico, levando-se em consideração a escala do estudo, os dados disponíveis na área de abrangência do município de Joinville – SC foram utilizados somente para validação dos resultados de escoamento superficial.

Através do método SCS, conforme descrito em Chow *et al.* (1988), o escoamento superficial é estimado em decorrência da precipitação, conforme a sequência:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad \text{Equação 5.2}$$

$$P = Pe + Ia + Fa \quad \text{Equação 5.3}$$

onde P é a precipitação (mm); Pe é a precipitação efetiva (mm); Ia representa as perdas iniciais (mm); Fa é a infiltração após o início do escoamento superficial direto (mm), e S é a infiltração potencial máxima (mm).

Inicialmente deve-se obter os valores do parâmetro CN , que é o número da curva de escoamento superficial; esse está associado à classificação hidrológica do solo, ao uso e ocupação do solo e a umidade antecedente. O valor de CN varia de 0 a 100, sendo que 0 corresponde a um solo de capacidade de infiltração infinita e 100 a um solo completamente impermeável.

Os solos do município (Prefeitura Municipal de Joinville, 2012) foram classificados em grupos hidrológicos A, B, C ou D, onde a categoria A corresponde aos solos mais permeáveis e a D os menos permeáveis, conforme metodologia apresentada em Sartori *et al.* (2005). Após a determinação do uso e da ocupação do solo estas informações são cruzadas com as dos solos classificados, e em seguida são utilizadas tabelas de referência para atribuir os valores de CN para cada conjunto, uso e tipo de solo; neste estudo foram utilizadas as tabelas apresentadas em Tucci (1993).

Os valores de CN atribuídos a partir das tabelas referem-se a condições médias de umidade antecedente (condição II); a umidade antecedente da bacia pode ser classificada nas condições antecedentes I, II e III, sendo a condição I a mais seca e a III a mais úmida. A condição de umidade antecedente é definida a partir da chuva acumulada dos cinco dias anteriores, em relação ao período latente e ao período de

crescimento da vegetação; os limites para cada período e condição do solo foram obtidos conforme Tomaz (2011). A partir da definição do *CN* para a Condição II, o *CN* para as demais condições (I e III) pode ser calculado por meio das equações a seguir:

$$CN(I) = \frac{4,2 * CN(II)}{10 - 0,058 * CN(II)} \quad \text{Equação 5.4}$$

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)} \quad \text{Equação 5.5}$$

No caso de existirem na região estudada diversos tipos de solos e ocupações, o *CN* do local de interesse é obtido através da média ponderada pelas áreas. No caso do município de Joinville – SC, dada a existência de regiões com relevo montanhoso e fortemente montanhoso, o *CN* ponderado foi corrigido pela declividade conforme proposto em Huang *et al.* (2006).

Após a determinação do *CN* é calculada a infiltração potencial máxima (*S*, em mm) e as perdas iniciais (*I_a*, em mm) através de:

$$S = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{Equação 5.6}$$

$$I_a = 0,2 * S \quad \text{Equação 5.7}$$

O escoamento superficial (*ES*, em mm), que equivale à precipitação efetiva (*P_e*, em mm) pode então ser obtido através de:

$$\text{se } P > 0,2S, \quad ES = P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{Equação 5.8}$$

$$\text{se } P \leq 0,2S, \quad ES = P_e = 0 \quad \text{Equação 5.9}$$

A partir do cálculo do escoamento superficial pode-se obter a infiltração (*I*, em mm) através de:

$$I = P - ES \quad \text{Equação 5.10}$$

O cálculo do escoamento superficial pelo método SCS foi realizado em nível diário e então acumulado em nível mensal, de 1987 a 2014, para entrada no modelo de balanço hídrico.

Os dados de cotas, vazões, perfis transversais e curvas-chaves foram obtidos de séries históricas disponíveis no HidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas) e foram levantados de forma a contemplar o mesmo período dos dados de precipitação; foram submetidos a análise de representatividade e preenchimento de alguns períodos falhos, de maneira a embasar estimativa de cálculo da evapotranspiração

real, chamada neste estudo de evapotranspiração real de longo período, uma das ferramentas utilizada para validar os resultados estimados com o modelo de balanço hídrico. As validações foram elaboradas para as áreas de contribuição das estações fluviométricas inseridas no município.

5.2.3 Evapotranspiração Potencial e Real

A evapotranspiração real foi calculada conforme o modelo mensal de Thornthwaite e Mather (1955) *apud* Hipólito e Vaz (2013), Makhlof e Michel (1994) e Arnell (1992). As variáveis do modelo são os valores mensais da precipitação, escoamento superficial, infiltração e a evapotranspiração potencial, que é substituída pela evapotranspiração de referência (ET_0); neste modelo o solo é considerado como um reservatório linear.

A evaporação de referência (ET_0) é a evaporação de uma superfície de referência sob condições de disponibilidade de água, sendo a superfície de referência convencionalmente utilizada é o solo com grama de 0,12 m de altura, sombreando completamente deste; a resistência superficial de 70 s/m, indicando uma superfície pouco seca; e o albedo de 0,23. Os procedimentos para cálculo dos parâmetros e a estimativa da ET_0 , por meio da equação FAO Penman-Monteith, são apresentados a seguir, e estão descritos detalhadamente em Allen *et al.* (1998).

A equação seguinte é denominada como FAO Penman-Monteith e é recomendada para o cálculo de ET_0 mundialmente:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \frac{900}{T + 273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Equação 5.11}$$

onde ET_0 é a evapotranspiração de referência (em mm/dia); R_n é a radiação líquida ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$); T é a temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m/s); e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a é a pressão de vapor (kPa); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor de saturação em função da temperatura ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), e γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$).

Os dados de radiação líquida (ou número de horas de insolação), de temperatura média do ar e de velocidade do vento, necessários para a utilização da equação, foram obtidos de séries históricas de estações climatológicas operadas pelo INMET e EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão). Na indisponibilidade de dados diários de estações climatológicas que se inserissem nos limites do município e/ou falha de períodos de dados, foram utilizadas diretrizes de estimativa e preenchimento recomendadas em Allen *et al.* (1998). Os dados diários de ET_0 foram agrupados em nível mensal, no período de 1987 a 2014.

O cálculo da ET_0 foi efetuado considerando as variáveis climatológicas levantadas na porção plana do município, sendo, portanto, uma representação pontual desta variável. Devido ao gradiente altimétrico do município podem-se observar diferenças regionais nas variáveis climatológicas, especialmente temperatura e radiação solar. Os dados pontuais de ET_0 mensal foram corrigidos especialmente para as bacias hidrográficas através de coeficientes de correção calculados com um conjunto de dados mensais de temperatura e radiação solar (FICK; HIJMANS, 2017).

A evapotranspiração real é obtida a partir do modelo de balanço hídrico no solo de Thornthwaite e Mather (1955) *apud* Hipólito e Vaz (2013), conforme descrito a seguir.

Em um determinado mês i , a quantidade de água armazenada no solo (S_i) é dada pela relação entre infiltração e evapotranspiração potencial:

$$\text{se } I_i < ET_{0,i}, \quad S_i = S_{i-1} \exp \left[\frac{-(ET_{0,i} - I_i)}{S_{max}} \right] \quad \text{Equação 5.12}$$

$$\text{se } I_i \geq ET_{0,i}, \quad S_i = \text{minimo}[(I_i - ET_{0,i} + S_{i-1}); S_{max}] \quad \text{Equação 5.13}$$

onde I_i é a infiltração (em mm) obtida anteriormente ($I = P - ES$); $ET_{0,i}$ é a evapotranspiração potencial (em mm); S_{i-1} é a quantidade de água armazenada no solo ao final do mês ($i-1$); e S_{max} é a capacidade máxima de armazenamento de água na zona das raízes (em mm). Neste estudo assume-se que o S_{max} corresponde ao CAD (Capacidade de Água Disponível), o qual é determinado através dos parâmetros água disponível no solo (AD), obtido a partir de Blainski *et al.* (2016), e profundidade das raízes da vegetação local, obtido a partir de Charles *et al.* (1993) e IBGE (2017).

Após definir a quantidade de água armazenada no solo em cada mês, a evapotranspiração real ETR (mm) é calculada por:

$$\text{Se } I_i < ETO_p, \quad ETR = P - ES - R - \Delta S \quad \text{Equação 5.14}$$

$$\text{Se } I_i \geq ETO_p, \quad ETR = ETO \quad \text{Equação 5.15}$$

onde I_i é a infiltração (em mm) obtida anteriormente ($I = P - ES$); $ET_{0,i}$ é a evapotranspiração potencial (em mm); ΔS é a variação no armazenamento ($\Delta S = S_i - S_{i-1}$); P é a precipitação (em mm); ES é o escoamento superficial (em mm); R é a recarga (em mm), a qual será descrita a seguir.

Para a avaliação dos resultados de ETR do modelo de balanço hídrico foi realizado um comparativo com valores calculados utilizando dados reais de longo período de precipitação e de vazão, considerando dois postos de monitoramento e suas respectivas áreas de abrangência. Os resultados de ETR do modelo também foram comparados com dados de evapotranspiração real de satélite obtidos pela aplicação do modelo SSEBop da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

Para o cálculo dos coeficientes de correção da evapotranspiração potencial pontual foram utilizados dados mensais climáticos espacialmente distribuídos provenientes de estações de monitoramento e de satélite no período de 1970-2000 interpolados mensalmente em um *grid* de 1km² de resolução (FICK; HIJMANS, 2017). As variáveis utilizadas foram temperatura e radiação solar mensal, as quais foram extraídas do *grid* em pontos no entorno do município de Joinville - SC, e utilizados para calcular novos valores mensais de ET_0 a partir da equação FAO Penman-Monteith. Os valores resultantes de ET_0 foram interpolados para criar distribuições espaciais deste parâmetro. Em seguida, considerando as áreas de abrangência das bacias hidrográficas inseridas em Joinville, foram extraídos os valores médios mensais de ET_0 para cada bacia, e utilizados para corrigir os valores de ET_0 pontual, analogamente ao método utilizado na correção da precipitação.

5.2.4 Recarga Natural

O balanço hídrico mensal do solo assume que qualquer recarga das águas subterrâneas ocorrerá somente após o preenchimento da capacidade de armazenamento de água na zona das raízes (S_{max}). Portanto, a recarga das águas subterrâneas ocorrerá durante um determinado mês i somente quando duas condições forem satisfeitas:

- i. A infiltração deve ser maior que a evapotranspiração de referência ($I_i > ET_{0,i}$), e
- ii. A umidade do solo na zona das raízes deve ser igual a S_{max} , que representa a capacidade máxima de armazenamento de água na zona das raízes ($S_i = S_{max}$)

Quando as duas condições são satisfeitas, a recarga mensal (R_p , em mm), segundo Charles *et al.* (1993), será:

$$R_i = (I_i - ET_{0,i}) - (S_{max} - S_{t-1}) \quad \text{Equação 5.16}$$

Na equação acima o termo ($S_{max} - S_{t-1}$) representa o déficit de água na zona das raízes ao final do mês anterior; o déficit de água no mês anterior pode variar de zero, quando o armazenamento de água no solo na zona das raízes ao final do mês anterior é igual à capacidade máxima de armazenamento, até S_{max} , indicando que o armazenamento na zona das raízes é nulo.

5.3 Metodologia de Estimativa da Recarga Urbana

Nas áreas urbanas a origem e o caminho da recarga das águas subterrâneas são mais numerosos e complexos do que em ambientes rurais. Nas cidades, as fontes de água para recarga são a precipitação pluvial e águas importadas para o abastecimento público. A recarga a partir da precipitação pluvial é determinada através do método do balanço hídrico, conforme descrito anteriormente. Já a recarga das águas importadas compreende três abordagens distintas: i. recarga a partir das perdas nas redes de distribuição de água, ii. recarga a partir das perdas nas redes coletoras de esgoto sanitário, e iii. recarga a partir da infiltração em sistemas de fossas sépticas e sumidouros, os quais são utilizados na ausência de rede coletora de esgoto. A seguir são descritos os métodos para estimar recarga urbana; todas as estimativas foram feitas por bacia hidrográfica e tiveram como base as informações obtidas para o ano de 2019.

5.3.1 Recarga a partir das perdas em redes de distribuição de água

As perdas em rede de distribuição de água são computadas através do volume de água fornecido e volume de água consumido. Neste estudo optou-se por calcular a perda de água por comprimento de rede (m^3/m) para então obter o volume total perdido anual (m^3/ano) para cada bacia hidrográfica.

Junto à Companhia Águas de Joinville (CAJ) foram obtidas as estimativas de perdas reais nas redes de distribuição (%), os volumes de água distribuídos (m^3/ano) e as redes de distribuição de água em formato vetorial. Os valores de volumes, perdas e comprimento de rede foram verificados através de consulta ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS (2019)). As redes de distribuição em formato vetorial foram utilizadas para ponderar os comprimentos de redes por bacia hidrográfica. O cálculo da recarga através das perdas nas redes de água, por bacia hidrográfica, é dado a seguir:

$$Perda_{rede_água} = \frac{\text{volume} * \text{perda real}}{\text{comprimento da rede}_{total}} \quad \text{Equação 5.17}$$

$$Recarga_{rede_água} = Perda_{rede_água} * \text{comprimento da rede}_{bacia} * K \quad \text{Equação 5.18}$$

onde $Perda_{rede_água}$ = volume de água perdido por comprimento da rede de distribuição de água (m^3/m); $Volume$ = volume de água distribuído (m^3); $Perda_{real}$ = perda real da rede de distribuição de água (%); $Comprimento_{da_rede_total}$ = comprimento da rede de distribuição de água em Joinville (m); $Recarga_{rede_de_água}$ = volume de água que atinge a zona saturada do solo (m^3); $Comprimento_{da_rede_bacia}$ = comprimento da rede de distribuição de água na bacia hidrográfica (m), e K = coeficiente da razão entre recarga e infiltração.

Nem todo volume de água perdido nas redes de distribuição se transforma em recarga, pois as tubulações podem estar acima da zona saturada do solo. Dessa forma, pode existir uma camada de solo, entre a rede e o nível do aquífero livre, na qual a água deve percolar; neste processo uma parcela do volume de água será retida ou evapotranspirada. Para obter a parcela de água que efetivamente alcança o nível do aquífero livre e se torna recarga admitiu-se que a razão entre a recarga e a infiltração obtida no balanço hídrico natural do solo, para cada bacia hidrográfica, é igual à razão entre a recarga e os volumes de perdas reais da rede de distribuição de água. Essa razão é representada pelo coeficiente K , descrito a seguir:

$$K = R / I \quad \text{Equação 5.19}$$

$$I = P - ETR - ES \quad \text{Equação 5.20}$$

onde K = coeficiente da razão entre recarga e infiltração; R = recarga (mm); I = infiltração (mm); P = precipitação (mm); ETR = evapotranspiração real (mm), e ES = escoamento superficial (mm).

5.3.2 Recarga a partir das perdas em redes coletoras de esgotos

O cálculo da recarga a partir das perdas em redes coletoras de esgotos utilizou a metodologia análoga ao cálculo da recarga nas perdas em redes de distribuição de água: inicialmente verificou-se junto a CAJ e ao SNIS os volumes de esgoto coletado, distribuição e comprimento de redes de esgoto; a perda média nas redes coletoras de esgoto não foi informada, portanto adotou-se como 10% com base em outros estudos de recarga em áreas urbanas (ANA, 2012; 2018). Em seguida foi obtido o volume perdido na rede coletora de esgoto (m^3/m), o qual foi multiplicado pelo comprimento de rede em cada bacia hidrográfica (m) e pelo coeficiente da razão entre recarga e infiltração (K) para obtenção do volume que corresponde à recarga pela perda na rede de esgoto (m^3).

5.3.3 Recarga a partir da infiltração de esgotos não coletados

A recarga, a partir da infiltração de esgotos não coletados, refere-se aos volumes que são descartados em fossas, sumidouros ou sarjetas, os quais podem infiltrar no solo e representam mais uma contribuição para a recarga do aquífero livre em áreas urbanas.

Primeiramente foi estimado o volume de esgoto gerado no município através do coeficiente de retorno de 80%, ou seja, 80% do volume da água que efetivamente chega nas residências se torna esgoto, conforme recomendação da Norma NBR 9649:1986 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, (Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento). Conhecendo o volume de esgoto gerado e o volume de esgoto efetivamente coletado, conforme foi utilizado no item anterior, pode ser estimado o volume de esgoto gerado que não é coletado (m^3).

Pode-se inferir que os esgotos não são coletados em locais nos quais há rede de distribuição de água, porém não há rede de coleta de esgoto; portanto subtraiu-se o comprimento de rede de água do comprimento de rede de esgoto por bacia hidrográfica, para calcular o volume de esgoto infiltrado por comprimento de rede virtual (m^3/m). Analogamente ao método utilizado nos itens anteriores, o volume da recarga a partir da infiltração de esgotos não coletados (m^3) foi obtido através da multiplicação do comprimento de rede virtual (m^3/m) em cada bacia hidrográfica pelo coeficiente da razão entre recarga e infiltração (K).

5.4 Resultados

Neste item serão apresentados os resultados obtidos em cada uma das etapas desenvolvidas para a estimativa das variáveis necessárias à aplicação do método de balanço hídrico no solo.

Na Figura 5.1 pode ser visualizada a distribuição espacial de todas as estações de monitoramento, pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas, cujos dados foram utilizados nas diferentes etapas de estimativa da recarga e/ou para a validação dos resultados obtidos. Esse mapa poderá ser empregado no decorrer da apresentação dos resultados, no que se refere à identificação dos postos cujas séries de dados embasaram a determinação das variáveis precipitação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real de longo período.

5.4.1 Precipitação

Para representar a precipitação, componente de entrada no modelo de balanço hídrico, foram utilizados os dados mensais das seguintes estações localizadas na área de abrangência do município de Joinville: Estrada dos Morros, Pirabeiraba, Ponte SC 301 e Primeiro Salto de Cubatão.

O Quadro 5.1 apresenta algumas medidas de representação da estatística descritiva dos dados pluviométricos consistidos, no período de 1987 a 2016. Segundo Naghettini e Pinto (2007), as características estatísticas são medidas que sintetizam, de uma forma simples, o padrão de distribuição da variável, permitindo extrair da amostra as informações que permitem inferir o comportamento populacional da variável em questão.

Quadro 5.1 Estatísticas descritivas dos totais anuais de precipitação no período de 1987 a 2014.

Estação	Média (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Desvio Padrão (mm)	CV	Assimetria	Mediana (mm)	1º Quartil (mm)	3º Quartil (mm)
Estrada dos Morros	3.162,3	4.491,1	2.188,1	608,7	0,19	0,73	3.062,1	2.810,8	3.359,7
Pirabeiraba	2.484,5	3.536,9	1.888,9	443,9	0,18	0,75	2.406,8	2.151,4	2.741,1
Ponte SC 301	1.936,7	2.956,9	1.348,5	443,5	0,23	1,08	1.836,2	1.662,3	2.145,1
Primeiro Salto de Cubatão	2.463,0	3.404,7	1.751,6	442,9	0,18	0,57	2.415,9	2.177,6	2.643,9

Analisando os resultados apresentados observa-se que a mediana de longo período (1987 a 2014) varia de 1.836,2 mm, na estação Ponte SC 301, localizada na porção leste e de menor altitude do município, a 3.062,1 mm, e em Estrada dos Morros, estação localizada próxima a encosta da Serra Geral. Os dados demonstram uma grande variabilidade espacial relacionada ao relevo da região. A amplitude entre quartis, representada pela diferença entre os valores do 1º e 3º quartil, apresenta-se variando entre 466,3 mm e 589,7 mm, respectivamente nos postos de Primeiro Salto de Cubatão

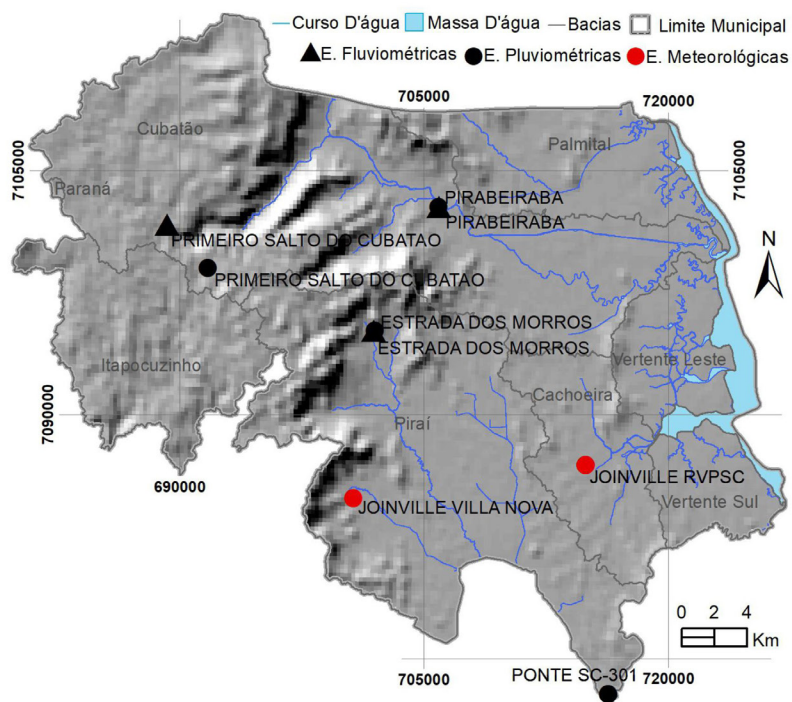
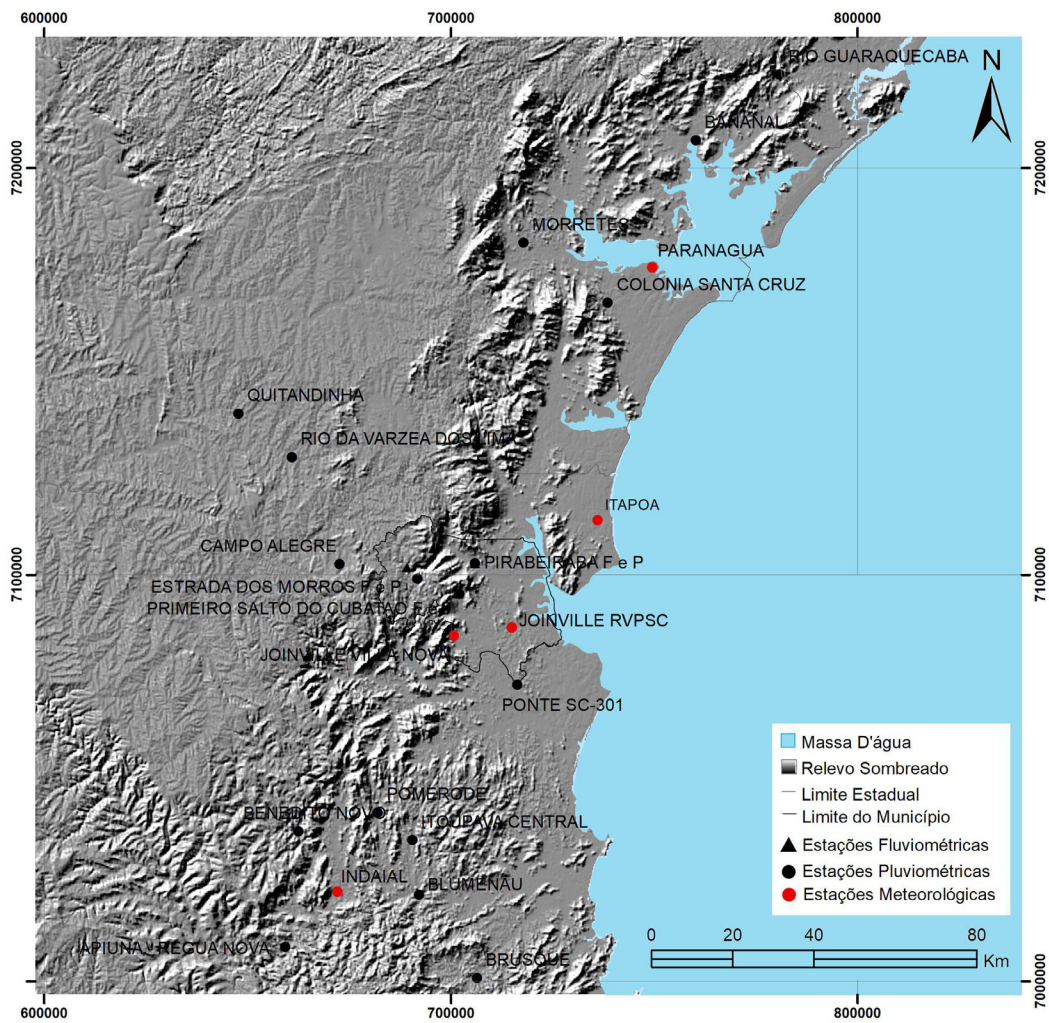


Figura 5.1 Mapa de localização, relevo, estações pluviométricas e sub-bacias hidrográficas de Joinville.

e Pirabeiraba. O maior desvio padrão, de 608,7 mm, é observado no posto de Estrada dos Morros, onde ocorrem também os maiores valores acumulados anuais. Os maiores coeficientes de variação (CV), medida que permite comparar a dispersão entre diferentes amostras, são observados em Ponte SC. As assimetrias apresentaram-se positivas em todas as séries, indicando a contribuição acumulada dos desvios positivos em relação à média amostral.

Joinville localiza-se em um núcleo de precipitações anuais mais altas quando comparado a outros municípios do estado, o que pode ser justificado pelo fato de que este município se encontra numa condição de relevo diferenciada, intensificando a atuação dos diferentes sistemas atmosféricos. Reboita *et al.* (2010), em seu estudo sob regimes de precipitação na América do Sul, coloca que o transporte de umidade pela brisa marinha durante o dia, no litoral, pode fornecer umidade para outros sistemas atmosféricos. A circulação de brisa, de acordo com Allaby e Allaby (1999), atua até 40 quilômetros da costa podendo atingir distâncias maiores. A orografia da região é fator determinante para intensificar as condições de chuva associada ao fluxo de ventos provenientes da circulação marítima. Mazzer *et al.* (2009) relatam que ao longo da faixa leste catarinense o efeito da circulação penetra nas regiões de vale até encontrar os paredões da Serra Geral, onde a interceptação com a barreira de relevo condiciona a elevação do ar úmido, favorecendo a formação de nuvens convectivas e conseqüentemente a ocorrência de chuva intensa e volumosa. Os maiores totais precipitados nas estações de Estrada dos Morros, Pirabeiraba e Primeiro Salto Cubatão confirmam que a orografia da região é fator determinante para intensificar as condições de chuva associada ao fluxo de ventos provenientes da circulação marinha.

A Figura 5.2, que apresenta os hietogramas das estações Primeiro Salto do Cubatão, localizada em maiores altitudes, e Ponte SC-301, na porção mais plana, ilustram o comportamento sazonal da precipitação no município de Joinville – SC.

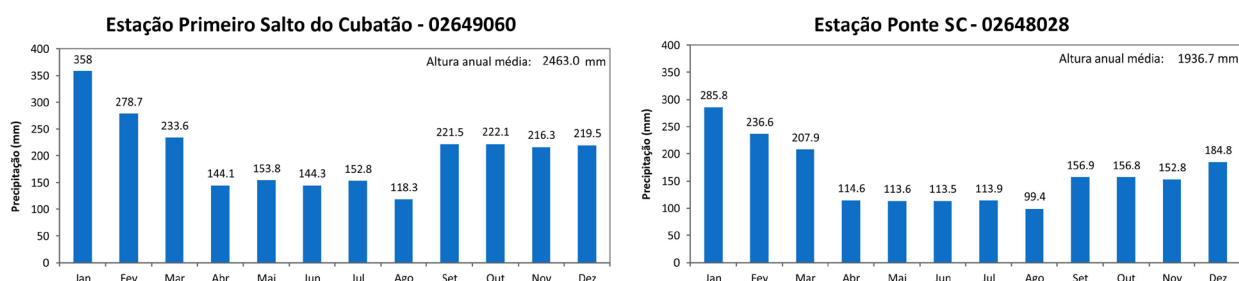


Figura 5.2 Hietograma dos totais de precipitação média mensal da estação Primeiro Salto do Cubatão (1987-2014) e da estação Ponte SC (1987-2014).

Nos hietogramas dos totais de precipitação média mensal, observa-se que as precipitações são mais concentradas no trimestre que corresponde ao verão (DJF), seguido pela primavera (SON). Salientando que em janeiro ocorrem os maiores acumulados mensais de chuva. Em relação ao outono (MAM), como é uma estação de transição, o primeiro mês do trimestre ainda apresenta características de verão, com precipitação mais elevada que os dois meses subsequentes. No trimestre que corresponde ao inverno (JJA), há uma redução significativa nos totais pluviométricos relacionada, de acordo com Mello e Oliveira (2019), às menores temperaturas do ar, menor teor de umidade na atmosfera e menor evaporação.

A Figura 5.1, onde é apresentada a distribuição espacial dos postos de monitoramento pluviométrico, mostra que não existem estações em todas as bacias hidrográficas de Joinville. Além disso, devido ao

gradiente significativo de precipitações existente ao longo de algumas bacias, foram definidos critérios de utilização dos dados de precipitação, de forma a melhor representar a precipitação média em cada área de abrangência. Nas bacias sem existência de pontos de monitoramento, utilizou-se o critério de maior proximidade e/ou similaridade de processos de formação de chuvas. Nas áreas com muita variabilidade de relevo, utilizou-se a média entre os dados de dois postos representativos.

Para a geração dos coeficientes de correção pluviométrica pontual para espacial, considerando as áreas de abrangência das bacias hidrográficas inseridas em Joinville, foram elaborados mapas de precipitações mensais medias de longo período (1987-2016), utilizando a malha de pontos formada pelas 20 estações pluviométricas apresentadas no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 Relação das estações pluviométricas consistidas e selecionadas.

Estação	Código	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Morretes	02548000	Morretes	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°28'00"	-48°50'00"	8
Paranaguá	02548010	Paranaguá	INMET	-25°31'00"	-48°31'00"	5
Rio Guaraqueçaba	02548042	Guaraqueçaba	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°04'59"	-48°13'00"	9
Bananal	02548043	Guaraqueçaba	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°13'59"	-48°25'00"	64
Colônia Santa Cruz	02548049	Paranaguá	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°35'48"	-48°37'29"	32
Rio da Várzea dos Lima	02549003	Quitandinha	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°57'00"	-49°23'35"	810
Quitandinha	02549061	Quitandinha	ÁGUAS DO PARANÁ	-25°51'18"	-49°31'33"	820
Joinville RVPSC	02648014	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°19'18"	-48°50'47"	6
Ponte SC-301	02648028	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°26'54"	-48°49'49"	8
Pirabeiraba	02648033	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°10'48"	-48°56'22"	1
Estrada dos Morros	02648034	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°14'56"	-48°58'39"	119
Pomerode	02649002	Pomerode	EPAGRI/ANA	-26°44'12"	-49°10'13"	63
Benedito Novo	02649003	Benedito Novo	EPAGRI/ANA	-26°46'52"	-49°21'54"	90
Blumenau	02649007	Blumenau	EPAGRI/ANA	-26°55'05"	-49°03'55"	12
Itoupava Central	02649010	Blumenau	EPAGRI/ANA	-26°47'48"	-49°05'01"	27
Indaial	02649038	Indaial	INMET	-26°54'49"	-49°16'03"	86
Campo Alegre	02649057	Campo Alegre	ÁGUAS DO PARANÁ	-26°11'11"	-49°16'24"	870

continua...

...continuação

Estação	Código	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Primeiro Salto do Cubatão	02649060	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°12'57"	-49°04'50"	790
Brusque	02748000	Brusque	EPAGRI/ANA	-27°06'03"	-48°55'05"	27
Apiúna-Régua Nova	02749000	Apiúna	EPAGRI/ANA	-27°02'17"	-49°23'42"	93

O Quadro 5.3 apresenta os coeficientes de correção da precipitação mensal para as bacias hidrográficas de Joinville.

Quadro 5.3 Coeficientes de correção da precipitação mensal.

Bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cachoeira	1,11	1,05	1,05	1,06	1,03	1,06	1,02	0,99	1,06	1,07	1,09	1,03
Cubatão	0,99	1,01	0,99	0,96	1,00	1,03	0,99	1,00	0,98	0,97	0,99	0,98
Itapocuzinho	0,92	1,00	0,97	0,94	0,92	0,99	0,94	0,98	0,94	0,94	0,92	0,96
Palmital	0,95	0,98	0,93	0,93	0,99	0,98	0,98	0,96	0,91	0,89	0,96	0,95
Paraná	0,99	1,01	0,99	0,96	1,00	1,03	0,99	1,00	0,98	0,97	0,99	0,98
Pirai	0,98	0,97	0,96	0,87	0,91	0,91	0,88	1,00	0,93	0,91	0,98	0,93
Vertente Leste	1,15	1,12	1,10	1,10	1,04	1,06	1,04	0,98	1,08	1,09	1,13	1,06
Vertente Sul	1,07	1,02	1,04	1,05	0,99	1,05	0,98	0,96	1,05	1,05	1,03	1,02

5.4.2 Escoamento Superficial

O cálculo do escoamento superficial iniciou com a classificação do solo segundo grupo hidrológico. A distribuição dos solos no município de Joinville (Figura 5.3) compreende o grupo B (3.6% - solos profundos, de 100 a 200 cm, com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão), grupo C (73.6% - solos profundos, de 100 a 200 cm, ou pouco profundos, de 50 a 100 cm, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão), e grupo D (22.7% - solos rasos com profundidade inferior a 50 cm, com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão).

Para a determinação dos valores iniciais de CN é necessário, além da classificação de solos segundo o grupo hidrológico, o mapa de uso e ocupação do solo (Prefeitura Municipal de Joinville, 2015), o qual está apresentado na Figura 5.4. No município de Joinville – SC, os usos predominantes são Floresta (63.5%), Pastagem (13.2%) e Áreas Urbanizadas (10.5%), seguido por Cultura Temporária (4.8%), Silvicultura (3.2%), Corpo d'água litorâneo (2.6%), Cultura Permanente (1.2%), Corpo d'água continental (0.7%), Campestre (0.2%) e Áreas de Extração Mineral (0.1%).

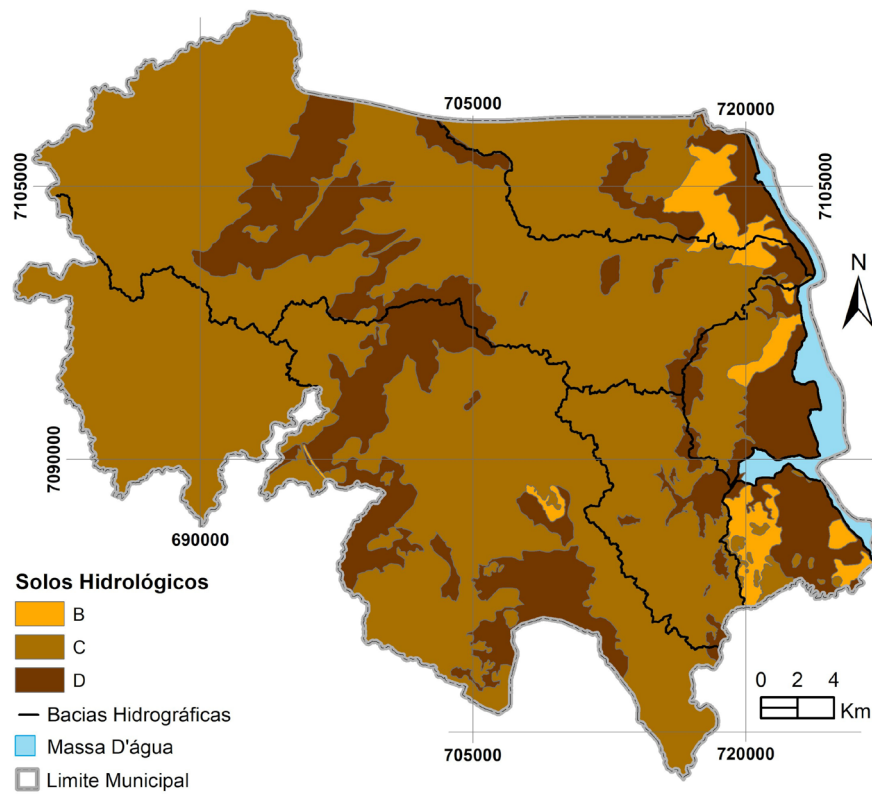


Figura 5.3 Mapa de solo classificado segundo grupo hidrológico.

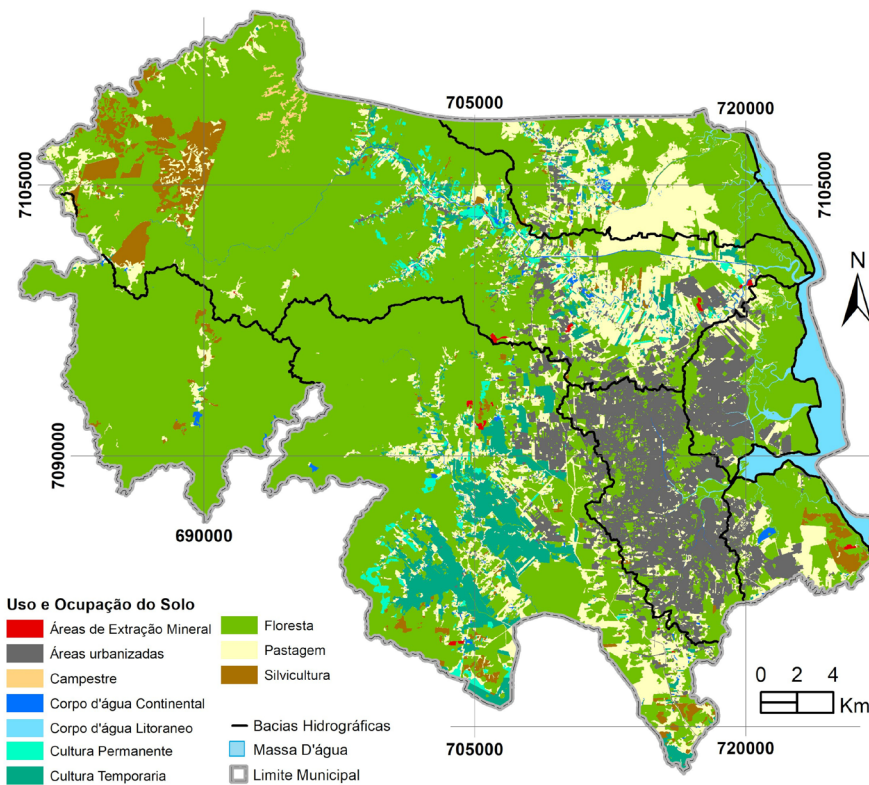


Figura 5.4 Mapa de uso e ocupação do solo em Joinville.

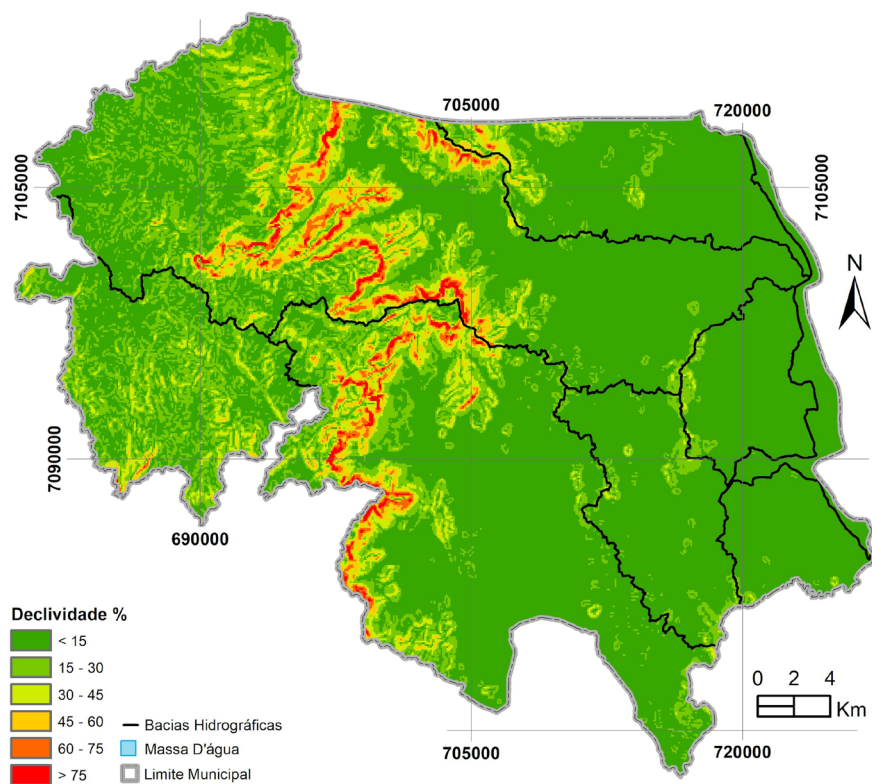


Figura 5.5 Mapa de declividade (em %) em Joinville.

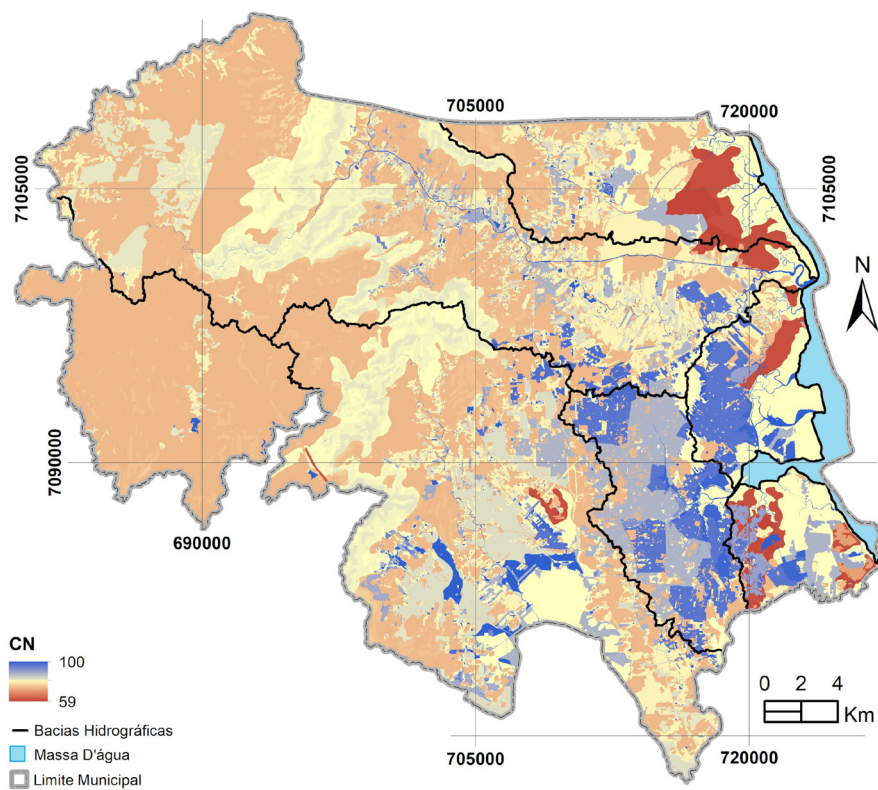


Figura 5.6 Mapa de CN corrigido pela declividade.

Após o cruzamento das informações acima, os valores de *CN*, determinados considerando a condição de umidade *II*, foram corrigidos para contemplar o efeito da declividade, conforme descrito na metodologia. Na Figura 5.5 está apresentado o mapa de declividade do município, em %, e na Figura 5.6 está apresentado o mapa de *CN* na condição de umidade *II* resultante; os valores de *CN* variaram de 59 a 100 (corpos d'água). O *CN* médio para cada uso e ocupação do solo e bacia hidrográfica está apresentado na síntese do resultado do cálculo do balanço hídrico, nos Quadros 5.8 a 5.15.

Para a correção do *CN* na condição *II* para as condições de umidade antecedente *I* (mais seca) e *III* (mais úmida), foi necessário proceder a análise regional de umidade antecedente do município de Joinville - SC. Avaliando-se as características pluviométricas de longo período e sazonais, para as séries de precipitação das estações pluviométricas Pirabeiraba (02648033) e Primeiro Salto Cubatão (02649060) definiu-se que o período latente compreende os meses de maio a agosto, e o período de crescimento os meses de setembro a abril.

Com o *CN* corrigido para as condições de umidade antecedente, foi calculado a infiltração potencial máxima (*S*) e em seguida o escoamento superficial (*ES*), o qual foi acumulado em nível mensal, de 1987 a 2014, para entrada no modelo de balanço hídrico. Os resultados de escoamento superficial foram validados com os dados de vazão observada nos postos fluviométricos apresentados no Quadro 5.4, conforme disponibilidade no período de dados.

Quadro 5.4 Estações fluviométricas.

Estação	Código	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)	AD (km ²)
Estrada dos Morros	82769800	Joinville	ANA	-26°14'56"	-48°58'42"	130	30
Pirabeiraba	82270050	Joinville	ANA	-26°10'48"	-48°56'22"	35	376
Primeiro Salto Cubatão	82261001	Joinville	ANA	-26°11'31"	-49°06'23"	780	122

O escoamento superficial para cada uso e ocupação do solo e bacia hidrográfica está apresentado na síntese do resultado do cálculo do balanço hídrico, do Quadro 5.8 ao Quadro 5.15.

5.4.3 Evapotranspiração Potencial e Real

Para o cálculo da evapotranspiração potencial, substituída pela evapotranspiração de referência, ET_0 , conforme descrito na metodologia, foram utilizados dados climatológicos disponíveis das estações meteorológicas observadas no Quadro 5.5 e visualizadas na Figura 5.1, anteriormente apresentada.

Quadro 5.5 Relação das estações meteorológicas.

Estação	Código	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Joinville RVPSC	02648014	Joinville	EPAGRI/ANA	-26°19'18"	-48°50'47"	6
Joinville Villa Nova	1051	Joinville	EPAGRI	-26°20'31"	-48°59'20"	47
Itapoá	A851	Itapoá	INMET	-26°04'48"	-48°38'24"	6,2
Indaial	02649038	Indaial	INMET	-26°54'49"	-49°16'03"	86
Paranaguá	02548010	Paranaguá	INMET	-25°31'00"	-48°31'00"	5

Foram calculados valores diários de ET_0 para o período de janeiro de 1987 a dezembro de 2014. Por se tratar de um longo período de dados, tornou-se necessário elaborar uma série com dados alternados de seis estações climatológicas mais próximas e/ou com comportamento regional similar para as variáveis climatológicas temperatura, velocidade do vento e radiação solar. Os valores diários permitiram calcular os valores mensais. Os resultados mensais de longo período estão apresentados no gráfico da Figura 5.7, onde pode ser observada a variação sazonal da variável. Os dados mensais de evapotranspiração mostram uma grande oscilação anual, com os maiores valores se manifestando nos meses de verão e final da primavera, característicos de maiores temperaturas e incidência solar (tempo diário de insolação).

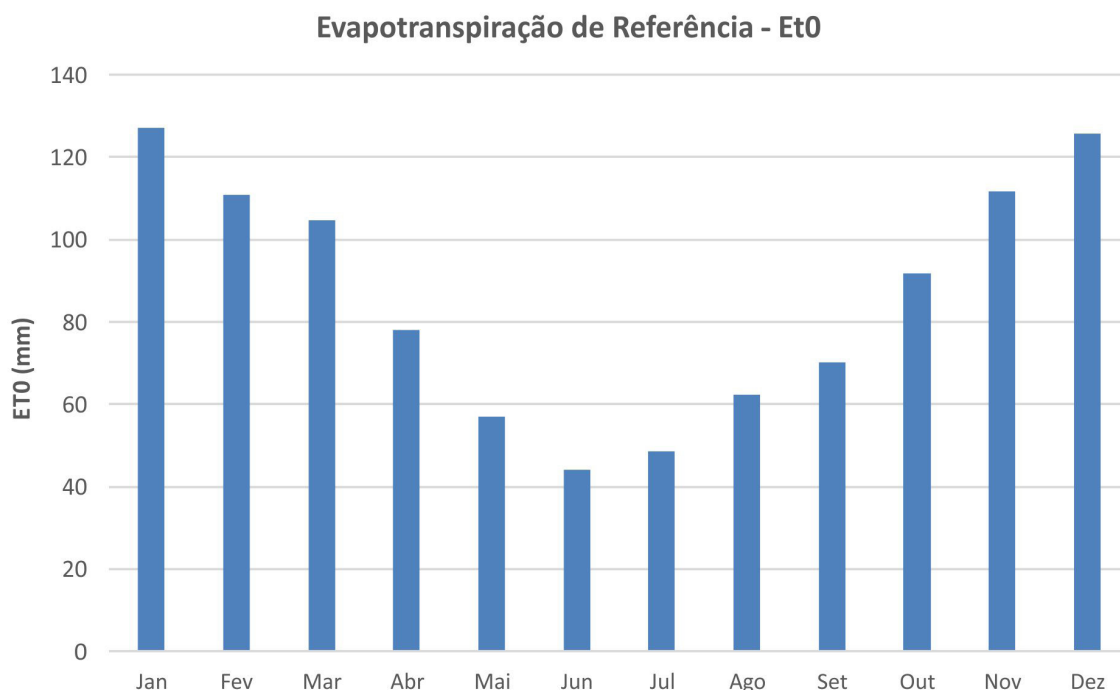


Figura 5.7 Evapotranspiração de referência mensal de longo período.

As séries de dados das variáveis climatológicas utilizadas para a estimativa da evapotranspiração foram consideradas para a localização geográfica da sede municipal, sendo, portanto, uma representação pontual desta componente. Considerando o gradiente altimétrico nos domínios do município e a sua influência na variabilidade das variáveis climatológicas, foi necessário proceder a correção de valores de ET_0 pontual para as áreas das bacias, seguindo o mesmo conceito adotado para a correção das precipitações, conforme descrito na metodologia. No Quadro 5.6 estão apresentados os coeficientes de correção resultantes.

Quadro 5.6 Coeficientes de correção da evapotranspiração potencial mensal.

Bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Cachoeira	1	0,97	0,98	0,95	0,96	0,96	0,97	1	0,87	1	0,98	1,01
Cubatão	0,96	0,94	0,95	0,92	0,93	0,93	0,95	1	0,87	0,99	0,96	0,98
Itapocuzinho	0,97	0,93	0,95	0,91	0,92	0,92	0,94	1,01	0,87	1	0,95	0,99

continua...

...continuação

Bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Palmital	0,96	0,94	0,95	0,92	0,95	0,95	0,96	0,98	0,85	0,97	0,96	0,97
Paraná	0,95	0,91	0,93	0,9	0,9	0,9	0,93	1,01	0,87	0,99	0,94	0,97
Piraí	1,01	0,98	0,98	0,95	0,95	0,96	0,97	1,02	0,88	1,01	0,99	1,02
Vertente Leste	0,99	0,96	0,98	0,94	0,96	0,96	0,97	0,99	0,86	0,99	0,97	0,99
Vertente Sul	1,02	0,98	1	0,96	0,97	0,97	0,98	1	0,86	1	0,99	1,01

A evapotranspiração real para cada uso e ocupação do solo e bacia hidrográfica está apresentado na síntese do resultado do cálculo do balanço hídrico, do Quadro 5.8 ao Quadro 5.15.

5.4.4 Recarga Natural

Conforme descrito na metodologia, o balanço hídrico no solo foi calculado em nível mensal, e depois agregado em nível anual, utilizando os dados de 1987 a 2014. No Quadro 5.7 está apresentada a síntese do balanço hídrico no solo por bacia hidrográfica.

As pluviometrias anuais médias variaram de 1.994,20 mm (bacia Vertente Sul) a 2.449,90 mm (bacia do Cubatão). A evapotranspiração real média anual variou de 908,6 mm (bacia Vertente Leste) a 1.005 mm (bacia do Piraí). O escoamento superficial é função da precipitação incidente e do tipo e uso do solo, pois quanto mais impermeável for a cobertura, então, maior será o escoamento gerado; o escoamento superficial médio anual observado variou de 778 mm, na bacia do Cachoeira, a 437,5 mm, na bacia do Itapocuzinho. As variações anuais médias no armazenamento foram de 0,4 mm a 4,7 mm.

Finalmente, os valores de recarga média anual calculada foram de 349,6 mm, 458,4 mm e 492,3 mm nas bacias Cachoeira, Vertente Leste e Vertente Sul, respectivamente; nestas bacias hidrográficas as precipitações são inferiores às precipitações observadas nas demais bacias do município de Joinville – SC, bem como o solo e uso/ocupação são mais impermeáveis, assim gerando mais escoamento superficial e menores volumes disponíveis para recarga. Nas demais bacias a recarga média anual variou de 815,7 mm, na bacia do Piraí, e a 921,8 mm na bacia do Itapocuzinho.

Em termos de percentual da precipitação (%P), e evapotranspiração real média anual variou de 40%P a 47%P, o escoamento superficial médio anual de 19%P a 38%P, e a recarga média anual de 17%P a 39%P. A análise da recarga em função da precipitação será realizada na sequência. Os resultados apresentados no Quadro 5.7 podem ser visualizados de forma gráfica na Figura 5.8.

Quadro 5.7 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) por Bacia Hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	P-ETR-ES* (mm)	K**
Cachoeira	82,8	2.044,8	916,4	778	0,9	349,6	351,40	0,995
Cubatão	392,4	2.449,9	976,8	549,6	4,7	918,8	923,50	0,995
Itapocuzinho	123,0	2.340,7	977	437,5	4,5	921,8	926,20	0,995
Palmital	99,5	2.356,8	965,7	537,7	2,4	850,9	853,40	0,997

continua...

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	P-ETR-ES* (mm)	K**
Paraná	0,9	2.340,7	962,2	521,9	4,3	852,3	856,60	0,995
Piraí	310,4	2.408,0	1.005	583,1	4	815,7	819,90	0,995
Vertente Leste	53,8	2.107,9	908,6	740,4	0,5	458,4	458,90	0,999
Vertente Sul	42,7	1.994,2	934,9	566	0,4	492,8	493,30	0,999

* infiltração calculada pelo balanço hídrico no solo.

** coeficiente da razão entre recarga e infiltração utilizado no cálculo da recarga urbana.

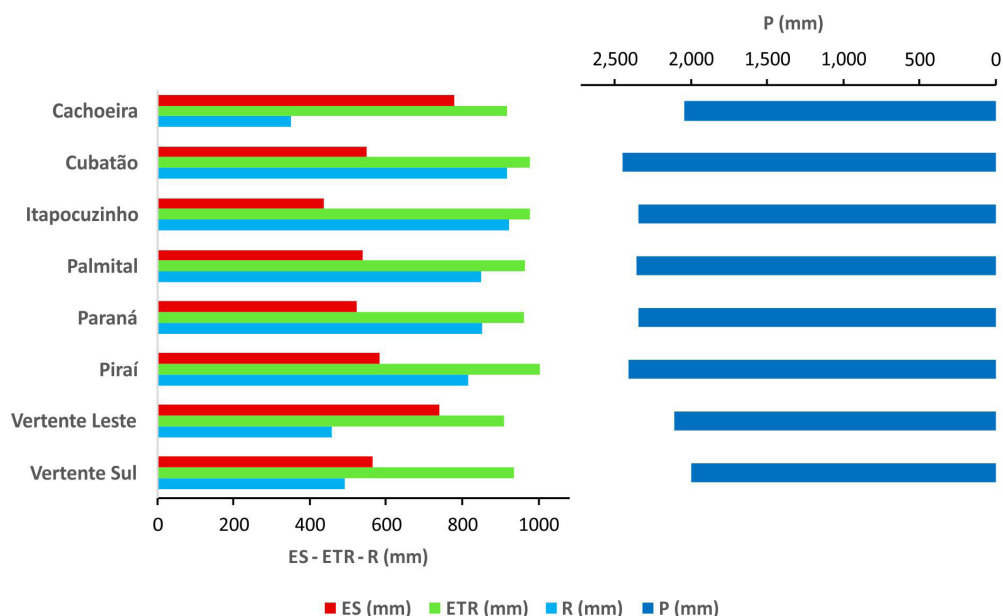


Figura 5.8 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) por Bacia Hidrográfica.

Do Quadro 5.8 ao Quadro 5.15 estão apresentados, por bacia hidrográfica, a síntese do balanço hídrico no solo por tipo de uso e ocupação.

Em termos de percentual da precipitação (%P), a evapotranspiração real variou de 38%P a 49%P, sendo os menores valores observados nos tipos de uso e ocupação áreas urbanas e áreas de extração mineral. Os maiores valores de escoamento superficial foram observados nos usos e ocupação área de extração mineral, de 47%P a 55%P, os quais estão presentes nas bacias Cubatão, Piraí e Vertente Sul, seguidos pelo tipo de uso áreas urbanizadas, de 34%P a 51%P, presentes nas bacias Cachoeira, Cubatão, Palmital, Piraí, Vertente Leste e Vertente Sul. Com relação à recarga, os maiores percentuais em relação a precipitação foram observados no tipo de uso/ocupação floresta, variando de 29%P a 40%P, seguido por campestre, de 34%P a 39%P, pastagem, de 24%P a 36%P e silvicultura, de 21%P a 33%P.

Quadro 5.8 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Cachoeira.

Cachoeira Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Áreas urbanizadas	86	56,7	2.044,8	887,7	892,7	0,0	264,5	43%	44%	0,0%	13%
Cultura Permanente	83	0,0	2.044,8	975,3	786,3	4,1	279,2	48%	38%	0,2%	14%
Floresta	72	20,4	2.044,8	982,8	505,7	3,2	553,0	48%	25%	0,2%	27%
Pastagem	76	4,9	2.044,8	969,7	588,5	1,8	484,9	47%	29%	0,1%	24%
Silvicultura	78	0,2	2.044,8	982,8	634,9	3,9	423,1	48%	31%	0,2%	21%
Corpo d'água Continental	100	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpo d'água Litorâneo	100	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 82,8	2.044,8	916,4	778,0	0,9	349,6	45%	38%	0%	17%

Quadro 5.9 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Cubatão.

Cubatão Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Áreas de Extração Mineral	90	0,6	2.449,9	941,4	1.157	0,0	351,4	38%	47%	0,0%	14%
Áreas urbanizadas	86	16,5	2.449,9	959,6	934,6	0,3	555,5	39%	38%	0,0%	23%
Campestre	73	2,3	2.449,9	978,6	520,5	5,7	945,2	40%	21%	0,2%	39%
Cultura Permanente	83	7,5	2.449,9	974,2	846,6	2,1	627,0	40%	35%	0,1%	26%
Cultura Temporária	79	10,5	2.449,9	974,0	676,0	2,5	797,4	40%	28%	0,1%	33%
Floresta	72	272,0	2.449,9	978,4	496,5	5,4	969,6	40%	20%	0,2%	40%
Pastagem	75	54,0	2.449,9	974,8	580,4	2,8	891,9	40%	24%	0,1%	36%
Silvicultura	78	24,7	2.449,9	978,3	654,0	5,2	812,4	40%	27%	0,2%	33%
Corpo d'água Continental	100	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpo d'água Litorâneo	100	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 392,4	2.449,9	976,8	549,6	4,7	918,8	40%	22%	0,2%	38%

Quadro 5.10 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Itapocuzinho.

Itapocuzinho Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Cultura Temporária	79	0,1	2.340,7	973,7	642,8	2,6	721,6	42%	27%	0,1%	31%
Floresta	70	118,7	2.340,7	977,1	433,5	4,5	925,7	42%	19%	0,2%	40%
Pastagem	75	2,3	2.340,7	975,6	540,1	3,7	821,4	42%	23%	0,2%	35%
Silvicultura	78	1,2	2.340,7	976,6	613,0	4,3	746,8	42%	26%	0,2%	32%
Corpo d'água Continental	100	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 123,0	2.340,7	977,0	437,5	4,5	921,8	42%	19%	0,2%	39%

Quadro 5.11 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Palmital.

Palmital Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Áreas urbanizadas	81	2,2	2.356,8	946,1	793,1	0,3	617,3	40%	34%	0,0%	26%
Cultura Permanente	84	0,8	2.356,8	965,6	878,9	1,7	510,6	41%	37%	0,1%	22%
Cultura Temporária	79	2,7	2.356,8	967,2	706,2	2,2	681,2	41%	30%	0,1%	29%
Floresta	70	58,8	2.356,8	967,6	489,8	2,8	896,5	41%	21%	0,1%	38%
Pastagem	74	32,3	2.356,8	963,5	582,3	1,7	809,3	41%	25%	0,1%	34%
Silvicultura	78	0,6	2.356,8	971,0	684,7	3,8	697,2	41%	29%	0,2%	30%
Corpo d'água Continental	100	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpo d'água Litorâneo	100	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 99,5	2.356,8	965,7	537,7	2,4	850,9	41%	23%	0,1%	36%

Quadro 5.12 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Paraná.

Paraná	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Uso e Ocupação											
Floresta	70	0,2	2.340,7	963,7	440,0	5,6	931,5	41%	19%	0,2%	40%
Pastagem	75	0,6	2.340,7	961,6	540,1	3,8	835,2	41%	23%	0,2%	36%
Silvicultura	78	0,1	2.340,7	962,6	617,7	4,6	755,8	41%	26%	0,2%	32%
Corpo d'água Continental	100	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 0,9	2.340,7	962,2	521,9	4,3	852,3	41%	22%	0,2%	36%

Quadro 5.13 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia do Pirai.

Pirai	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Uso e Ocupação											
Áreas de Extração Mineral	91	0,5	2.408,0	974,8	1.180	0,8	252,9	40%	49%	0,0%	11%
Áreas urbanizadas	84	16,0	2.408,0	983,3	861,6	0,8	562,4	41%	36%	0,0%	23%
Campestre	75	0,0	2.408,0	1.009	562,6	5,8	830,6	42%	23%	0,2%	34%
Cultura Permanente	84	5,8	2.408,0	1.003	861,9	3,4	539,7	42%	36%	0,1%	22%
Cultura Temporária	82	40,7	2.408,0	1.003	765,2	2,9	637,3	42%	32%	0,1%	26%
Floresta	72	196,3	2.408,0	1.008	505,2	4,7	890,3	42%	21%	0,2%	37%
Pastagem	76	42,8	2.408,0	1.004	608,6	3,0	792,3	42%	25%	0,1%	33%
Silvicultura	78	6,0	2.408,0	1.007	658,9	4,4	737,6	42%	27%	0,2%	31%
Corpo d'água Continental	100	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 310,4	2.408,0	1.005	583,1	4,0	815,7	42%	24%	0,2%	34%

Quadro 5.14 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia Independentes da Vertente Leste.

Vertente Leste Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Áreas urbanizadas	90	18,3	2.107,9	836,1	1.078	0,0	194,2	40%	51%	0,0%	9%
Cultura Temporária	75	0,0	2.107,9	972,0	594,9	3,0	538,0	46%	28%	0,1%	26%
Floresta	73	29,6	2.107,9	946,7	549,3	0,8	611,1	45%	26%	0,0%	29%
Pastagem	77	4,8	2.107,9	948,9	637,1	1,1	520,8	45%	30%	0,1%	25%
Corpo d'água Continental	100	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpo d'água Litorâneo	100	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 53,8	2.107,9	908,6	740,4	0,5	458,4	43%	35%	0%	22%

Quadro 5.15 Síntese do Balanço Hídrico no Solo Anual (1987-2014) na Bacia Independentes da Vertente Sul.

Vertente Sul Uso e Ocupação	CN	Área (km ²)	P (mm)	ETR (mm)	ES (mm)	ΔS (mm)	R (mm)	% da Precipitação			
								ETR	ES	ΔS	R
Áreas de Extração Mineral	92	0,2	1.994,2	851,5	1.105	0,9	37,2	43%	55%	0,0%	2%
Áreas urbanizadas	87	7,9	1.994,2	888,3	878,2	0,0	227,8	45%	44%	0,0%	11%
Cultura Temporária	69	0,1	1.994,2	968,1	413,4	1,2	611,7	49%	21%	0,1%	31%
Floresta	72	22,4	1.994,2	945,8	470,5	0,5	577,5	47%	24%	0,0%	29%
Pastagem	75	7,8	1.994,2	949,8	529,6	0,7	514,2	48%	27%	0,0%	26%
Silvicultura	75	3,3	1.994,2	941,2	529,5	0,5	523,0	47%	27%	0,0%	26%
Corpo d'água Continental	100	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corpo d'água Litorâneo	100	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média Ponderada	-	Σ 42,7	1.994,2	934,9	566,0	0,4	492,8	47%	28%	0,0%	25%

Os gráficos de precipitação *versus* recarga média calculada pelo balanço hídrico no solo nos anos de 1987 a 2014 são apresentados na Figura 5.9; através dos quais é possível entender o comportamento da recarga com relação às variações na precipitação, por bacia hidrográfica.

Tomando como exemplo o caso da bacia Itapocuzinho, na qual foi observado o resultado mais expressivo de recarga média anual, no valor de 921,8 mm, que corresponde a 39% da precipitação média

anual: percebe-se pelo gráfico apresentado na Figura 5.9 que a variação na precipitação, ao longo dos 28 anos de dados deste estudo, foi de em torno de 1.600 mm a 3.300 mm, e a variação na recarga foi em torno de 400 mm a 1.600 mm. Este resultado evidencia a importância de entender a recarga não como um valor fixo, mas como uma função de outras variáveis, neste caso, da precipitação. A linha pontilhada apresenta a tendência da relação precipitação anual x recarga; para o caso de Itapocuzinho, anos com precipitação no entorno de 1.000mm tem uma tendência de não produzir recarga natural.

Os valores de recarga natural média anual por tipologia de uso e ocupação do solo, assim como por bacia hidrográfica, estão apresentados na Figura 5.10 e na Figura 5.11.

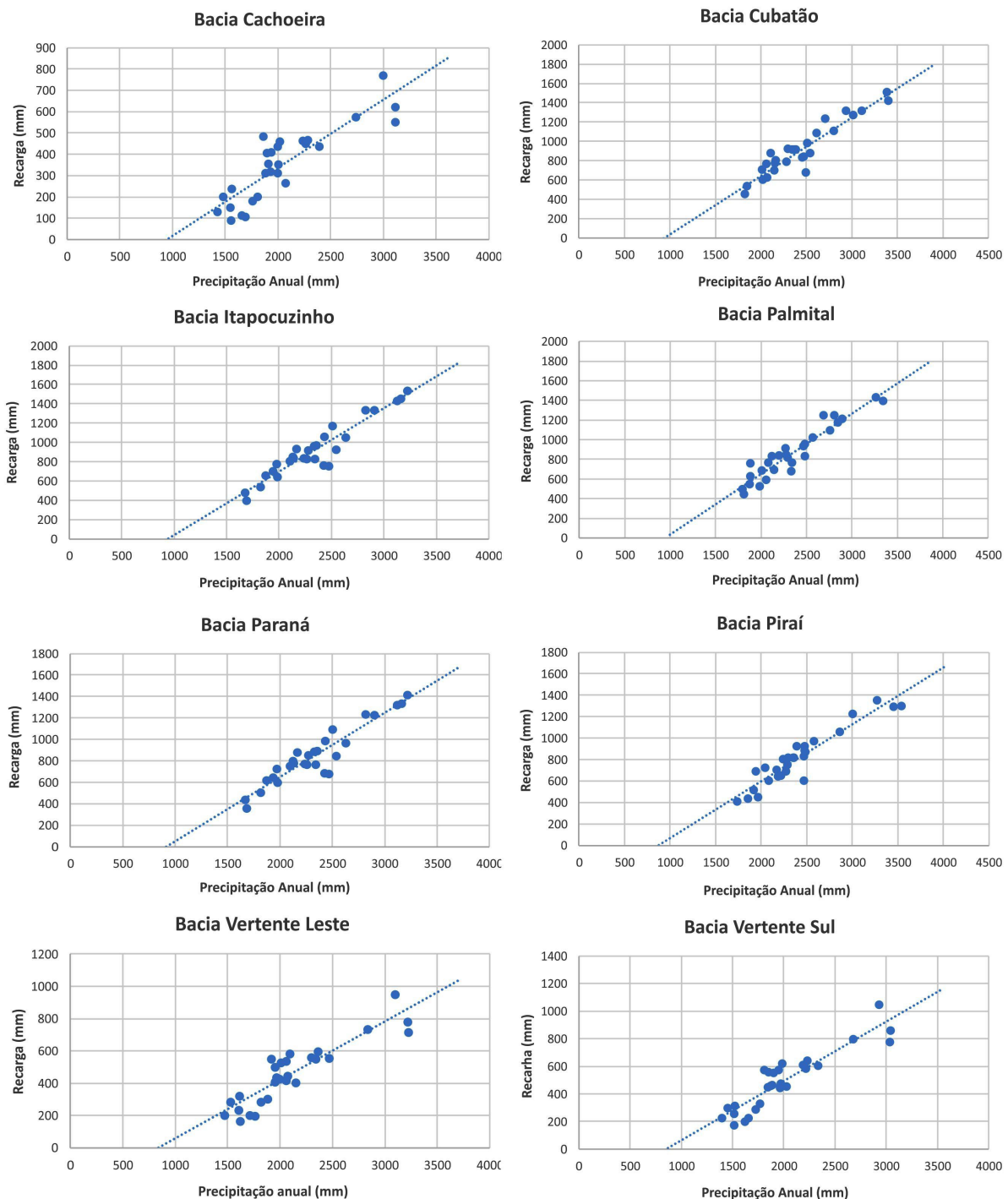


Figura 5.9 Relação entre a precipitação anual e a recarga anual para as bacias hidrográficas de Joinville.

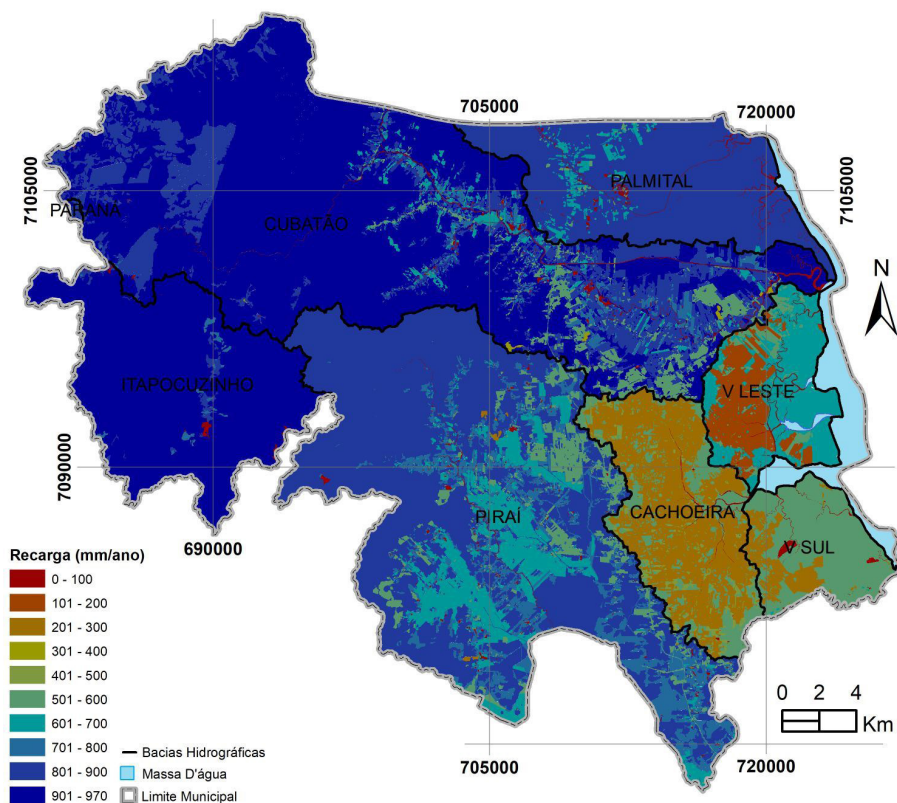


Figura 5.10 Mapa de Recarga Média Anual Natural por uso e ocupação, em mm.

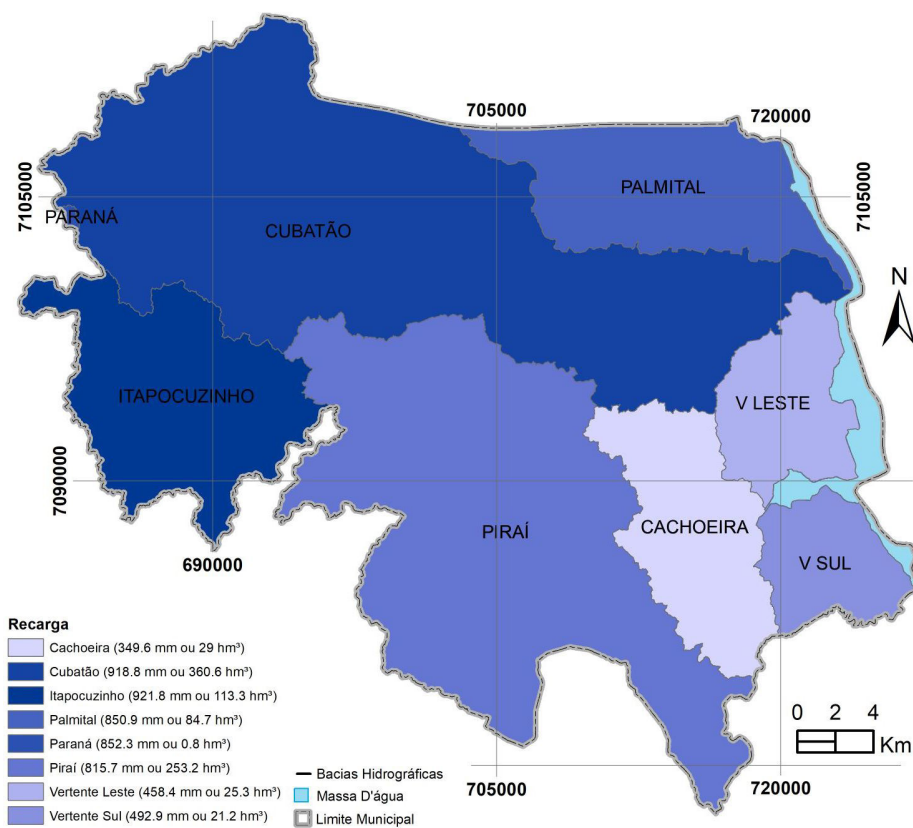


Figura 5.11 Mapa de Recarga Média Anual Natural por Bacia Hidrográfica, em mm e hm³.

5.4.5 Recarga Urbana

Conforme descrito na metodologia, as estimativas de recarga urbana foram calculadas levando em consideração as perdas por comprimento de rede água e esgoto; no Quadro 5.16 estão apresentados os comprimentos de rede de água - esgoto, e a diferença, a qual foi utilizada para o cálculo da perda em locais onde não há rede coletora de esgoto. Observa-se que a bacia Cachoeira possui a maior extensão de rede de distribuição de água e coletora de esgoto, seguida pelas bacias Vertente Leste, Cubatão, Piraí, Vertente Sul e Palmital; nas bacias Itapocuzinho e Paraná não existem registros de redes de água e/ou esgoto, conforme informações da CAJ.

Quadro 5.16 Comprimento de redes por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Rede de água (m)	Rede de esgoto (m)	Rede água - Rede de esgoto (m)
Cachoeira	1.108.591	393.857	590.332
Cubatão	323.743	16.853	371.160
Itapocuzinho	0	0	0
Palmital	15.373	382	18.471
Paraná	0	0	0
Piraí	255.138	84.032	149.253
Vertente Leste	341.371	30.523	365.549
Vertente Sul	208.124	27.923	204.005
Σ Comprimento de Rede	2.252.340	553.570	1.698.770

De posse dos comprimentos de rede em cada bacia hidrográfica, foi calculado o volume total perdido; no Quadro 5.17 estão apresentados os volumes de água distribuída e esgoto coletado no ano de 2019 (SNIS, 2019), o volume de esgoto não coletado (que corresponde ao volume que chegou nas residências (SNIS, 2019) multiplicado pelo coeficiente de retorno de 80% e subtraído o volume de esgoto coletado) e os volumes perdidos. Conforme levantamento com a CAJ, estima-se que a perda real na rede de distribuição de água seja de 35%; a perda real na rede coletora de esgoto foi adotada como 10%, conforme descrito na metodologia. Com relação ao esgoto não coletado a totalidade do volume gerado é perdida, já que este volume é integralmente disposto no solo. A perda de água por comprimento de rede (m^3/m) é obtida a partir da relação entre volume perdido e comprimento de rede.

Quadro 5.17 Dados para o cálculo da perda por comprimento de rede (m^3/m).

	Água distribuída	Esgoto Coletado	Esgoto não coletado
Volume (m^3)	65.131.000	9.072.000	19.405.600
Comprimento de rede (m)	2.252.340	553.570	1.698.770 *
Volume perdido (m^3)	23.008.307	907.200	19.405.600
Perda da rede (m^3/m)	10,22	1,64	11,4 *

Os valores de recarga urbana média anual por bacia hidrográfica ponderados pela área da bacia estão apresentados no Quadro 5.18, na Figura 5.12 e na Figura 5.13. Como era esperado, os maiores valores de recarga urbana são observados na bacia do Cachoeira e Vertente Leste. As bacias Itapocuzinho e Paraná não apresentam contribuição da recarga de origem urbana, já que não possuem registros de redes de água e/ou esgoto.

Quadro 5.18 Síntese das recargas médias naturais e urbanas por bacia hidrográfica (mm/ano).

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Recarga Rede de Água (mm/ano)	Recarga Rede de Esgoto (mm/ano)	Recarga Esgoto Não Coletado (mm/ano)	Recarga Urbana Total (mm/ano)
Cachoeira	82,8	136,3	7,8	81,2	225,3
Cubatão	392,4	8,4	0,1	10,8	19,2
Itapocuzinho	123,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Palmital	99,5	1,6	0,0	2,1	3,7
Paraná	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Piraí	310,4	8,4	0,4	5,5	14,3
Vertente Leste	53,8	63,2	0,9	75,7	139,8
Vertente Sul	42,7	49,5	1,1	54,3	104,8

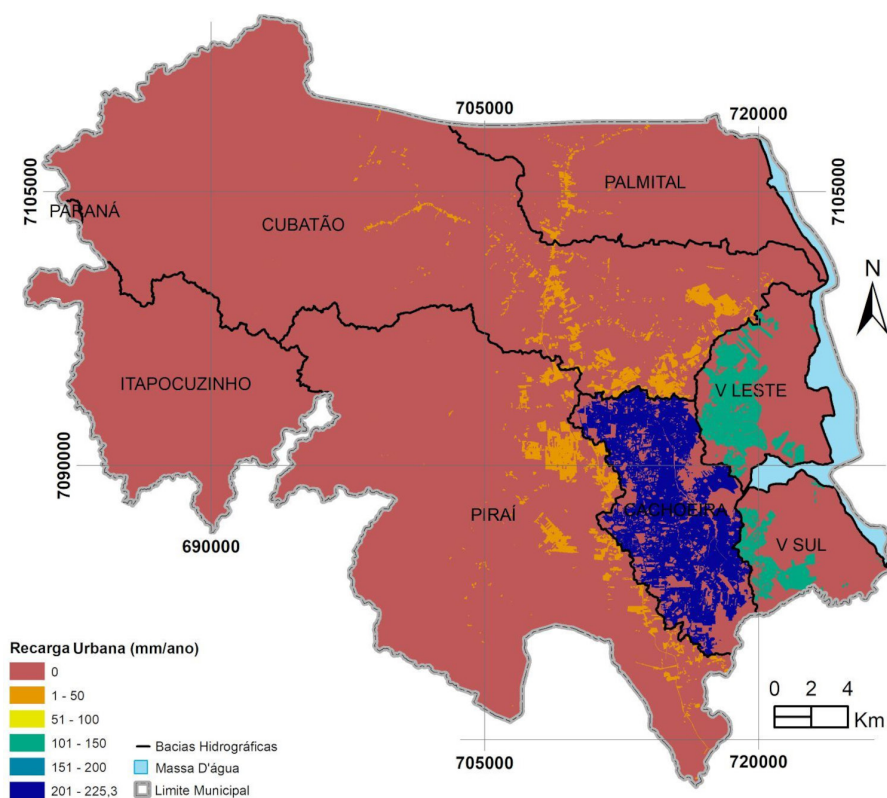


Figura 5.12 Mapa de Recarga Média Anual Urbana por uso e ocupação urbano, em mm.

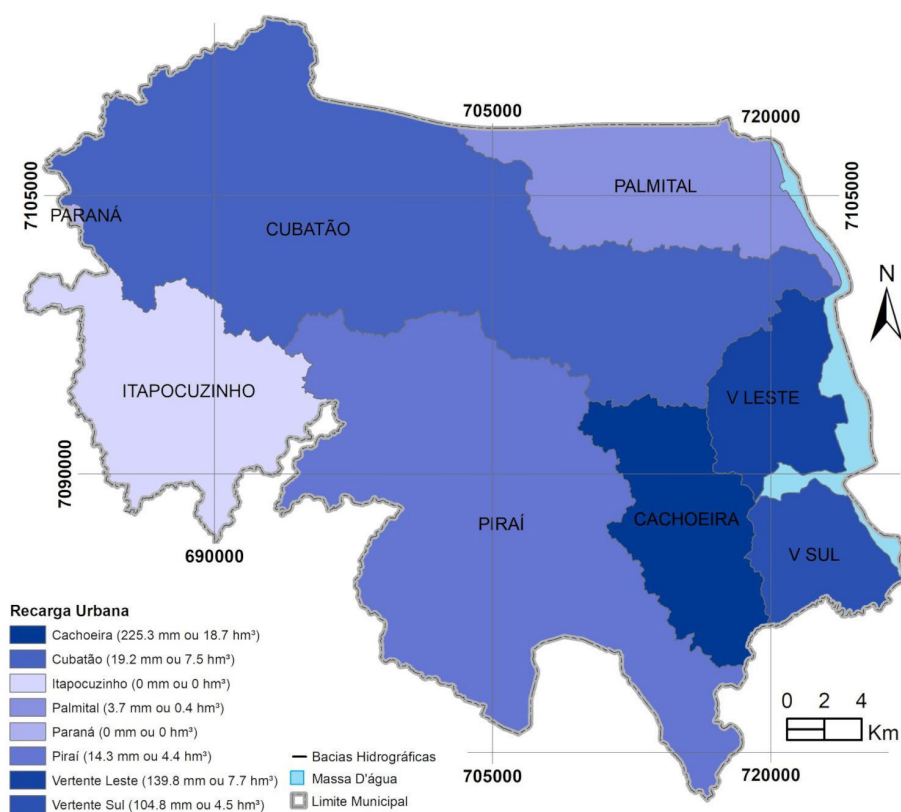


Figura 5.13 Mapa de Recarga Média Anual Urbana por Bacia Hidrográfica, mm e hm³.

5.4.6 Recarga Total

Os valores de recarga total média anual correspondem à soma das recargas médias natural e urbana, por uso e ocupação e por bacia hidrográfica; estão sintetizados no Quadro 5.19 e apresentados na Figura 5.14 e na Figura 5.15.

Quadro 5.19 Síntese das recargas médias naturais e urbanas por bacia hidrográfica (mm/ano e hm³/ano).

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Recarga Natural Balanço Hídrico (mm/ano)	Recarga Natural Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	Recarga Urbana (mm/ano)	Recarga Urbana (hm ³ /ano)	Recarga Total (mm/ano)	Recarga Total (hm ³ /ano)
Cachoeira	82,8	349,6	28,9	225,3	18,7	574,8	47,6
Cubatão	392,4	918,8	360,5	19,2	7,5	938,0	368,1
Itapocuzinho	123,0	921,8	113,4	0,0	0,0	921,8	113,4
Palmital	99,5	850,9	84,7	3,7	0,4	854,6	85,0
Paraná	0,9	852,3	0,8	0,0	0,0	852,3	0,8
Piraí	310,4	815,7	253,2	14,3	4,4	830,0	257,6
Vertente Leste	53,8	458,4	24,7	139,8	7,7	598,2	32,4
Vertente Sul	42,7	492,8	21,0	104,8	4,5	597,6	25,5

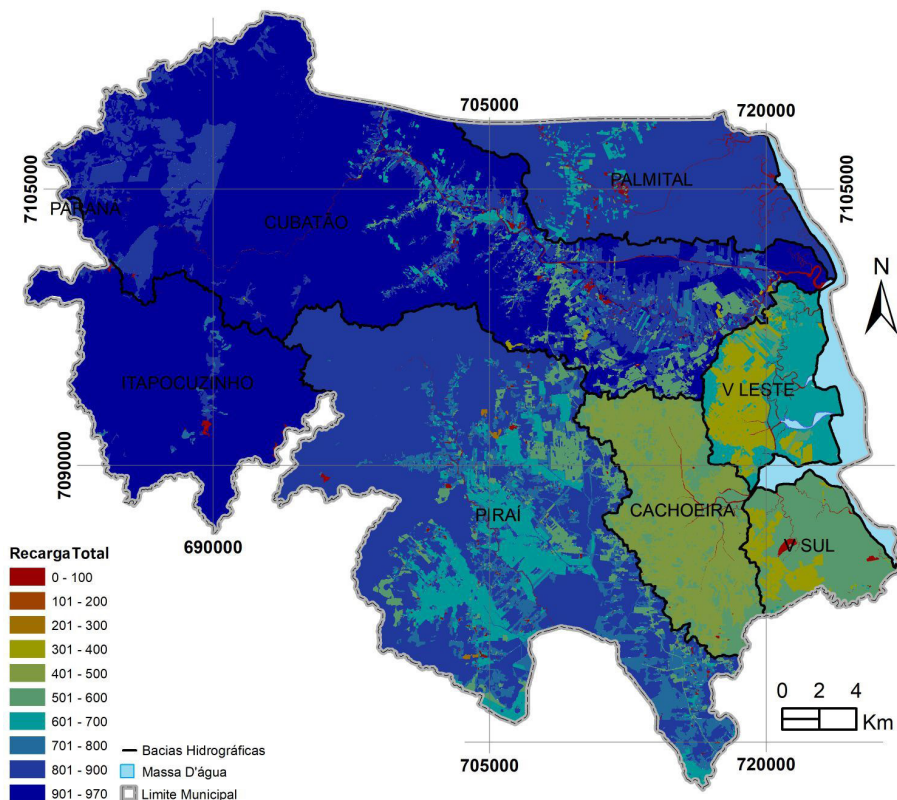


Figura 5.14 Mapa de Recarga Total Média Anual por uso e ocupação, em mm.

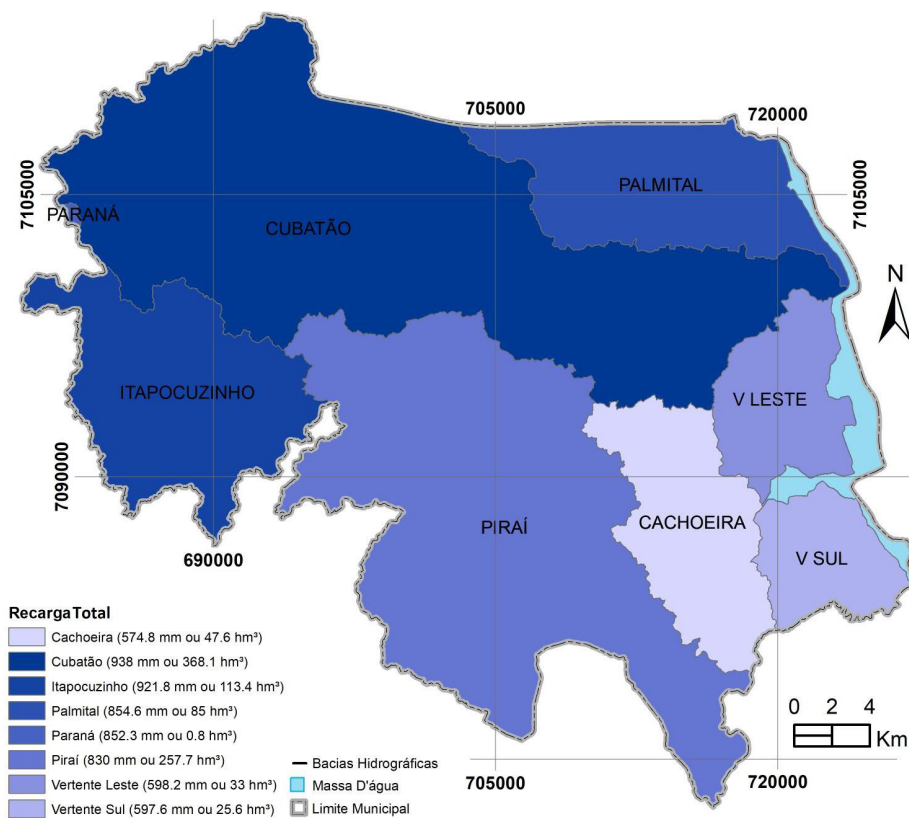


Figura 5.15 Mapa de Recarga Total Média Anual por Bacia Hidrográfica, em mm e hm³.

5.5 Conclusões

O fato de não existirem séries históricas com dados de monitoramento hidrológico suficientes, principalmente pluviométricos, para embasar espacialmente a caracterização hidrológica do município, norteou a escolha da metodologia do balanço hídrico no solo para cálculo da recarga. Destaca-se a importância no monitoramento contínuo e consistente das variáveis hidrológicas e meteorológicas, as quais podem subsidiar estudos e tomadas de decisão no âmbito do uso e gestão dos recursos hídricos.

Ressalta-se que as recargas naturais obtidas através do balanço hídrico do solo, apresentadas neste relatório, fornecem estimativas preliminares e foram calculadas com base em um período específico de dados, de 1987 a 2014. Os resultados mostram as relações entre os volumes acumulados anuais de precipitação e a recarga, podendo ser utilizados como ferramenta de apoio à gestão na quantificação das reservas hídricas naturais no município.

As recargas urbanas foram estimadas com base em dados oficiais fornecidos para o ano de 2019; destaca-se ainda que recarga urbana é variável no tempo, respondendo às mudanças no uso da terra, padrões de consumo e na infraestrutura de subsuperfície.

A partir da aplicação da metodologia de balanço hídrico nas oito bacias hidrográficas, observou-se os maiores valores de recarga na tipologia de uso e ocupação do solo de floresta, sendo importante a preservação e a manutenção das áreas potencialmente mais favoráveis a recarga. No caso das áreas urbanas, deve-se observar a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos a partir da infiltração de esgoto sanitário.



6. ISOTOPIA

6.1 Introdução

O presente capítulo apresenta os resultados do estudo isotópico das águas do município de Joinville. Tratam-se de resultados primários – inéditos – e que buscam complementar as demais informações obtidas sobre as dinâmicas das águas no âmbito do referido município.

6.2 Isótopos Ambientais

Os isótopos estáveis (especificamente o ^{18}O e o ^2H) fornecem informações importantes sobre as dinâmicas das águas e o ciclo hidrológico propriamente dito. Informações sobre origem das recargas e sua relação com as respectivas origens da umidade que resultam em chuvas podem ser avaliadas com o uso destes traçadores. Da mesma forma, eventuais diferenças das assinaturas podem estar associadas a diferentes fontes de recarga e/ou diferenças de tempo de residência destas águas que remetem a paleoclimas pretéritos.

A recarga de águas subterrâneas e sua inter-relação com as águas superficiais e águas pluviométricas, representam mecanismos hidrológicos fundamentais, sendo seu conhecimento importante para o gerenciamento de recursos hídricos. Nesse sentido, o uso de isótopos estáveis permite aprimorar as principais compreensões desses mecanismos. Os isótopos são frequentemente utilizados como traçadores em estudos hidrológicos, justamente por serem de caráter intrínseco à dinâmica química e física das águas e componentes naturais do meio ambiente, não necessitando da adição de substâncias superficiais. Particularmente deutério e oxigênio-18 (^2H e ^{18}O), por serem constituintes da molécula da água, são considerados traçadores ideais do fluxo de água quando comparados a outros traçadores iônicos como brometo ou cloreto, por exemplo (STUMPP *et al.*, 2009a, b; STUMPP; STCHILER; MALOSZEWISKI, 2009).

Estas informações são indispensáveis para a melhor compreensão do ciclo hidrológico como um todo. A molécula de água, presente na chuva, carrega consigo o que se denomina de “assinatura” isotópica, a qual é utilizada para determinar a origem e movimento da água no ciclo hidrológico. Os isótopos são átomos do mesmo elemento com variações em sua massa. As frações dos diferentes isótopos de hidrogênio e oxigênio presentes na água das chuvas variam no tempo e no espaço devido a processos físicos e químicos, como por exemplo, a evaporação e a condensação, e em virtude de variáveis meteorológicas, como por exemplo, a temperatura do ar e totais precipitados.

Em função do acima exposto é fundamental ter-se conhecimento das assinaturas isotópicas das águas de chuva. O monitoramento isotópico das chuvas vem sendo constantemente desenvolvido desde 1960 por meio da rede global de monitoramento isotópico de chuvas GNIP (*Global Network for Isotopes in Precipitation*) apoiado e mantido pela AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica). A rede GNIP permite acumular dados espaciais e temporais de concentrações de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ (Deutério), e, em alguns casos, ^3H (Trítio), na precipitação a partir de amostras acumuladas mensais. A estação GNIP mais próxima de Joinville está localizada na sede do SGB-CPRM na cidade de Porto Alegre – RS.

6.3 Referência Isotópica de Chuva

É importante mencionar a existência e o conteúdo de dados isotópicos da chuva coletada em Porto Alegre – RS, as quais podem ser acessadas mediante registro no sistema WISER da AIEA. Este monitoramento cobriu os períodos de 1957 a 1983, com coletas acumuladas mensais parciais, ou seja, com lapsos de medição, para isótopos estáveis ($\delta^{18}\text{O}$ e $^2\text{H}\delta$) e $^3\text{H}\delta$ - trítio. A estação GNIP (codificada 8396700 no WMO Code) localizava-se nas coordenadas (-30,8° S, -51,18° E) a 07 m de elevação. Os provedores

das informações analíticas foram: AIEA, Viena (Áustria), Universidade de Copenhague (Dinamarca), e Universidade de Ciência e Tecnologia (AGH), em Cracóvia (Polônia). A estação GNIP de Porto Alegre é a mais próxima de Joinville, razão básica para sua adoção. A atual rede de monitoramento isotópico operada pelo SGB-CPRM, reinaugurada em 2018, ainda não contempla estações no litoral Catarinense. Novas estações estão previstas para o período de 2021 a 2024 de forma a dotar o país de uma melhor cobertura nacional.

Os valores de δ^2H e $\delta^{18}O$ são gerados por espectrometria de massa ou por espectroscopia de absorção a laser como sendo razões $^2H/^1H$ e $^{18}O/^{16}O$. São expressos na unidade permil (‰), que representa o quanto a razão isotópica de uma amostra específica desvia da razão isotópica do padrão (normalmente o mais utilizado é conhecido como VSMOW – Padrão de Viena da Média das Águas do Oceano), conforme a notação conhecida como delta (δ^2H e $\delta^{18}O$). As medições possuem uma precisão de cerca de $\pm 0.1\%$ para Oxigênio e $\pm 0.8\%$ para Deutério para um desvio padrão de uma unidade.

A Equação 6.1 ilustra uma relação reconhecida por Craig (1961), obtida a partir da medição de ^{18}O e 2H das águas meteóricas em estações localizadas ao redor do mundo. Ela demonstra a correlação entre os dois isótopos em escala global, cuja reta resultante é denominada GMWL, com regressão correspondente a:

$$\delta^2H = 8(\delta^{18}O) + 10$$

*Equação 6.1
(Regressão Linear pelo
Método dos Mínimos Quadrados)*

Esta reta fornece uma referência para a interpretação e proveniência de águas subterrâneas. A observação essencial é que águas isotopicamente empobrecidas são associadas a regiões frias, sendo que águas enriquecidas são encontradas em regiões quentes. Para a estação GNIP-POA, a correlação dos dados de todo o período histórico da fase de medição compreendida entre 1957 e 1983 (envolvendo 172 pares de dados), fornece as regressões caracterizadas pelas Equações 6.2, 6.3 e 6.4:

$$\delta^2H = 7,67(\delta^{18}O) + 10,59$$

*Equação 6.2
(Regressão Linear pelo
Método dos Mínimos Quadrados)*

$$\delta^2H = 8,04(\delta^{18}O) + 12,38$$

*Equação 6.3
(Regressão Ortogonal)*

$$\delta^2H = 7,55(\delta^{18}O) + 10,24$$

*Equação 6.4
(Regressão Linear pelo Método dos Mínimos
Quadrados Ponderada pela Precipitação)*

Adotando-se a Equação 6.2 como representativa da Reta Meteórica Local, o coeficiente angular de valor 7,67 é invariante, mas o coeficiente linear é representado por um parâmetro denominado de

Excesso de Deutério (D), proposto por Dansgaard (1964). Trata-se de uma variável controlada por efeitos cinéticos associados com a evaporação da água na superfície dos oceanos ou continentes e aumenta com o déficit de umidade nas massas de ar oceânicas (MERLIVAT; JOUZEL, 1979). A ideia principal é que as chuvas em meses de verão apresentam valores mais elevados do que as chuvas relacionadas a meses de inverno, devido a diferenças na temperatura sazonal do ar.

Variações temporais e espaciais nas razões isotópicas na precipitação são causadas pelos efeitos de fracionamento que acompanham a evaporação e a condensação do vapor durante o transporte atmosférico de vapor d'água (DANSGAARD, 1964), sendo controlada primariamente por processos em escala regional, isto é, por padrões de transporte de vapor d'água para os continentes, e pela composição média das precipitações CRUZ-SAN, *et al.*, 1992). O excesso de deutério (d) representa um parâmetro de segunda ordem que indica o “desvio” de amostras locais em comparação com a linha meteórica global (BATISTA *et al.*, 2018). A análise dos valores de excesso de deutério pode ser uma importante ferramenta, uma vez que esses podem estar correlacionados com as condições de origem do vapor d'água e a natureza das massas de ar antes da precipitação, sendo, portanto, sensível às condições climáticas existentes. A magnitude de *d* é controlada pela região de origem do processo de evaporação, principalmente pela umidade relativa sobre a superfície de evaporação e a velocidade do vento (JULIAN *et al.*, 1992).

Na maioria dos casos, a composição isotópica da água subterrânea numa bacia hidrográfica reflete a média de longo prazo das chuvas na área. Em outros casos desvios importantes em relação à composição das chuvas são notados. Considerando-se que apenas uma pequena porcentagem da precipitação chega de fato ao lençol freático, a composição isotópica da água subterrânea pode ser modificada significativamente em relação à linha meteórica local. Evaporação e outros processos também podem modificar a composição isotópica das águas subterrâneas (FRITZ; CLARK, 1997). Essa transferência precisa ser entendida em estudos sobre a proveniência da água subterrânea, e pode também esclarecer os mecanismos de recarga.

Os dados isotópicos de chuva registrados na cidade de Porto Alegre estão ilustrados na Figura 6.1 e na Figura 6.2.

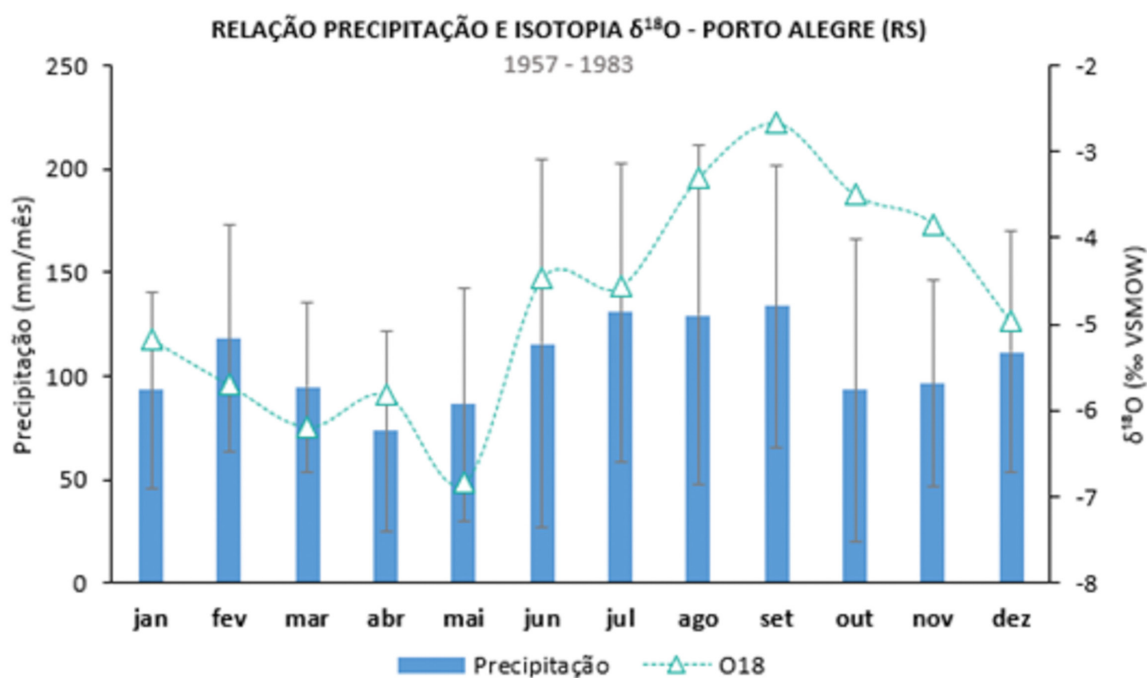


Figura 6.1 Relação entre precipitação pluviométrica e $\delta^{18}\text{O}$ na estação de Porto Alegre entre 1957 e 1983.

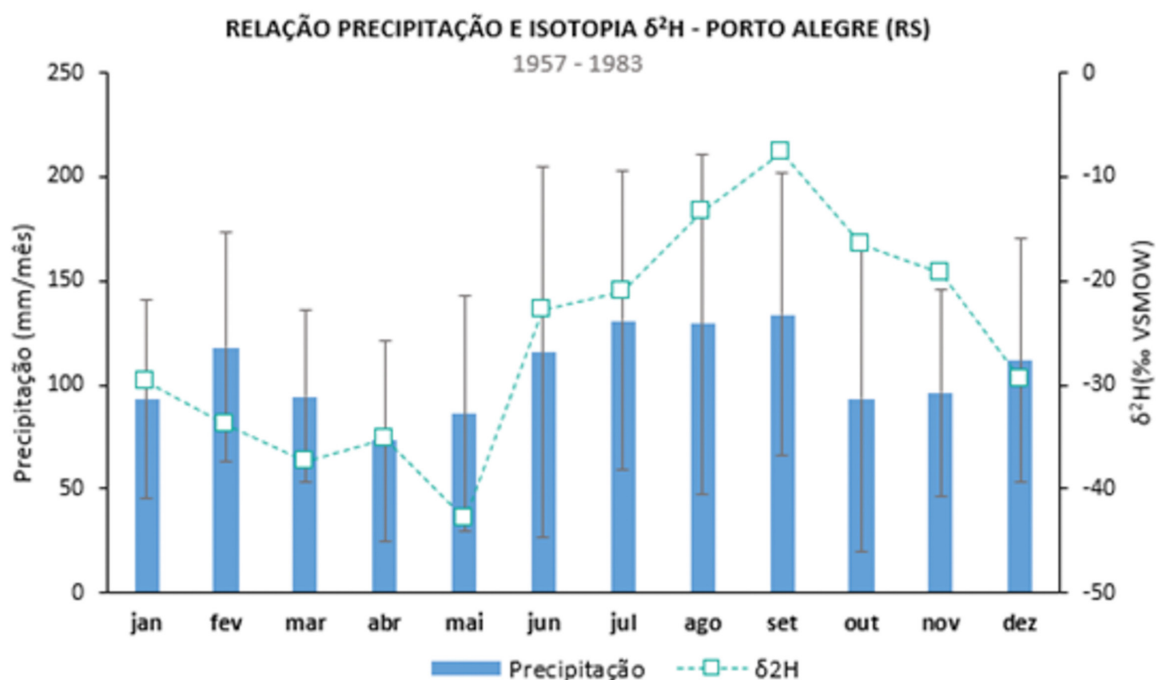


Figura 6.2 Relação entre precipitação pluviométrica e $\delta^2\text{H}$ na estação de Porto Alegre entre 1957 e 1983.

6.4 Resultados Isotópicos de Joinville

6.4.1 Dados Coletados

Foram analisadas amostras isotópicas referentes às águas subterrâneas, coletadas em poços tubulares, poços escavados, poços de pequeno diâmetro (ponteiras), captações de fontes, e referentes às águas superficiais coletadas em rios, mangues, e por fim, águas de chuva. Os resultados brutos estão dispostos na Tabela 6.1. Os dados brutos permitem o desenvolvimento de correlações e operações entre as variáveis, cujo resultado e padrão auxiliam na interpretação e uso dos dados isotópicos como informação complementar para iniciativas diversas de caráter climático ambiental.

Tabela 6.1 Dados Isotópicos das amostras de água subterrânea e superficial coletadas em Joinville.

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	Tipo de Captação	Aquífero	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Excesso de Deutério (‰)
Barragem Rio Cubatão	Superficial	Água de Rio	-	-15,50	-4,09	17,22
Caminho Curto	Superficial	Água de Rio	-	-12,20	-3,60	16,6
Estrada Arataka	Superficial	Água de Rio	-	-9,00	-2,55	11,4
Guanabara	Superficial	Água de Rio/ Mangue	-	-9,50	-2,62	11,46
JAP004	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-18,00	-4,26	16,08

continua...

...continuação

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	Tipo de Captação	Aquífero	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Excesso de Deutério(‰)
JAP007	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-15,30	-3,58	13,34
JAP010	Superficial	Fonte Natural	Granular	-14,90	-4,07	17,66
JAP016	Subterrânea	Poço Escavado	Granular	-17,90	-3,95	13,7
JAP019	Superficial	Fonte Natural	Granular	-17,70	-4,00	14,3
JAP030	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-13,80	-3,64	15,32
JAP031	Subterrânea	Poço Escavado	Granular	-5,80	-2,60	15
JAP044	Subterrânea	Poço Escavado	Granular	-17,40	-4,11	15,48
JAP046	Superficial	Fonte Natural	Granular	-16,60	-4,17	16,76
JAP049	Superficial	Fonte Natural	Granular	-14,80	-3,78	15,44
JAP051	Subterrânea	Poço Tubular	Faturado	-20,20	-4,44	15,32
JAP057	Subterrânea	Poço Tubular	Misto	-17,80	-4,06	14,68
JAP058	Subterrânea	Poço Tubular	Faturado	-17,40	-3,84	13,32
JAP062	Subterrânea	Poço Tubular	Misto	-20,80	-4,61	16,08
JAP069	Superficial	Fonte Natural	Granular	-23,50	-5,36	19,38
JAP069 A-35	Superficial	Fonte Natural	Granular	-23,70	-5,26	18,38
JAP072	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-23,70	-5,14	17,42
JEB048	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-20,50	-4,41	14,78
JEB059	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-18,00	-4,04	14,32
JEI002	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-14,40	-3,78	15,84
JEL030	Subterrânea	Poço Escavado	Granular	-17,40	-3,81	13,08
JEL032	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-14,80	-3,65	14,4
JEL040	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-20,00	-4,62	16,96
JEP008	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-19,30	-4,45	16,3
JGB007	Subterrânea	Poço Tubular	Faturado	-20,40	-4,57	16,16
JGB008	Subterrânea	Poço Tubular	Misto	-19,70	-4,20	13,9
JGB012	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-17,00	-3,72	12,76
JGB013	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-17,70	-4,01	14,38
JGB038	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-18,30	-2,84	4,42
JGB045	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-21,80	-4,52	14,36

continua...

...continuação

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	Tipo de Captação	Aquífero	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Excesso de Deutério(‰)
JIP012	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-21,60	-4,48	14,24
JIP002	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-20,80	-4,62	16,16
JIP003	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-21,10	-4,51	14,98
JIP013	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-20,30	-4,50	15,7
JIP014	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-19,60	-4,40	15,6
JIP018	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-15,60	-3,62	13,36
JIP027	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-18,10	-4,10	14,7
JIP028	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-21,10	-4,49	14,82
JIP029	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-19,50	-4,21	14,18
JIP030	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-19,70	-4,49	16,22
JIP031	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-23,20	-4,56	13,28
JIP036	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-18,00	-3,99	13,92
JIP040	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-18,70	-4,54	17,62
JIP053	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-18,80	-4,21	14,88
JIP054	Subterrânea	Poço Tubular	Misto	-20,20	-4,54	16,12
JMB008	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-21,40	-3,30	5
JMB009	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-21,30	-3,39	5,82
JMB030	Subterrânea	Poço Escavado	Granular	-16,80	-3,29	9,52
JMB033	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-19,50	-4,10	13,3
JMB034	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-22,00	-4,81	16,48
JMB035	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-18,00	-3,76	12,08
JMB036	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-20,40	-4,48	15,44
JML 010 - A55	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-18,60	-4,00	13,4
JML 010 -A	Subterrânea	Poço Tubular	Granular	-18,70	-4,24	15,22
JML004	Subterrânea	Fonte Natural	Granular	-16,00	-4,30	18,4
JML005	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-18,00	-4,21	15,68
JML007	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-20,70	-4,44	14,82
JML009	Subterrânea	Poço Tubular	Fraturado	-16,90	-4,05	15,5
JML039	Subterrânea	Poço Ponteira	Granular	-20,30	-4,16	12,98
JML042	Subterrânea	Poço Tubular	Indefinido	-18,60	-4,22	15,16

continua...

...continuação

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	Tipo de Captação	Aquífero	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Excesso de Deutério(‰)
Le Village - Chuva 01	Meteórica	Água de Chuva	-	15,10	-0,49	19,02
Le Village - Chuva 02	Meteórica	Água de Chuva	-	-3,20	-3,39	23,92
MF001	Superficial	Água de Rio	-	-20,60	-4,80	17,8
MF002	Superficial	Água de Rio	-	-20,30	-4,84	18,42
Nascente Morro B. Vista	Superficial	Água de Nascente	Granular	-16,10	-3,94	15,42
Ponte Rio Pirai	Superficial	Água de Rio	-	-11,20	-3,15	14
Quiriri	Superficial	Água de Rio	-	-17,40	-4,27	16,76
Rio Três Barras	Superficial	Água de Rio	-	-11,60	-3,61	17,28
Rua Alvino	Superficial	Água de Rio	-	-12,80	-3,80	17,6
Rua Minas Gerais	Superficial	Água de Rio	-	-5,30	-1,98	10,54
Rua Tuiuti	Superficial	Água de Rio	-	-13,40	-3,65	15,8
Saguaçu	Superficial	Água de Rio/ Mangue	-	-7,30	-2,71	14,38
Zoobotânico Lago	Superficial	Água de Lago	-	-5,60	-1,79	8,72

Com os dados acima apresentados, pode-se realizar uma análise descritiva dos isótopos estáveis em Joinville. Os dados para a água subterrânea apresentaram variação do valor de $\delta^{18}\text{O}$ de -5,14 a -2,60‰, com média de $-4,13 \pm 0,48$. Para $\delta^2\text{H}$ houve variação de -23,70 a -5,80‰, com média de $-18,81 \pm 2,78$. Enquanto os valores de excesso de deutério variaram de 4,42 a 18,40‰, com média de $14,30 \pm 2,70$. Os dados de água superficial apresentaram variação do valor de $\delta^{18}\text{O}$ de -5,36 a -1,79‰, com média de $-3,72 \pm 0,97$. Para $\delta^2\text{H}$ houve variação de -23,70 a -5,30‰, com média de $-14,24 \pm 5,30$. Enquanto os valores de excesso de deutério variaram de 8,72 a 19,38‰, com média de $15,49 \pm 2,87$ ‰. Os dados meteóricos, que são apenas dois até o momento, tiveram variação do valor de $\delta^{18}\text{O}$ de -3,39 a -0,49‰, com média de $-1,94 \pm 2,05$. Para $\delta^2\text{H}$ houve variação de -3,20 a -15,10‰, com média de $5,95 \pm 12,94$, enquanto os valores de exc-d variaram de 19,02 a 23,92‰, com média de $21,47 \pm 3,46$ ‰.

As amostras de água subterrânea foram distribuídas em mapas utilizando a técnica de *Kriging*. O método da krigagem ordinária foi utilizado para analisar de forma geoestatística as variáveis ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ e d-excess) na área de estudo. A Figura 6.3, a Figura 6.4 e a Figura 6.5 ilustram a distribuição espacial das assinaturas isotópicas na área circunscrita pelo perímetro municipal.

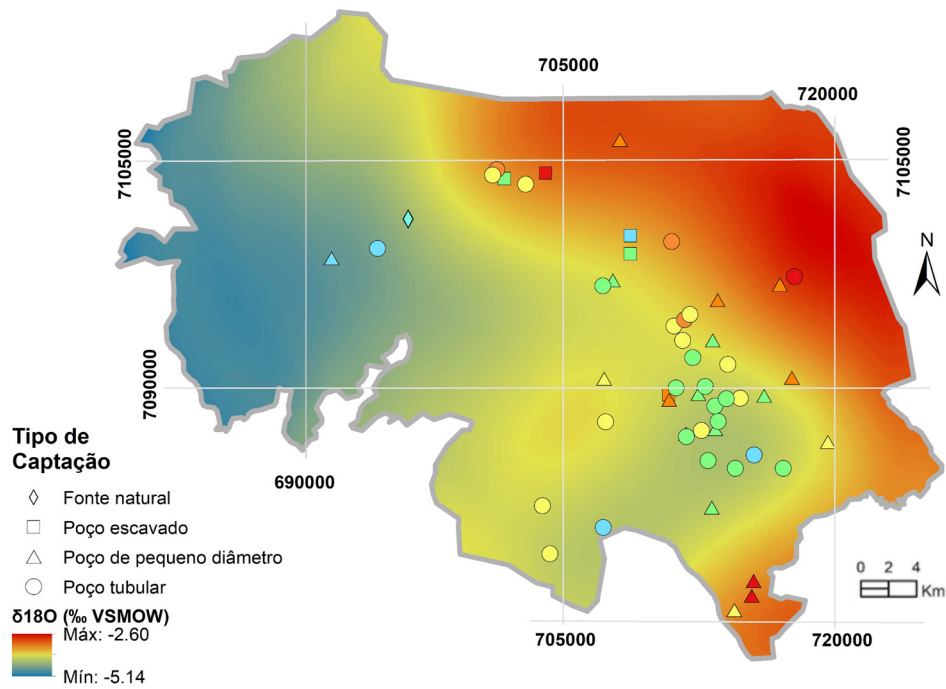


Figura 6.3 Distribuição espacial dos valores de $\delta^{18}O$ para as águas subterrâneas coletadas.

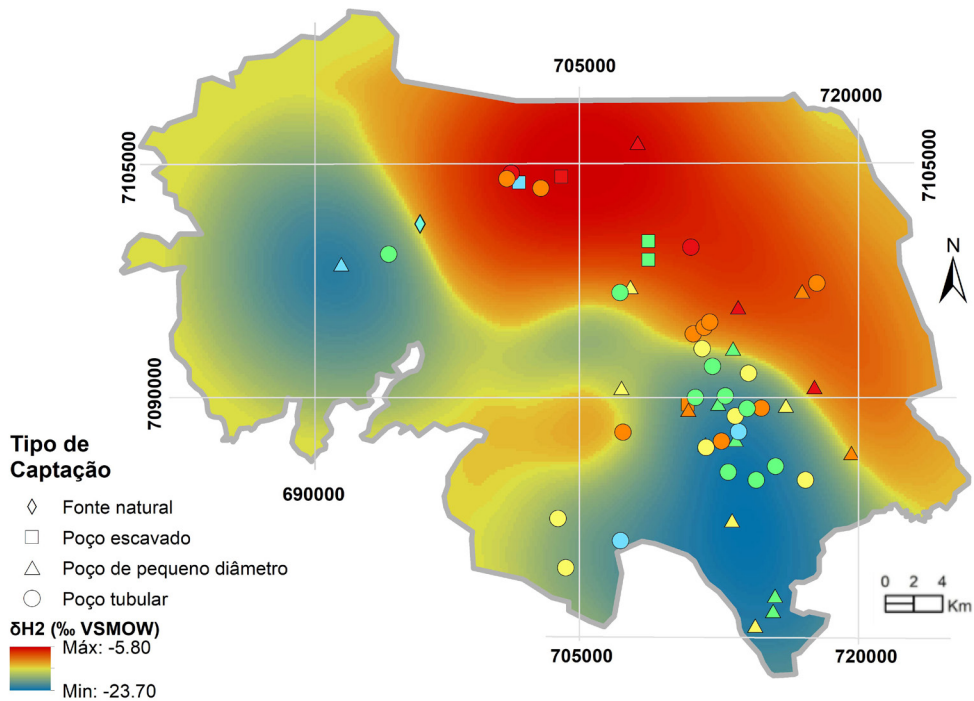


Figura 6.4 Distribuição espacial dos valores de δ^2H para as águas subterrâneas coletadas.

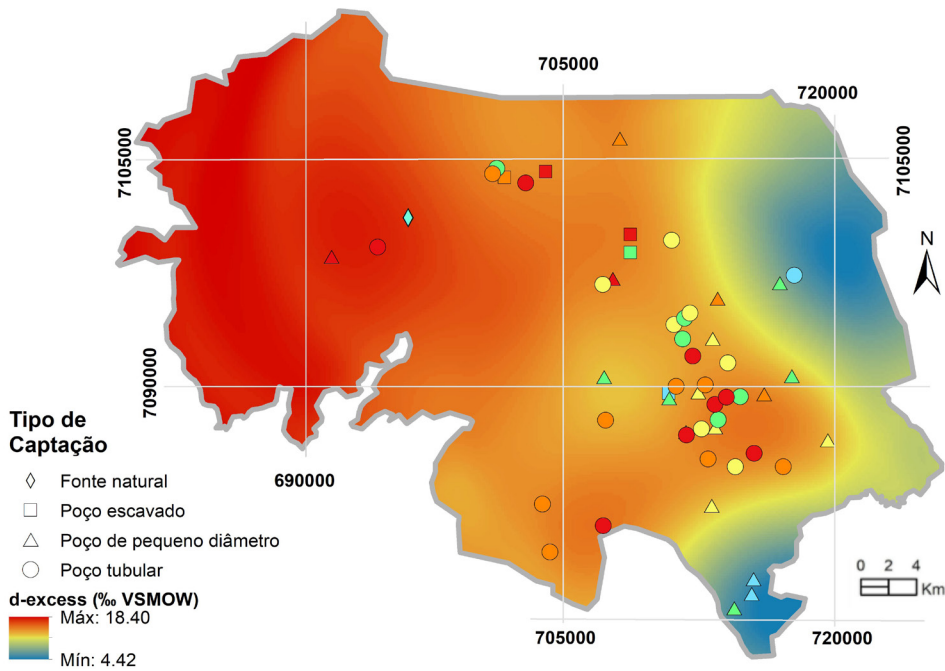


Figura 6.5 Distribuição espacial dos valores de excesso de deutério para as águas subterrâneas coletadas.

Os dados constantes na Tabela 6.1 foram analisados conforme ilustrado no Gráfico 6.1, onde se pode apreciar a dispersão dos resultados, assim como a regressão linear de melhor ajuste.

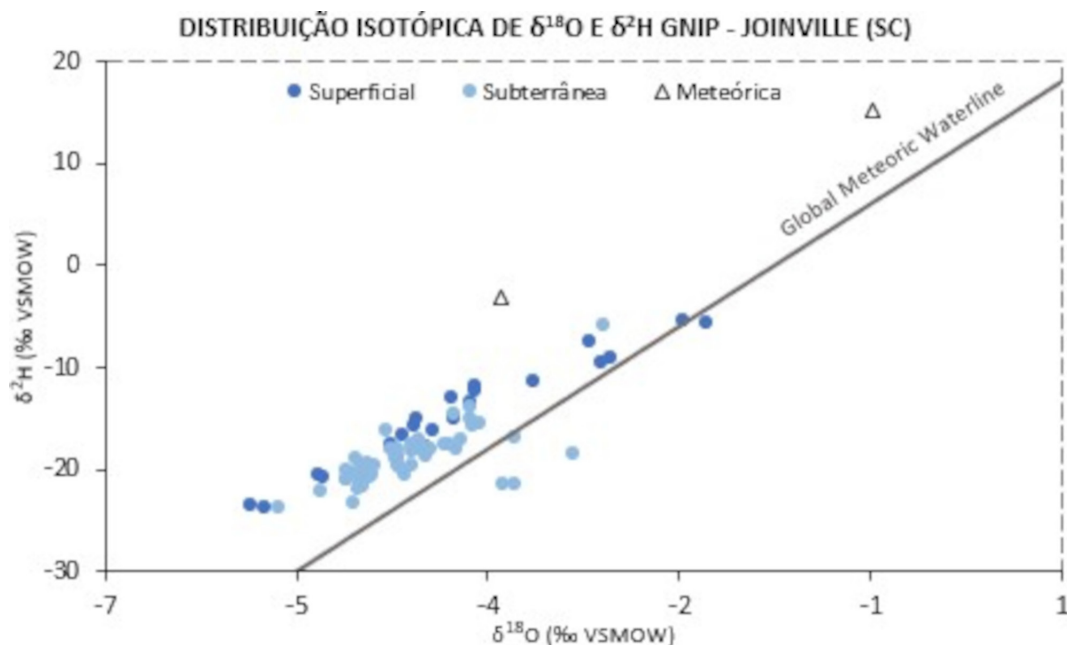


Gráfico 6.1 Plot de correlação entre δ^2H e $\delta^{18}O$ de amostras de águas meteóricas, subterrâneas e superficiais de Joinville – SC. Amostras meteóricas de Joinville espacializadas pelos marcadores triangulares em cinza; amostras de água superficial, indicadas pelos marcadores em azul escuro, e subterrâneas, indicadas por marcadores circulares em azul claro. O gráfico de dispersão linear contém a Linha Meteorológica Local Global (GMWL) ($\delta^2H=8*\delta^{18}O + 10$) para a melhor compreensão do comportamento isotópico das amostras local.

O mesmo tipo de gráfico pode ser composto congregando os resultados analíticos das águas superficiais e subterrâneas de Joinville com os dados isotópicos históricos das chuvas de Porto Alegre. Trata-se de uma abordagem clássica e robusta, necessária para se compreender os mecanismos hidrológicos que cercam o presente estudo. O fato de não existirem dados isotópicos de chuva de estações de monitoramento próximas à região de estudo, conforme já explicitado, implica em usar a estação GNIP mais próxima, ou seja, a de Porto Alegre. Apesar de eventuais diferenças, esta correlação (necessária e obrigatória) é possível, pois as chuvas na região possuem dinâmicas similares e respondem aos mesmos mecanismos geradores de precipitações. Os resultados da correlação dos valores isotópicos das amostras coletadas com as chuvas encontram-se no Gráfico 6.2, abaixo.

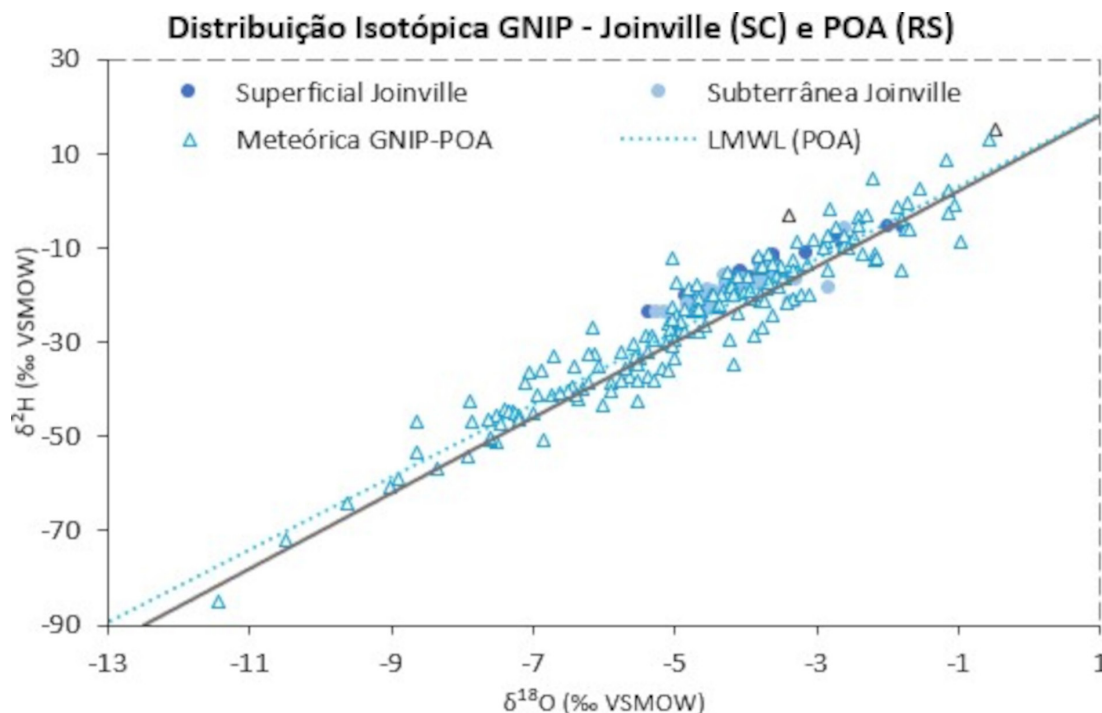


Gráfico 6.2 Plot de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras meteóricas (chuva) de Porto Alegre (RS) representadas por dados históricos da Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) de 1957 a 1983, indicadas pelos marcadores triangulares em azul claro. Dados isotópicos de Joinville, dispersas dentro do círculo vermelho. O gráfico de dispersão linear contém a Linha Meteórica Local de Porto Alegre, para os dados históricos (LMWL) ($\delta^2\text{H} = 7.71 * \delta^{18}\text{O} + 10.83$) e a Linha Meteórica Global (GMWL) ($\delta^2\text{H} = 8.0 * \delta^{18}\text{O} + 10.0$).

6.4.2 Dados Compilados

Com a finalidade de ampliar o estudo isotópico em Joinville, foi empreendida uma busca na literatura por dados isotópicos existentes e disponíveis na área de estudo. O único estudo isotópico antecedente ao mapeamento hidrogeológico de Joinville é o trabalho de Barros (2005) que estudou a composição isotópica e química da Baía da Babitonga. Os valores isotópicos de 46 amostras que foram cedidos pela autora referem-se às amostras coletadas de águas subterrâneas e superficiais relacionadas na Tabela 6.2. De posse destes dados bibliográficos, foi possível confeccionar novos gráficos, unindo os dados atuais com os dados bibliográficos e a relação deles com as retas meteóricas originadas pelas assinaturas isotópicas das chuvas. O resultado pode ser apreciado no Gráfico 6.3.

Tabela 6.2 Dados Isotópicos de amostras de águas superficiais e subterrâneas na região da Baía de Babitonga (Barros, 2005).

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	d-excess (‰)
Hub	Subterrânea	-4.23	-19.88	13.96077
NHJ	Subterrânea	-3.03	-11.51	12.72691
TC	Subterrânea	-4.11	-19.79	13.08752
Rud	Subterrânea	-5.61	-20.21	24.66655
NHJ	Subterrânea	-2.82	-9.87	12.6905
SUB1	Subterrânea	-4.06	-19.45	13.03453
Sub1	Subterrânea	-3.69	-17.57	11.94703
Sub2	Subterrânea	-2.98	-13.71	10.1262
Cub	Superficial	-4.65	-21.41	15.79176
Cub	Superficial	-5.87	-19.52	27.43516
Hub	Superficial	-6.14	-19.01	30.10542
Cach	Superficial	-3.36	-13.94	12.94327
1SUP	Superficial	-4.42	-19.88	15.47534
2FUN	Superficial	-2.33	-12.43	6.205172
3SUP	Superficial	-3.08	-14.17	10.47013
3FUN	Superficial	-1.69	-9.15	4.370904
4FUN	Superficial	0.16	1.86	0.582986
5SUP	Superficial	0.27	3.21	1.053064
5FUN	Superficial	0.59	4.00	-0.68075
6SUP	Superficial	-0.28	-0.12	2.123956
6FUN	Superficial	-0.27	-0.63	1.534288
7SUP	Superficial	-0.72	-0.38	5.378278
8FUN	Superficial	-1.01	-3.11	4.96559
10SUP	Superficial	-1.23	-4.80	5.04477
1S	Superficial	-3.61	-15.75	13.12515
1F	Superficial	-3.73	-14.70	15.14035
2S	Superficial	-1.75	-8.19	5.814864
2F	Superficial	-1.58	-5.26	7.382678
3S	Superficial	-0.99	-1.66	6.259282
3F	Superficial	-0.95	-1.75	5.85011
4S	Superficial	0.10	1.84	1.04176
4F	Superficial	0.13	1.82	0.781944

continua...

...continuação

Identificação da Amostra	Tipo de Amostra	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	d-excess (‰)
5S	Superficial	0.34	3.11	0.394938
5F	Superficial	0.47	3.32	-0.43699
6S	Superficial	0.34	3.05	0.325582
6F	Superficial	0.45	3.27	-0.33149
7S	Superficial	0.35	2.72	-0.08138
7F	Superficial	0.21	2.60	0.924676
8S	Superficial	-0.01	1.90	1.981208
8F	Superficial	-0.06	1.98	2.460472
9S	Superficial	-0.10	2.33	3.132206
9F	Superficial	-0.19	0.78	2.301604
10S	Superficial	-1.19	-4.58	4.941376
10F	Superficial	-0.62	-1.18	3.77982
G1S	Superficial	0.25	3.11	1.114938
G1F	Superficial	0.41	3.61	0.325384

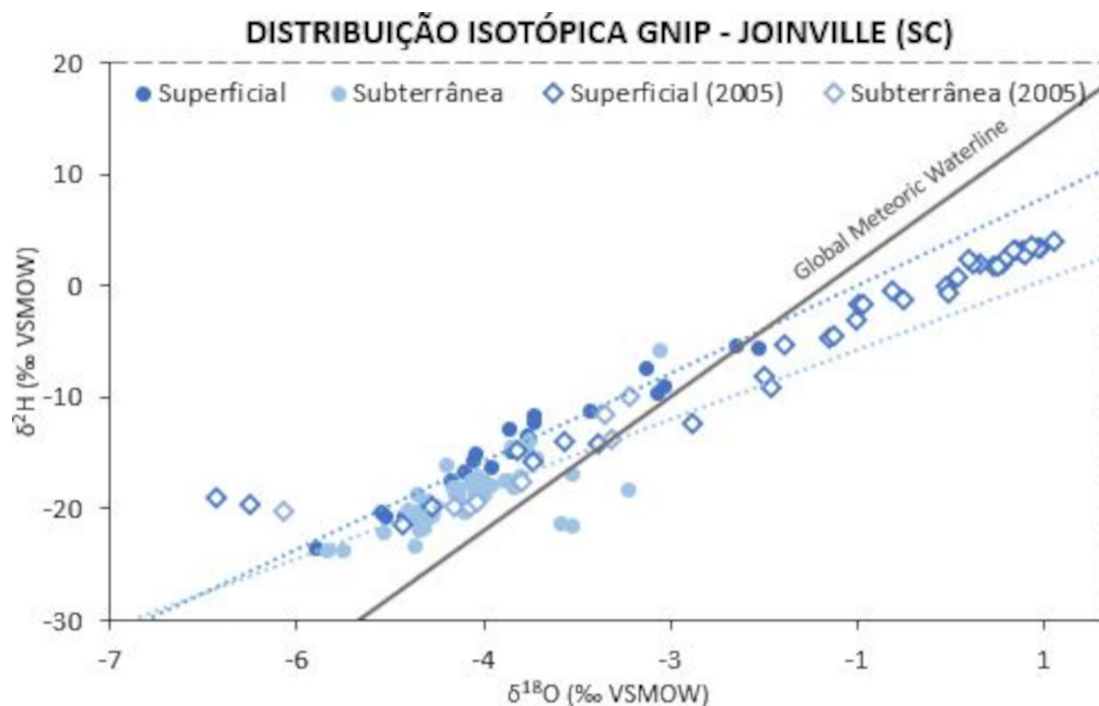


Gráfico 6.3 Plot de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas superficiais e subterrâneas GNIP - Joinville e dos dados bibliográficos (Barros, 2005).

6.5 Conclusões

As assinaturas isotópicas das amostras coletadas nas águas subterrâneas de Joinville constituem, em sua ampla maioria, assinaturas isotópicas similares às de chuvas, evidenciando a recarga pluvial. Os gráficos evidenciam este fato à medida que os pontos se alinham segundo as retas meteóricas, local e global. Algumas amostras apresentam um comportamento isotópico que sugere uma breve tendência de que a recarga dos aquíferos tenha ocorrido nos períodos de inverno (com sinais isotópicos mais enriquecidos), quando na região há um maior excesso hídrico em função de maiores volumes de chuva. Este fato pode ser visto nos gráficos onde amostras de água subterrânea que se posicionam na parte de valores de ^{18}O e ^2H maiores (valores negativos menores), considerados mais enriquecidos.

As águas subterrâneas apresentam faixas de variação isotópica em torno da média dos valores encontrados para as águas superficiais, fato considerado normal. As recargas de água subterrânea sempre se processam a partir de diferentes chuvas e os tempos de residência são maiores que os das águas superficiais. Apesar da recarga essencialmente pluvial, constata-se um grupo de águas subterrâneas cujas assinaturas isotópicas condizem com padrões de evaporação, mostrando dinâmicas de recarga distintas, são mais salinizadas cujas recargas recebem aportes de zonas de captura de águas superficiais salinizadas. Esta propensão é correlacionável com as tendências das amostras coletadas e analisadas no trabalho de Barros (2005), composto basicamente por águas da Baía da Babitonga.

As assinaturas isotópicas, quando espacializadas no território municipal, mediante técnicas de geoestatística, evidenciam a existência de gradientes muito claros de leste a oeste, as concentrações isotópicas empobrecem nessa direção, fato que está relacionado a diversos fatores: i) questões topográficas e, em consequência, ao gradiente climático de temperatura; ii) diferenças nos padrões de chuva entre a parte mais plana costeira e as porções de serra; iii) influência das recargas oriundas da Baía da Babitonga, já com efeitos de fracionamento devido à evaporação.

7. FAVORABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

7.1 Introdução

A elaboração do Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea baseou-se no modelo hidrogeológico conceitual definido pelos vários estudos necessários para a cartografia hidrogeológica na escala 1:50.000 e pelo cruzamento de planos de informação através de geoprocessamento.

O Apêndice B – Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea - Escala 1:50.000 representa cartograficamente os índices de favorabilidade, os quais indicam as áreas de menor a maior possibilidade de se encontrar água subterrânea. Tais áreas representam os índices de favorabilidade hídrica subterrânea e não são absolutas, mas sim relativas entre si. As áreas de maior favorabilidade reúnem fatores mais favoráveis e servem para a orientação de estudos posteriores mais detalhados, destinados à locação dos poços tubulares, como aerofotointerpretação e estudos geofísicos.

7.2 Cálculo do Índice de Favorabilidade

O modelo escolhido foi o booleano soma simples, sem ponderar cada parâmetro, porque todos têm a mesma importância na avaliação do potencial aquífero na área de estudo. Os parâmetros escolhidos foram: litologia, condutividade hidráulica, densidade de lineamentos, recarga e declividade do terreno. Aos fatores escolhidos foram atribuídas notas, entre 0 e 100, às suas respectivas classes. A atribuição de notas, ou pesos, foi feita baseada em regras de decisão previamente definidas pelos especialistas envolvidos no projeto e consultadas na bibliografia abordando áreas semelhantes e com a mesma temática, principalmente baseando-se no trabalho de Freitas (1998). Assim, a equação para a cálculo da favorabilidade, adotada para este projeto, é expressa da seguinte forma:

$$IF = \frac{D + K + L + R + T}{5} \quad \text{Equação 7.1}$$

onde: D = Densidade de lineamentos estruturais; K = Condutividade hidráulica estimada; L = Litologia; R = Recarga total anual; T = Declividade do terreno.

7.2.1 Densidade de Lineamentos Estruturais

A densidade de lineamentos foi calculada a partir do traçado dos lineamentos morfoestruturais, traçados em anaglifos, os quais foram obtidos através de fotografias aéreas na escala 1:50.000. Estes lineamentos representam falhas e fraturas sobre as rochas do embasamento cristalino (Figura 7.1). A partir do mapa vetorial dos lineamentos foi utilizada a ferramenta *line density* no pacote ArcGIS com um raio de busca de 200 m. O resultado é exibido na Figura 7.2 e sua classificação por faixa de densidade está listada na Tabela 7.1.

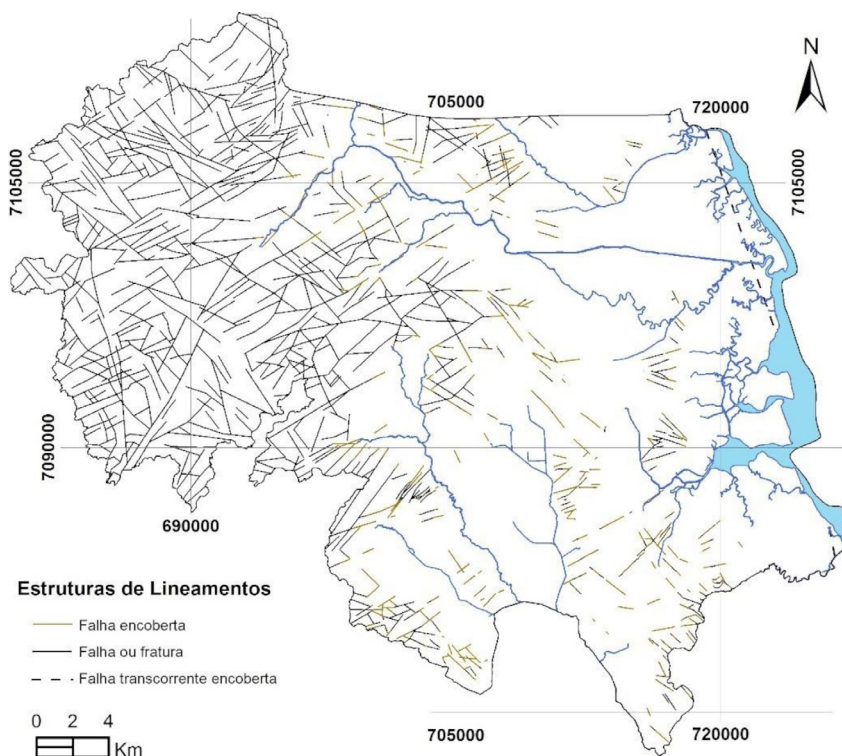


Figura 7.1 Mapa de lineamentos morfoestruturais traçados na escala 1:50.000.

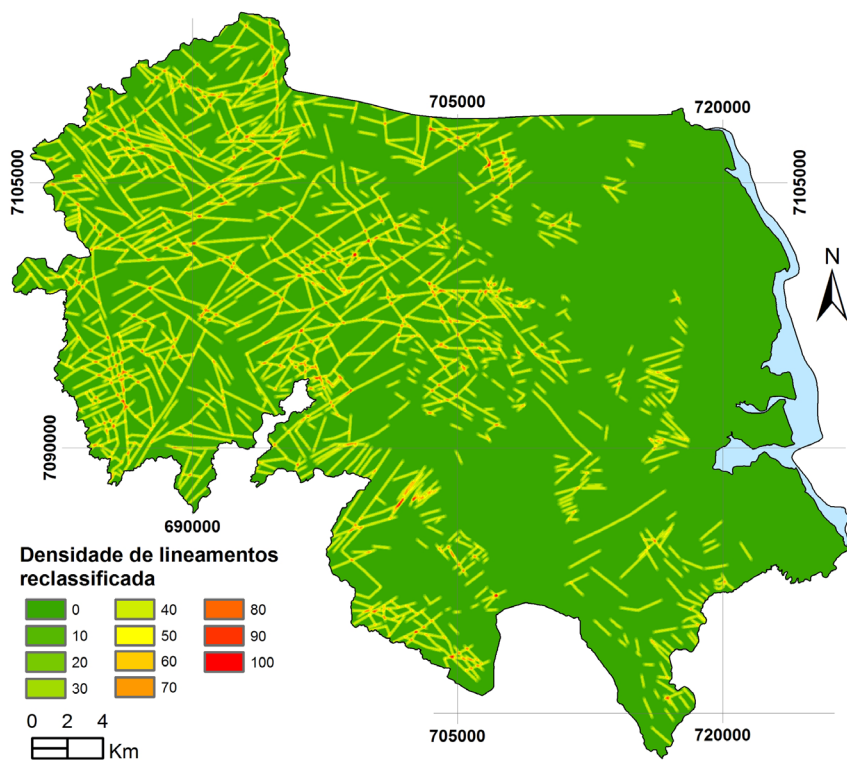


Figura 7.2 Mapa de densidade de lineamentos reclassificada segundo as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.

Tabela 7.1 Densidade de lineamento e suas respectivas notas.

Densidade de lineamento (km/Km ²)	Nota atribuída
0	0
0 a 0,5	20
0,5 a 1,5	30
1,5 a 2	40
2 a 2,5	50
2,5 a 3	60
3 a 3,5	70
3,5 a 4	80
4 a 4,5	90
4,5 a 5,7	100

7.2.2 Condutividade Hidráulica Estimada

A condutividade hidráulica das unidades hidroestratigráficas foi estimada a partir do cálculo de K em ensaios de bombeamento, sobretudo nos poços onde há captação exclusiva no manto de alteração. Nos aquíferos onde não há disponibilidade de testes de bombeamento, os valores foram compilados de manuais e referências bibliográficas (FREEZE; CHERRY, 1979; KARAMOUZ; AHMADI; AKHBARI, 2011). Os valores de K foram reclassificados (Figura 7.3) e estão discriminados na Tabela 7.2.

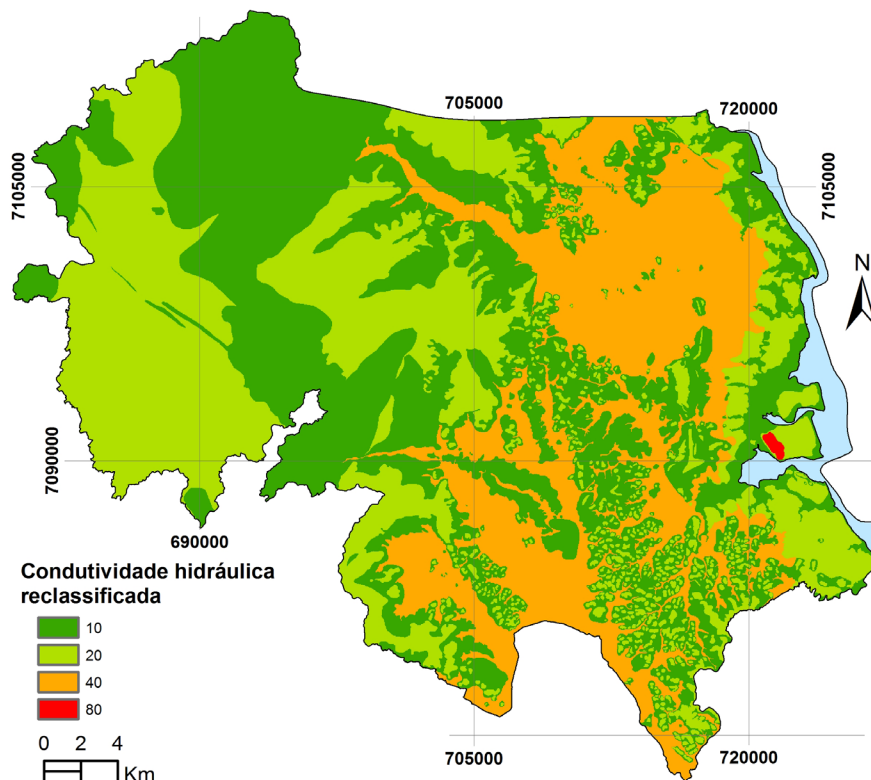


Figura 7.3 Condutividade hidráulica estimada reclassificada dos aquíferos conforme as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.

Tabela 7.2 Notas atribuídas às unidades hidroestratigráficas de acordo com sua condutividade hidráulica estimada.

Sigla da Unidade	Nome da Unidade Hidroestratigráfica	Nota Atribuída
A4PP2 μ bv	Barra Velha	10
A4PP2glg	Paragnaisses Luís Alves	10
A4PP2glq	Quartzitos Luís Alves	20
A4PP2la	Gnaisses Granulíticos Luís Alves	20
K λ	Intrusivas Alcalinas	20
K1 δ db	Diques de Diabásio	10
NP3 γ mdf	Dona Francisca	10
NP3 γ mpi	Piraí	10
NP3bcg	São Bento / Papanduvinha	10
NP3brb	Rio do Bugre	10
NP3cam	Serra de São Miguel	10
NP3can	Rio Negrinho	10
PP2 γ rl	Rio da Luz	10
Q2a	Aluvionar	40
Q2ca	Colúvio-aluvionar	10
Q2co	Coluvionar	10
Q2el	Eólico litorâneo	80
Q2pe	Paleoestuarino	20
Q2pm	Pântanos e mangues	10
Q2tf	Turfeiras	10

7.2.3 Litologia

A atribuição de notas para as unidades litológicas que compõem os aquíferos da área de estudo se baseou no conceito relativo de porosidade e permeabilidade, adaptando-se valores de Aller *et al.* (1985). Os aquíferos relacionados aos depósitos inconsolidados de composição arenosas, sobretudo os

eólicos litorâneos, constituem os mais permeáveis, enquanto os de menor permeabilidade se relacionam, principalmente, às rochas cristalinas e suas coberturas eluvionares (Tabela 7.3). A Figura 7.4 ilustra a variação deste parâmetro relacionada com a constituição litológica da área.

Tabela 7.3 Notas atribuídas para as litologias da área de estudo.

Litologias	Sigla da Unidade Hidroestratigráfica	Nota Atribuída
Rochas Ígneas e Metamórficas	A4PP2 μ bv, A4PP2glg e A4PP2glq	30
Rochas Metamórficas Intemperizadas	A4PP2la	40
Rochas Ígneas Intemperizadas	K λ	40
Rochas Ígneas e Metamórficas	K1 δ db	30
Rochas Ígneas e Metamórficas	NP3 γ mdf	20
Rochas Ígneas e Metamórficas	NP3 γ mpi	20
Conglomerados Arenosos	NP3bcg	50
Rochas Sedimentares Acamadadas	NP3brb	50
Rochas Vulcânicas Ácidas	NP3cam	30
Rochas Vulcânicas Básicas	NP3can	40
Rochas Ígneas e Metamórficas	PP2 γ rl	20
Depósitos Aluvionares	Q2a	70
Depósitos Colúvios-Aluvionares	Q2ca	50
Depósitos Coluvionares	Q2co	30
Depósitos Eólicos Litorâneos	Q2el	80
Depósitos Flúvio-Estuarinos	Q2fe	50
Depósitos Paleoestuarinos	Q2pe	5
Depósitos de Pântanos e Mangues	Q2pm	40
Depósitos de Turfeiras	Q2tf	30

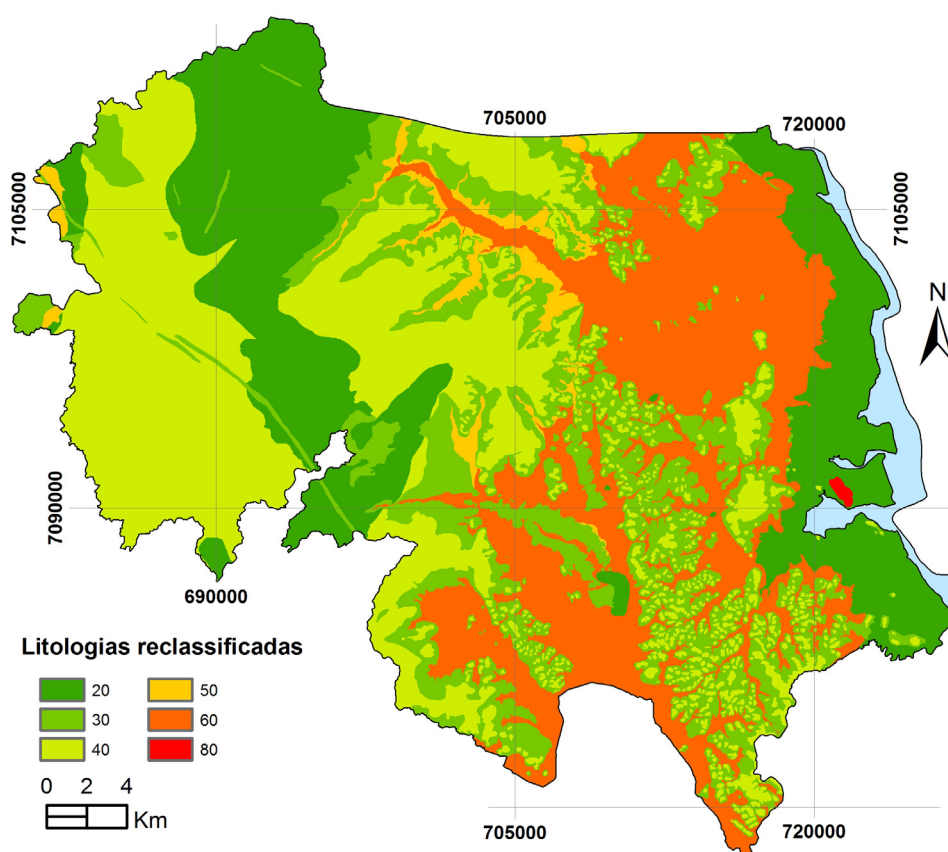


Figura 7.4 Litologias reclassificadas segundo as notas atribuídas no modelo de favorabilidade hidrogeológica.

7.2.4 Recarga Anual Total

A estimativa da recarga média anual para o município de Joinville – SC foi realizada utilizando as bacias hidrográficas como unidades de cálculo, e compreendeu a estimativa da recarga proveniente de ambientes naturais e urbanos, sendo limitada pela disponibilidade de dados. A metodologia de cálculo da recarga dos aquíferos em Joinville encontra-se detalhada no Capítulo 5 do presente relatório. A Tabela 7.4 apresenta os intervalos de recarga total reclassificados segundo as notas atribuídas pelos hidrogeólogos e hidrólogos especialistas do projeto, enquanto a Figura 7.5 ilustra a distribuição espacial dessas classes.

Tabela 7.4 Notas atribuídas para os intervalos de recarga na área de estudo.

Intervalos de Recarga (mm/ano)	Nota Atribuída
0 a 100	10
101 a 200	20
201 a 300	30
301 a 400	40
401 a 500	50

continua...

...continuação

Intervalos de Recarga (mm/ano)	Nota Atribuída
501 a 600	60
601 a 700	70
701 a 800	80
801 a 900	90
901 a 970	100

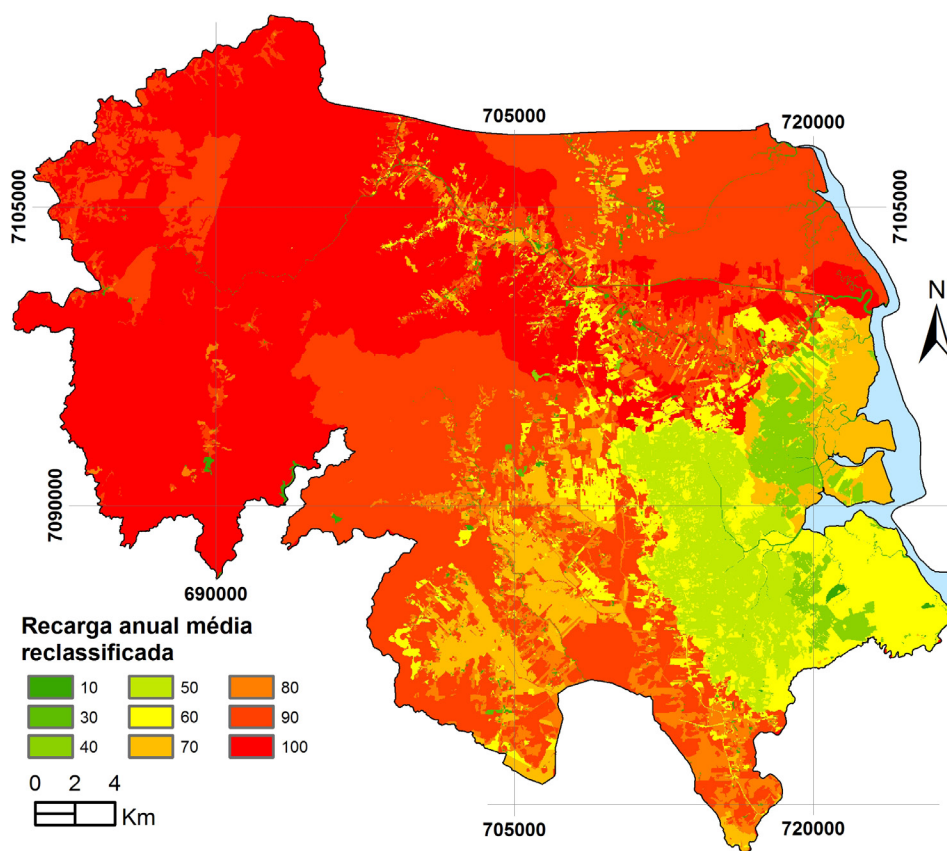


Figura 7.5 Mapa das classes de recarga anual média reclassificada.

7.2.5 Topografia

O parâmetro topografia é representado pelas classes de declividade do terreno expressas em porcentagem e oriundas do modelo digital de elevação. A divisão das classes discriminadas na Tabela 7.5, foi baseada nos parâmetros definidos por Aller *et al.* (1985) para mapas de vulnerabilidade intrínseca à contaminação. Sua reclassificação e distribuição espacial está presente na Figura 7.6.

Tabela 7.5 Classes de declividade e respectivas notas para o cálculo do índice de favorabilidade hídrica subterrânea.

Parâmetro Topografia Declividade (%)	Nota Atribuída (w)	Característica do Relevo
0 a 2	100	Plano
2 a 6	90	Suave Ondulado
6 a 12	50	Ondulado
12 a 18	30	Moderadamente Ondulado
Acima de 18	10	Forte Ondulado

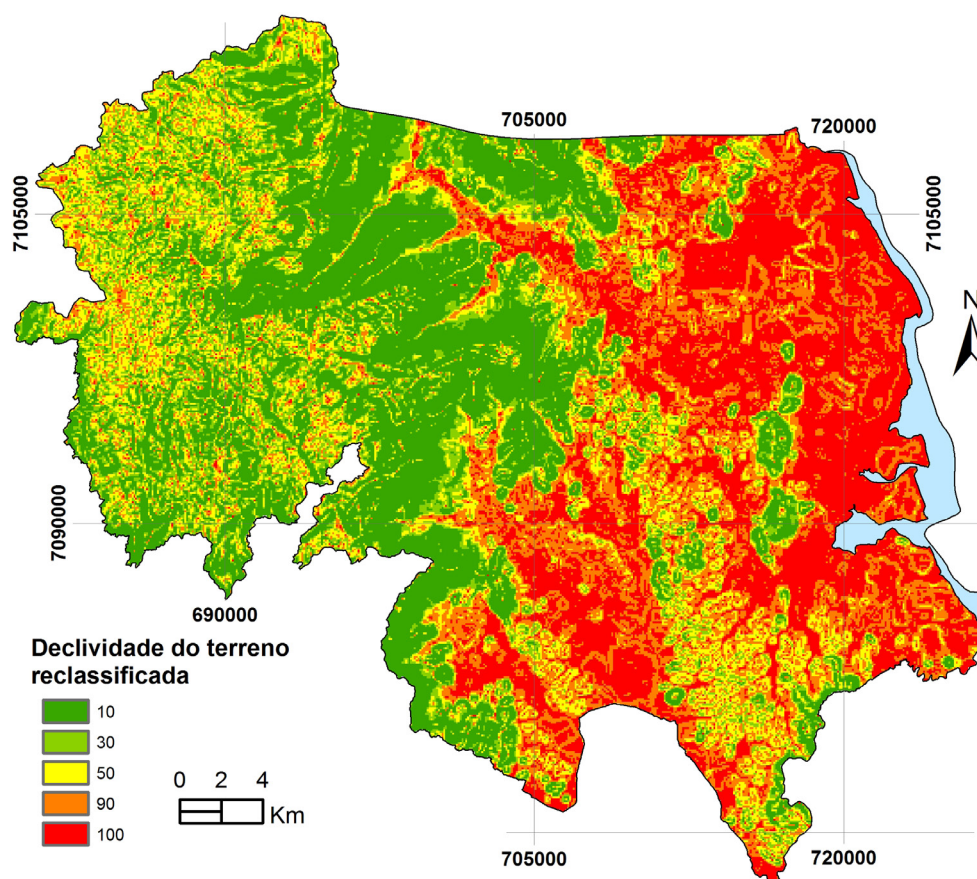


Figura 7.6 Classes de declividade reclassificadas para o cálculo do índice de favorabilidade hidrogeológica.

7.3 Resultados

O geoprocessamento utilizando os cinco parâmetros descritos acima resultou no mapa de favorabilidade hídrica subterrânea apresentado no Apêndice B – Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea - Escala 1:50.000. O resultado obtido apresenta uma imagem *raster* com dimensões de pixel iguais a 30 m x 30 m e que contém os índices de favorabilidade hídrica subterrânea resultantes entre o mínimo 10 e o máximo 76 (Figura 7.7). Observando esta figura, nota-se que no município predominam índices de

favorabilidade baixos e medianos, o que é condizente com o arcabouço hidrogeológico de Joinville. No entanto, existem algumas áreas de pouca extensão com potencial maior, que se destacam das demais. Essas são áreas onde os fatores convergem para uma alta chance de ocorrência de água subterrânea, sendo denominadas áreas alvo. Os alvos são locais onde devem ser executados os estudos de maior detalhe para locação e projeto dos poços que, por ventura, venham a ser perfurados. Os estudos de detalhe consistem em mapeamento em pequena escala desses locais, análise de fotografias aéreas e levantamentos geofísicos terrestres.

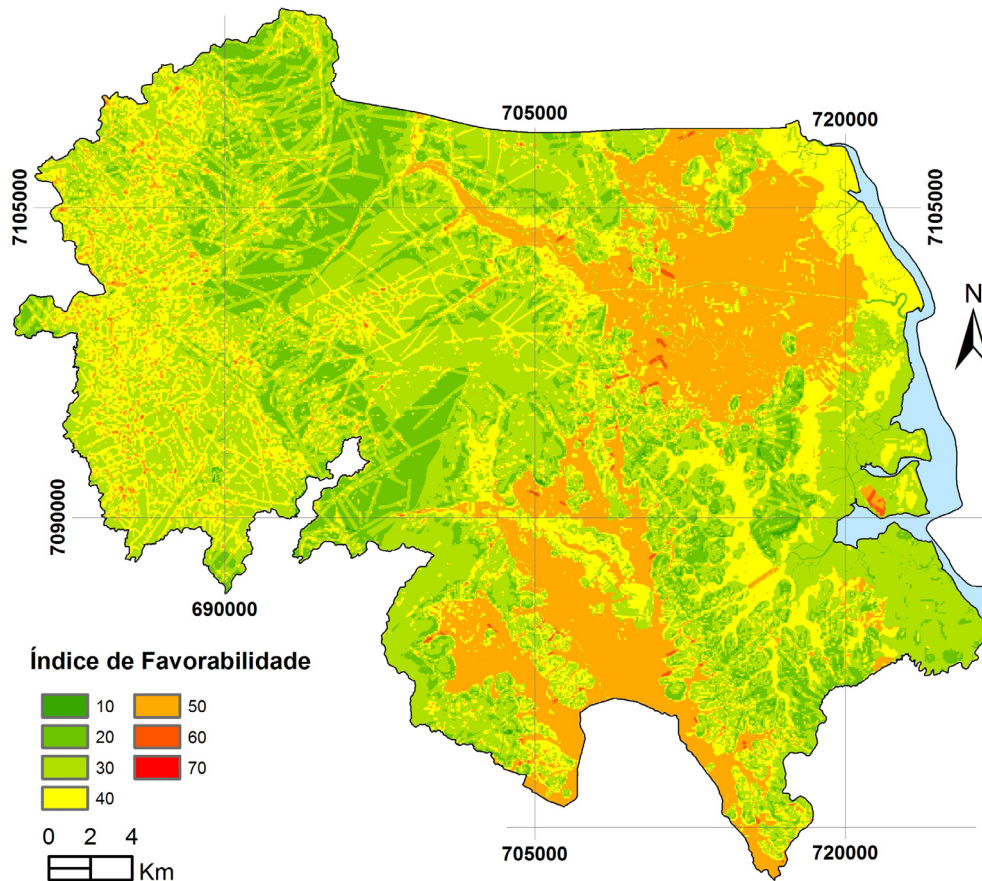


Figura 7.7 Mapa dos índices de favorabilidade hídrica subterrânea.

A Figura 7.8 exemplifica os locais onde convergem o cruzamento de estruturas em topografia plana e com alta recarga no aquífero fraturado, deste modo configurando-se áreas alvo. As áreas de menor potencial representam, na maioria das vezes, terrenos declivosos em morros ou escarpas relacionadas a rochas menos fraturadas (maciças).

No aquífero granular, essas áreas de classe elevada relacionam-se principalmente à Unidade Hidroestratigráfica Aluvionar, e em menor relevância, à Unidade Hidroestratigráfica Eólico Litorâneo. Essas áreas de classe elevada combinam sedimentos arenosos permeáveis, topografia plana e alta recarga, como pode ser observado na Figura 7.9.

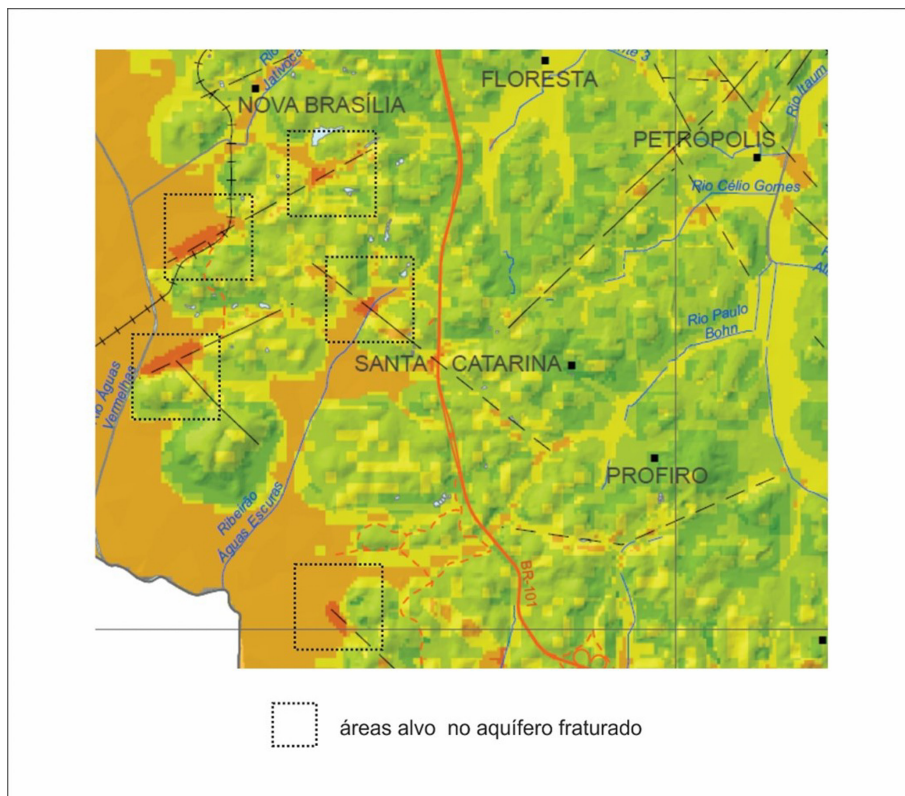


Figura 7.8 Áreas de alta possibilidade de ocorrência de água subterrânea no aquífero fraturado.

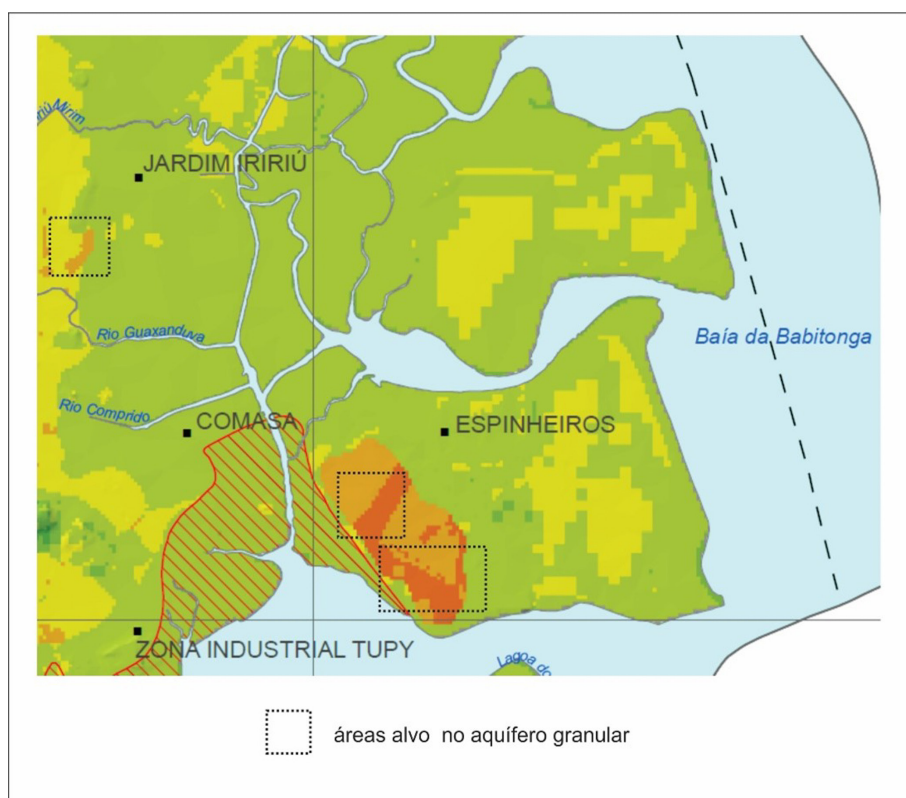


Figura 7.9 Áreas de alta possibilidade de ocorrência de água subterrânea no aquífero granular.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento hidrogeológico de Joinville – SC reuniu as informações hídricas subterrâneas em um documento que apresenta em detalhe as unidades hidroestratigráficas que ocorrem no município. A escala do mapa, 1:50.000, permitiu a apresentação da hidrogeologia condizente a ela, considerada uma escala de média proporção e que permite uma visão sinóptica da hidrogeologia do território de Joinville. O mapa hidrogeológico e seu respectivo SIG apresentam uma riqueza de dados e informações que permitem à administração pública aprimorar o gerenciamento ambiental e hídrico-subterrâneo do município.

Os aquíferos em Joinville apresentam uma produtividade geralmente baixa, o que permite fornecimentos de água para atender demandas locais ou consumo privado. Entretanto, localmente ocorrem condições não usuais de maior produtividade, com poços apresentando vazões de até 25 mil litros horários. Nestes casos o fornecimento de água permite abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação de áreas restritas e abastecimento industrial.

O mapa de favorabilidade hídrica subterrânea apresenta índices de favorabilidade baixos e medianos, o que é condizente com o arcabouço hidrogeológico de Joinville. Contudo, ocorrem esparsas áreas com maior potencial, que se sobressaem em relação às demais. Tais áreas, onde os fatores convergem para uma alta chance de ocorrência de água subterrânea em vazões desejáveis, são denominadas áreas alvo. Os alvos são locais onde devem ser executados os estudos de maior detalhe para locação e projeto dos poços que porventura venham a ser perfurados. As áreas de menor potencial estão relacionadas a terrenos declivosos em morros ou a escarpas relacionadas a rochas minimamente fraturadas. No aquífero granular, as áreas de elevada favorabilidade relacionam-se às unidades hidroestratigráficas Aluvionar e Eólico Litorâneo, que reúnem áreas com sedimentos arenosos permeáveis, topografia plana e alta recarga.

Para avançar no atual conhecimento hidrogeológico obtido com o mapeamento na escala 1:50.000, sugere-se realizar estudos hidrogeológicos de maior escala, como por exemplo 1:10.000. Também é recomendável a manutenção do cadastramento dos pontos de captação de água subterrânea no território municipal, de forma contínua, e a realização ordenada de análises físico-químicas e isotópicas de novos poços.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9649 Projeto de rede coletora de esgoto sanitário**. [Rio de Janeiro]: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12244:2006 Poço tubular: construção de poço tubular para captação de água subterrânea**. [São Paulo]: ABNT, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal (RMN)**: relatório final; avaliação da urbanização e de outras atividades antrópicas impactantes nas águas subterrâneas. Brasília, DF: ANA, 2012. v. 2.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Estudos hidrogeológicos para a gestão das águas subterrâneas da Região de Belém/PA**: relatório técnico temático; impactos da urbanização nas águas subterrâneas da região de Belém/PA. Brasília, DF: Profill Engenharia e Ambiente, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **HIDROWEB**: Séries históricas de estações. Brasília, DF: ANA, [2020]. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 05 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **SSEBOP**: Evapotranspiração. [Brasília, DF]: ANA, [2020]. Disponível em: <https://ssebop.users.earthengine.app/view/ssebop-br>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ALLABY, A.; ALLABY, M. A **Dictionary of Earth Sciences**. 2.ed. Oxford: Oxford University Press, 1999.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. p. 1–297. (Paper 56). Disponível em: <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ALLER, L.; LEHR, J. H.; PETTY, R., **DRASTIC**: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Ada, Oklahoma: U. S. Environmental Protection Agency, 1985.

ARNELL, N. W. Factors Controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment. **Journal of Hydrology**, v. 132, p. 321-34, 1992.

BARROS, V. G. **Study and Monitoring of Biogeochemical Processes of Babitonga Bay Catchment - Brazil, Using Chemical and Isotopes Approaches**. Tese de Doutorado. Università Ca'foscari Di Venezia, CA'FOSCARI, 2005.

BATISTA, L. V.; GASTMANS, D.; SÁNCHEZ-MURILLO, R.; FARINHA, B. S.; SANTOS, S. M. R.; KIANG, C. H. 2018. Groundwater and surface water connectivity within the recharge area of Guarani aquifer system during El Niño 2014-2016. **Hydrological Processes**, London, v. 32, p. 2483-2495, 2018. DOI <https://doi.org/10.1002/hyp.13211>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.13211>. Acesso em: 27 ago. 2021.

BLAINSKI, E.; PANDOLFO, C.; RICCE, W.; VEIGA, M.; ARAUJO, C. E. D. **Mapeamento da capacidade de água disponível para os solos do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2016.

CHARLES, E. G.; BEHROOZI, C.; SCHOOLEY, J.; HOFFMAN, J. L. A method for evaluating ground-water-recharge areas in New Jersey. **New Jersey Geological Survey Report**, New Jersey, n.32, 1993.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS L. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill, International Editions, Civil Engineering Series, 1988.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. New York: CRC Press, 1997.

CRAIG, H., Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters. **Science**, New York, n. 113, p.1833, 1961.

CRUZ-SAN, J.; ARAGUAS, L.; ROZANSKI, K.; BENAVENTE, J.; CARDENAL, J.; HIDALGO, C., GARCIA-LOPEZ; MARTINEZ-GARRIDO, J. C.; MORAL, F.; OLIAS, M. Sources of precipitations over South-Eastern Spain and groundwater recharge: an isotopic study, **Tellus**, Porto Lindo, London, p. 226-236, 1992.

DANSGAARD, W. Stable isotopes in precipitation. **Tellus**, Porto Lindo, London, v. 16, n. 4, p. 436-468, 1964. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x>. Acesso em: 28 ago. 2021.

DANTAS, M. E. (org.) **Biblioteca de padrões de relevo**: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação. [Rio de Janeiro]: CPRM, 2016.

DANTAS, M. E.; SANTANA, M. S.; SIMÃO, G. F. de C.; MAIA, M. A. N.; SHINZATO, E. **Cartas de padrões de relevo municipais (escala: 1:25.000) Serviço Geológico do Brasil - CPRM**: nota técnica. [S. l.]: CPRM, 2020. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21682>. Cesso em: 27 ago. 2021

DAVIS, S. N.; WIEST, R. de. **Hidrogeologia**. [Madrid]: Ediciones Ariel, 1971.

DINIZ, J. A. O; MONTEIRO, A. B.; FEITOSA, F. A. C.; FREITAS, M. A. de; PEIXINHO, F. C. Metodologia para elaboração de mapas hidrogeológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 27., ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 18., 2012, Bonito, MS. **Resumos Expandidos [...]** Bonito, MS: ABAS, 2012. p. 1-4.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. de C. da; PAULA, T. L. F. de; **Manual de cartografia hidrogeológica** - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014. 119p.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* (coord.) **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3. ed. Fortaleza: CPRM/LABHID, 2008.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1988.

FREEZE, R.; CHERRY, J. **Groundwater**. New Jersey: Prentice Hall, 1979.

FREITAS, M. A. de. **Avaliação do potencial hidrogeológico de terrenos cristalinos através de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, London, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

GONFIANTINI, R., Standard for stable isotope measurements in natural compounds. **Nature**, London, n. 271, p.534-536, 1978.

HIPÓLITO, J. R.; VAZ, A. C. **Hidrologia e recursos hídricos**. 2.ed. Lisboa: Press, 2013.

HUANG, M.; GALLICHAND, J.; WANG, Z.; GOULET, M. A Modification to the soil conservation ser-vice curve number method for steep slopes in the loess plateau of China. **Hydrological Processes**, London, v. 20, p. 579-589, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo agropecuário**: Joinville. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Acesso em: 05 mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Joinville**: área da unidade territorial. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Acesso em: out. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (Brasil). **Banco de dados meteorológicos do INMET**. Brasília: INMET, [2020]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

JOINVILLE. Prefeitura Municipal. **Levantamento de cobertura pedológica de Joinville:** executado por: Consultor Engenheiro Agrônomo Antônio Ayrton Auzani Uberti no ano de 2012. Joinville: Prefeitura Municipal, 2012. Disponível em: <https://geoprocessamento.joinville.sc.gov.br/download>. Acesso em: 21 jan. 2020.

JOINVILLE. Prefeitura Municipal. **Classificação de uso da terra efetuada a partir de interpretação da ortofoto do município de Joinville do ano de 2010 na escala 1:10.000.** Joinville: Prefeitura Municipal, 2015.

JORGENSEN, D. G.; HELGESON, J. O.; IMES, J. L., Aquifer Systems underlying Kansas, Nebraska, and parts of Arkansas, Colorado, Missouri, New Mexico, Oklahoma, South Dakota, Texas and Wyoming - Geohydrologic framework. **U.S. Geological Survey Professional Paper**, Washington, n.1414-B, 1993.

KARAMOUZ, M.; AHMADI, A.; AKHBARI, M. 2010. **Groundwater Hydrology:** engineering, planning, and management. New York: CRC Publishing, 2010.

KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. de. **Analyses and evaluation of pumping test data.** [s.l.]: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1970.

LANEY, R. L.; DAVIDSON, C. R. Aquifer-nomenclature guidelines. **U.S. Geological Survey, Open-file Report**, Washington, n. 86-534, 1986.

LUCAS, L. L., UNTERWEGER, M. P., Comprehensible Review and Critical of the Half-life of Tritium. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, n.105-4, p. 541-549, 2000.

MACHADO, J. L. F., **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** 2005, 237 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2005. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/142>. Acesso em: 28 ago. 2021.

MAKHOLOUF, Z.; MICHEL, C. A Two parameter monthly water balance model for french watersheds. **Journal of Hydrology**, v.162, p. 299-318, 1994.

MAXEY, G. B., Hydrostratigraphic units. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.2, p.124-129, 1964.

MAZZER, A. M.; VANZ, A.; CAMPOS C. G. C.; SEVERO, D.; BLAINSKI, E.; SAC-CO, F. G.; RUDORFF, F.M.; CRUZ, G.; GARBOSSA, L. H. P.; SILVA, M. M.; RO-DRIGUES, M. L. G.; LIMA, M.; MINUZZI, R.; CANÔNICA, E.; VIDAL, F.; ALVES, M. P. A. **Eventos Meteorológicos Extremos:** GT2- clima, hidrologia e oceanografia; relatório técnico. [Florianópolis]: Governo do Estado, 2009. (Prevenção de Catástrofes Naturais em Santa Catarina – Grupo Técnico Científico).

MELLO, Y. R. de; OLIVEIRA, F. A. Características climáticas da região da Serra do Mar do estado de Santa Catarina - Brasil. **Revista Raega**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 116-134, 2019.

MERLIVAT, L.; JOUZEL, J. Global Climatic Interpretation of the Deuterium-Oxygen 18 Relationship for Precipitation. **Journal of Geophysical Research**, London, v. 84, p. 5029-5033, 1979. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/JC084iC08p05029>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/JC084iC08p05029>. Acesso em: 28 ago. 2021.

MOHAMMAD, K.; AZADEH, A.; MASIH, A., **Groundwater Hydrology.** Engineering, Planning, and Management. Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis Group, 1 ed. 2011.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia Estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007.

TOMAZ, P. Infiltração usando o número da Curva CN do SCS. *In:* TOMAZ, P. **Infiltração e Dry Well.** [s.l.:

s.n.], 2011. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/05/infiltrac3a7c3a3o-usando-o-mc3a9todo-do-nc3bamero-da-curva.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

POLAND, J. F.; LOFGREN, B. E.; RILEY, F. S., Glossary of selected terms useful in studies in the mechanisms of the aquifer systems and land subsidence due to fluid withdrawal. **U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper**, Whashington, n. 2025, 1972.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

ROZANSKI, K.; ARAGUAS ARAGUAS, L.; GONFIANTINI, R. Isotope patterns in modern global precipitation. In: SWART, P. K. et al. (ed.) **Change in continental isotope records**, Washington: American Geophysical Union, 1993. p. 1-36.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos: parte 1: classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [Bento Gonçalves, RS] v. 10, n. 4, p. 5-8, 2005.

SEABER, P. R. Definition of hydrostratigraphic units. **Public Information Bulletin**, Florida, v. 82, n. 3, P.25-26, 1982. (2nd Annual Symposium on Florida Hydrogeology, Northwest Florida Water Management District.

SEABER, P. R. Evolution of Classification and nomenclature of hydrogeologic units. **EOS**, v. 67, n.16, p. 28, 1986.

SEABER, P. R. Hydrostratigraphic Units. In: ROSENSHEIN: J. S., SEABER P. R. (ed.) **Hydrogeology: the geology of North America**. Boulder, CO.: W. Back: Geological Society of America, 1988. p. 9-14.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS (Brasil). **Série histórica**. Brasília: SNIS, [2019]. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 20 jan. 2021.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. **Hydrogeological maps a guide and a standard legend**. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 1995. (International Contributions to Hydrogeology, v. 17).

STUMPP, C.; MALOSZEWSKI, P.; STICHLER, W.; FANK, J. Environmental isotope $\delta^{18}\text{O}$ and hydrological data to assess water flow in unsaturated soils planted with different crops: Case study lysimeter station “Wagna” Austria. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 369, n. 1-2, p. 198-208, 2009a.

STUMPP, C.; NÜTZMANN, G.; MACIEJEWSKI, S.; MALOSZEWSKI, P. A comparative modeling study of a dual tracer experiment in a large lysimeter under atmospheric conditions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 375, n. 3-4, p.566–577, 2009b.

STUMPP, C.; STICHLER, W.; MALOSZEWSKI, P. Application of the environmental isotope $\delta^{18}\text{O}$ to study water flow in unsaturated soils planted with different crops: Case study of a weighable lysimeter from the research field in Neuherberg, Germany. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 368, n. 1-4, p.68-78, 2009.

THEIS, C. V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. **American Geophysics Union Transaction**, n. 16 p. 519-526, 1935.

TUCCI, C. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993.

10. REPONSÁVEIS TÉCNICOS

Marcos Alexandre de Freitas

Geólogo DSc
CREA RS 068952
RN 2218579863

Eliel Martins Senhorinho

Geólogo
CREA RS 072512
RN 2201074771

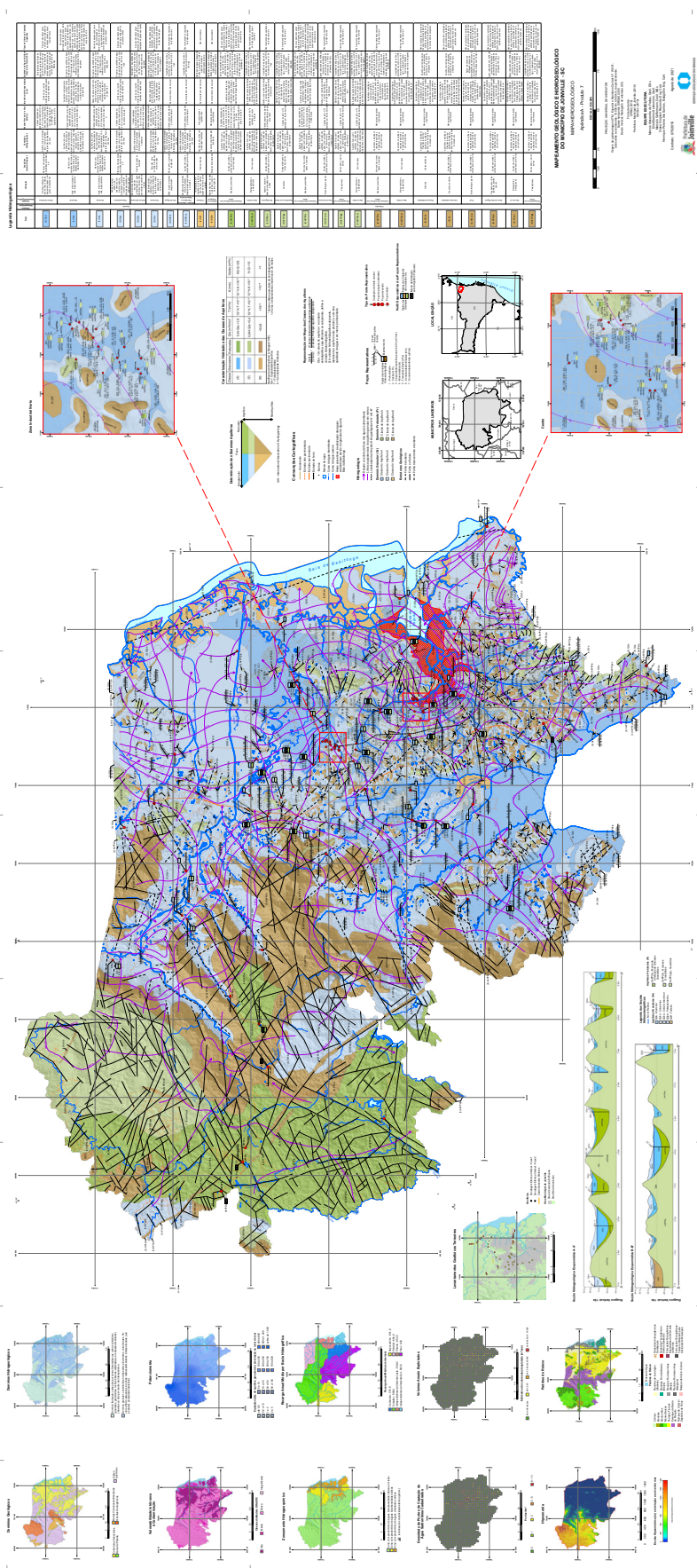
Marcelo Goffermann

Geólogo MSc
CREA SC 063873-7
RN 2200017715

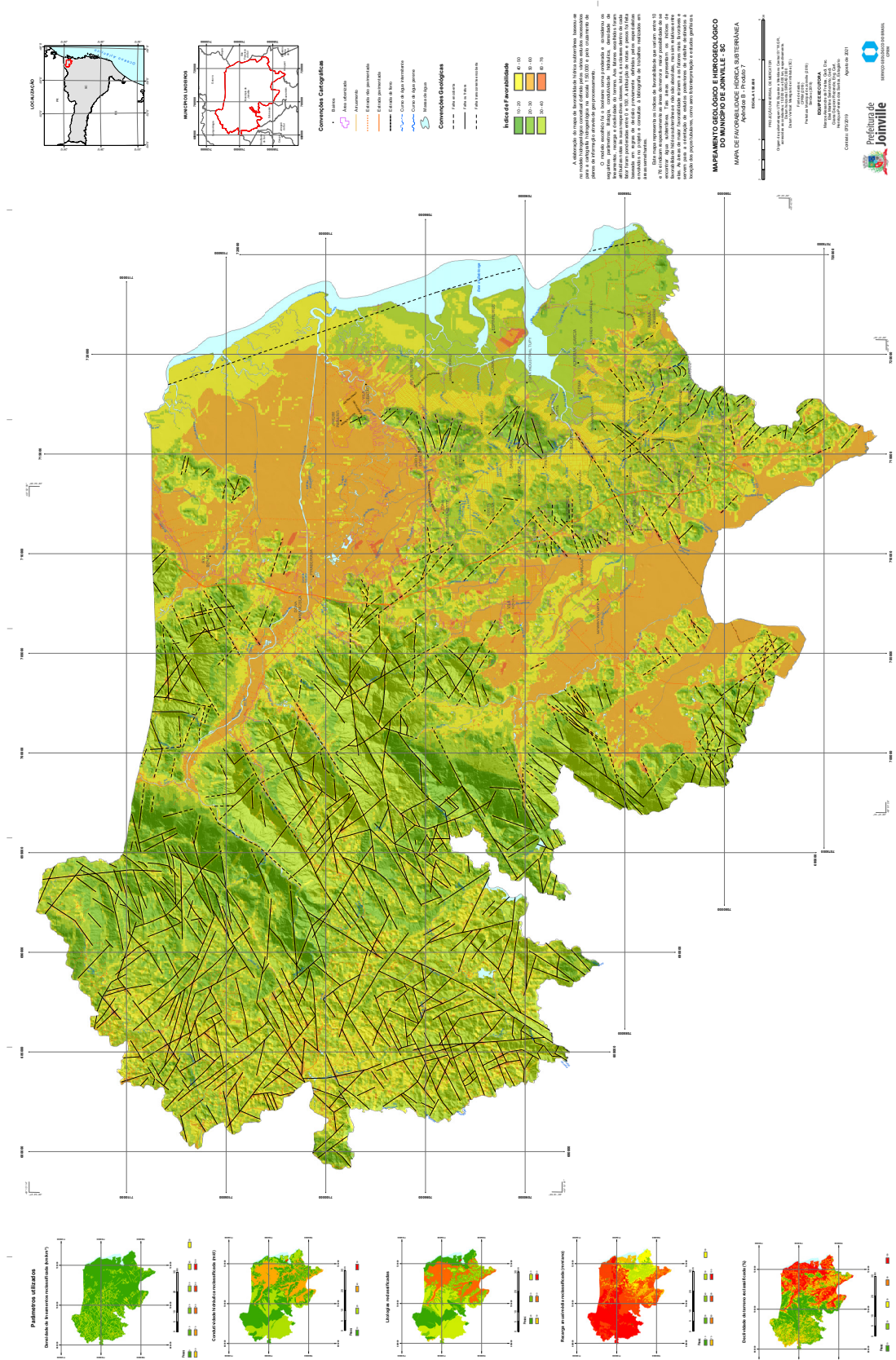
Giana Grupioni Rezende

Engenheira Cartógrafa
CREA SP 5069508006
RN 2614166901

11. APÊNDICE A – MAPA HIDROGEOLÓGICO – ESCALA 1:50.000



12. APÊNDICE B – MAPA DE FAVORABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA - ESCALA 1:50.000



13. APÊNDICE C – PLANILHA DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO REALIZADOS

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville				DATA: 16/01/2020				
Localidade: Mercado Schoerer				INÍCIO: 09:10				
Poço: JAP-007				TÉRMINO: 15:10				
Prof. 33 m				TEMPO : 06 horas				
Coord. 26°09'56" / 48°56'56"				N.E: (m)	3,47			
Bomba Submersa : Vanbro 5 HP				N.D: (m)	9,49			
Crivo da Bomba: 24 m				Rebaixamento: (m)	6,02			
REBAIXAMENTO						Recuperação		
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
9:11	1	4,36	12,75	5,65	0,89	0,5	8,83	5,36
9:12	2	4,6	12,81	5,62	1,13	1	8,61	5,14
9:13	3	4,76	12,90	5,58	1,29	1,5	8,5	5,03
9:14	4	4,89	12,72	5,66	1,42	2	8,4	4,93
9:15	5	4,99	15,37	4,68	1,52	2,5	8,32	4,85
9:16	6	5,09	13,22	5,45	1,62	3	8,25	4,78
9:17	7	5,17	13,01	5,53	1,7	3,5	8,19	4,72
9:18	8	5,25	13,05	5,52	1,78	4	8,12	4,65
9:19	9	5,32	13,00	5,54	1,85	5	8,02	4,55
9:20	10	5,39	13,41	5,37	1,92	6	7,92	4,45
9:22	12	5,5	13,28	5,42	2,03	7	7,84	4,37
9:24	14	5,61	13,41	5,37	2,14	8	7,76	4,29
9:26	16	5,72	13,75	5,24	2,25	9	7,7	4,23
9:28	18	5,81	12,90	5,58	2,34	10	7,62	4,15
9:30	20	5,9	13,82	5,21	2,43	12	7,5	4,03
9:35	25	6,09	13,99	5,15	2,62	14	7,39	3,92
9:40	30	6,27	12,30	5,85	2,8	16	7,29	3,82
9:45	35	6,45	13,07	5,51	2,98	18	7,21	3,74

continua...

...continuação

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville				DATA: 16/01/2020				
Localidade: Mercado Schoereder				INÍCIO: 09:10				
Poço: JAP-007				TÉRMINO: 15:10				
Prof. 33 m				TEMPO : 06 horas				
Coord. 26°09'56" / 48°56'56"				N.E: (m)	3,47			
Bomba Submersa : Vanbro 5 HP				N.D: (m)	9,49			
Crivo da Bomba: 24 m				Rebaixamento: (m)	6,02			
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
9:50	40	6,61	13,16	5,47	3,14	20	7,12	3,65
9:55	45	6,75	13,25	5,43	3,28	25	6,93	3,46
10:00	50	6,89	13,01	5,53	3,42	30	6,77	3,3
10:05	55	7,03	12,63	5,70	3,56	35	6,62	3,15
10:10	60	7,1	12,34	5,83	3,63	40	6,49	3,02
10:20	70	7,29	13,58	5,30	3,82	45	6,36	2,89
10:30	80	7,46	13,42	5,37	3,99	50	6,26	2,79
10:40	90	7,64	13,52	5,33	4,17	55	6,16	2,69
10:50	100	7,76	13,23	5,44	4,29	60	6,07	2,6
11:00	110	7,89	13,50	5,33	4,42			
11:10	120	8,04	13,51	5,33	4,57			
11:40	150	8,33	13,69	5,26	4,86			
12:10	180	8,58	13,52	5,33	5,11			
12:40	210	8,8	12,68	5,68	5,33			
13:10	240	8,96	13,16	5,47	5,49			
13:40	270	9,11	13,65	5,27	5,64			
14:10	300	9,25	13,62	5,29	5,78			
14:40	330	9,36	13,07	5,51	5,89			
15:10	360	9,49	13,65	5,27	6,02			
EQUIPE : Marcelo/Bruno/Luiz Alberto								

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville				DATA: 21/01/2020				
Localidade: Rancho Esser				INÍCIO: 11:05				
Poço: JEL032				TÉRMINO: 17:05				
Prof. 94,00 m				TEMPO : 06 horas				
Coord. 26°12'26"/ 48°52'49"				N.E: (m)		1,16		
Bomba Submersa : Vanbro 5HP				N.D: (m)		54,40		
Crivo da Bomba: 54 m				Rebaixamento: (m)		53,24		
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
11:06	1	8,27	3,58	20,11	7,11	0,5	50,4	49,24
11:07	2	12,66	8,75	8,23	7,59	1	47,66	46,50
11:08	3	14,3	16,00	4,50	14,84	1,5	46	44,84
11:09	4	13:12	16,50	4,36	13,39	2	44,19	43,03
14:05	5	14,64	12,70	5,67	13,48	2,5	42,34	41,18
11:11	6	14,93	14,15	5,09	13,77	3	41	39,84
11:12	7	15,13	14,10	5,11	13,97	3,5	39,18	38,02
11:13	8	15,54	14,46	4,98	14,38	4	37,73	36,57
11:14	9	15,99	14,11	5,10	14,83	5	34,44	33,28
11:15	10	16,43	14,28	5,04	15,27	6	31,6	30,44
11:17	12	17,34	14,50	4,97	16,18	7	26,61	25,45
11:19	14	18,14	14,52	4,96	16,98	8	26	24,84
11:21	16	18,94	14,62	4,92	17,78	9	23,01	21,85
11:23	18	19,79	14,60	4,93	18,63	10	20,42	19,26
11:25	20	20,6	14,57	4,94	19,44	12	15,02	13,86
11:30	25	23,11	14,53	4,96	21,95	14	10,58	9,42
11:35	30	25,87	14,48	4,97	24,71	16	8,05	6,89
11:40	35	26,56	14,52	4,96	25,4	18	7,1	5,94
11:45	40	31,01	14,22	5,06	29,85	20	5,6	4,44
11:50	45	33,87	14,94	4,82	32,71	25	4,35	3,19

continua...

...continuação

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville				DATA: 21/01/2020				
Localidade: Rancho Esser				INÍCIO: 11:05				
Poço: JEL032				TÉRMINO: 17:05				
Prof. 94,00 m				TEMPO : 06 horas				
Coord. 26°12'26"/ 48°52'49"				N.E: (m)	1,16			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP				N.D: (m)	54,40			
Crivo da Bomba: 54 m				Rebaixamento: (m)	53,24			
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
11:55	50	37,62	15,25	4,72	36,46	30	3,66	2,50
12:00	55	38,25	14,54	4,95	37,09			
12:05	60	40,32	14,32	5,03	39,16			
12:15	70	42,58	15,28	4,71	41,42			
12:25	80	45,35	15,64	4,60	44,19			
12:35	90	45,95	16,25	4,43	44,79			
12:45	100	47,04	16,41	4,39	45,88			
12:55	110	48	16,35	4,40	46,84			
13:05	120	48,87	16,60	4,34	47,71			
13:35	150	49,94	17,56	4,10	48,78			
14:05	180	48,6	17,16	4,20	47,44			
14:35	210	48,63	16,94	4,25	47,47			
15:05	240	50,71	17,97	4,01	49,55			
15:35	270	49,97	17,32	4,16	48,81			
16:05	300	49,79	16,81	4,28	48,63			
16:35	330	53,69	18,62	3,87	52,53			
17:05	360	54,40	18,30	3,93	53,24			
EQUIPE : Marcelo/Bruno/Luiz Alberto								

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO									
Município: Joinville				DATA: 20/01/2020					
Localidade: Sementes Macoppi				INÍCIO: 14:00					
Poço: JML010				TÉRMINO: 19:00					
Prof. 71 m				TEMPO : 05 horas					
Coord.26°21'37"/ 48°57'20"				N.E: (m)		2,47			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP				N.D: (m)		6,17			
Crivo da Bomba: 72 m				Rebaixamento: (m)		3,70			
REBAIXAMENTO					Recuperação				
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p	
14:01	1	3,36	3,44	20,93	0,89	0,50	5,43	2,96	
14:02	2	3,53	4,25	16,94	1,78	1,00	5,28	2,81	
14:03	3	3,66	4,42	16,29	1,95	1,50	5,19	2,72	
14:04	4	3,77	3,37	21,36	1,3	2	5,11	2,64	
14:05	5	3,86	3,81	18,90	1,39	2,5	5,06	2,59	
14:06	6	3,93	3,91	18,41	1,46	3	5,01	2,54	
14:07	7	3,97	4,07	17,69	1,5	3,5	4,97	2,50	
14:08	8	4,03	4,13	17,43	1,56	4	4,92	2,45	
14:09	9	4,08	4,15	17,35	1,61	5	4,76	2,29	
14:10	10	4,14	4,30	16,74	1,67	6	4,69	2,22	
14:12	12	4,23	4,01	17,96	1,76	7	4,65	2,18	
14:14	14	4,28	3,12	23,08	1,81	8	4,57	2,10	
14:16	16	4,36	4,01	17,96	1,89	9	4,55	2,08	
14:18	18	4,4	3,85	18,70	1,93	10	4,49	2,02	
14:20	20	4,45	3,93	18,32	1,98				
14:25	25	4,59	3,87	18,60	2,12				
14:30	30	4,68	4,01	17,96	2,21				
14:35	35	4,79	3,95	18,23	2,32				
14:40	40	4,9	3,28	21,95	2,43				
14:45	45	4,94	4,13	17,43	2,47				

continua...

...continuação

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville			DATA: 20/01/2020					
Localidade: Sementes Macoppi			INÍCIO: 14:00					
Poço: JML010			TÉRMINO: 19:00					
Prof. 71 m			TEMPO : 05 horas					
Coord.26°21'37"/ 48°57'20"			N.E: (m)		2,47			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP			N.D: (m)		6,17			
Crivo da Bomba: 72 m			Rebaixamento: (m)		3,70			
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
14:50	50	4,99	4,06	17,73	2,52			
14:55	55	5,06	4,14	17,39	2,59			
15:00	60	5,11	4,03	17,87	2,64			
15:10	70	5,15	4,06	17,73	2,68			
15:20	80	5,19	3,57	20,17	2,72			
15:30	90	5,32	3,72	19,35	2,85			
15:40	100	5,4	3,82	18,85	2,93			
15:50	110	5,45	3,78	19,05	2,98			
16:00	120	5,52	4,10	17,56	3,05			
16:30	150	5,66	3,78	19,05	3,19			
17:00	180	5,8	3,72	19,35	3,33			
17:30	210	5,92	3,77	19,10	3,45			
18:00	240	5,98	4,07	17,69	3,51			
18:30	270	6,1	4,06	17,73	3,63			
19:00	300	6,17	4,16	17,31	3,7			
EQUIPE : Marcelo/Bruno/Luiz Alberto								

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO									
Município: Joinville				DATA: 29/01/2020					
Localidade: CT Joinville (JEC)				INÍCIO: 09:15					
Poço:JML009				TÉRMINO: 14:45					
Prof. 37,00 m				TEMPO : 05:30					
Coord. 26°18'42"/ 48°55'08				N.E: (m):		3,70			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP				N.D: (m):		16,98			
Crivo da Bomba: 36 m				Rebaixamento: (m)		13,28			
REBAIXAMENTO							Recuperação		
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t'	N.A	Rec.p	
9:16	1	9,41	27,53	2,62	5,71	0,5	14,5	10,80	
9:17	2	9,56	28,57	2,52	5,86	1	12,83	9,13	
9:18	3	9,68	29,35	2,45	5,98	1,5	11,35	7,65	
9:19	4	9,82	28,40	2,54	6,12	2	10,11	6,41	
9:20	5	9,95	28,25	2,55	6,25	2,5	9,12	5,42	
9:21	6	10,03	29,22	2,46	6,33	3	8,23	4,53	
9:22	7	10,08	28,22	2,55	6,38	3,5	7,54	3,84	
9:23	8	10,14	29,94	2,40	6,44	4	7,02	3,32	
9:24	9	10,13	29,81	2,42	6,43	5	6,17	2,47	
9:25	10	10,13	29,74	2,42	6,43	6	5,66	1,96	
9:27	12	10,17	30,46	2,36	6,47	7	5,36	1,66	
9:29	14	10,21	30,38	2,37	6,51	8	5,17	1,47	
9:31	16	10,24	30,25	2,38	6,54	9	5,05	1,35	
9:33	18	10,27	30,85	2,33	6,57	10	4,96	1,26	
9:35	20	10,3	29,87	2,41	6,6	12	4,85	1,15	
9:40	25	10,37	29,90	2,41	6,67	14	4,78	1,08	
9:45	30	10,43	29,91	2,41	6,73	16	4,72	1,02	
9:50	35	10,47	29,12	2,47	6,77	18	4,67	0,97	
9:55	40	11,03	27,53	2,62	7,33	20	4,63	0,93	
10:00	45	11,16	27,34	2,63	7,46				
10:05	50	11,17	27,97	2,57	7,47				

continua...

...continuação

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO									
Município: Joinville				DATA: 29/01/2020					
Localidade: CT Joinville (JEC)				INÍCIO: 09:15					
Poço:JML009				TÉRMINO: 14:45					
Prof. 37,00 m				TEMPO : 05:30					
Coord. 26°18'42"/ 48°55'08				N.E: (m):		3,70			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP				N.D: (m):		16,98			
Crivo da Bomba: 36 m				Rebaixamento: (m)		13,28			
REBAIXAMENTO							Recuperação		
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p	
10:10	55	12,44	24,11	2,99	8,74				
10:15	60	12,65	25,13	2,87	8,95				
10:25	70	12,73	25,16	2,86	9,03				
10:35	80	12,8	24,66	2,92	9,1				
10:45	90	12,85	24,67	2,92	9,15				
10:55	100	12,88	24,78	2,91	9,18				
11:05	110	12,93	24,87	2,90	9,23				
11:15	120	14,16	22,41	3,21	10,46				
11:45	150	14,28	23,18	3,11	10,58				
12:15	180	14,27	22,73	3,17	10,57				
12:45	210	15,82	21,56	3,34	12,12				
13:15	240	15,92	20,87	3,45	12,22				
13:45	270	16,01	20,80	3,46	12,31				
14:15	300	16,02	21,25	3,39	12,32				
14:45	330	16,98	19,07	3,78	13,28				
EQUIPE : Marcelo/Bruno/Luiz Alberto									

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville			DATA: 25/01/2020					
Localidade: Fábr. de Tubos PMJ			INÍCIO: 09:00					
Poço:JML007			TÉRMINO: 14:00					
Prof. 102,00 m			TEMPO : 05 horas					
Coord. 26°13'58 / 48°55'15			N.E: (m)		4,05			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP			N.D: (m)		19,90			
Crivo da Bomba: 72 m			Rebaixamento: (m)		15,85			
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t´	N.A	Rec.p
9:01	1	7,56	7,11	10,13	3,51	0,5	14,98	10,93
9:02	2	8,41	7,90	9,11	3,85	1	14	9,95
9:03	3	8,92	7,87	9,15	3,82	1,5	13,1	9,05
9:04	4	9,26	8,03	8,97	5,21	2	12,52	8,47
9:05	5	9,5	8,12	8,87	5,45	2,5	12,07	8,02
9:06	6	9,7	7,78	9,25	5,65	3	11,76	7,71
9:07	7	9,85	8,06	8,93	5,8	3,5	11,47	7,42
9:08	8	9,99	7,94	9,07	5,94	4	11,19	7,14
9:09	9	10,11	8,09	8,90	6,06	5	10,81	6,76
9:10	10	10,2	7,31	9,85	6,15	6	10,58	6,53
9:12	12	10,4	7,97	9,03	6,35	7	10,31	6,26
9:14	14	10,55	7,81	9,22	6,5	8	10,14	6,09
9:16	16	10,67	7,91	9,10	6,62	9	9,93	5,88
9:18	18	10,8	7,82	9,21	6,75	10	9,77	5,72
9:20	20	10,9	8,03	8,97	6,85	12	9,53	5,48
9:25	25	11,12	8,03	8,97	7,07	14	9,24	5,19
9:30	30	11,31	8,01	8,99	7,26	16	9,07	5,02
9:35	35	11,47	8,03	8,97	7,42	18	8,9	4,85
9:40	40	11,61	8,00	9,00	7,56	20	8,73	4,68
9:45	45	11,75	8,22	8,76	7,7	25	8,4	4,35

PLANILHA DE TESTE DE BOMBEAMENTO								
Município: Joinville			DATA: 25/01/2020					
Localidade: Fábr. de Tubos PMJ			INÍCIO: 09:00					
Poço: JML007			TÉRMINO: 15:00					
Prof. 102,00 m			TEMPO : 06 horas					
Coord. 26°13'58 / 48°55'15			N.E: (m)		4,05			
Bomba Submersa : Vanbro 5HP			N.D: (m)		19,90			
Crivo da Bomba: 72 m			Rebaixamento: (m)		15,85			
REBAIXAMENTO					Recuperação			
HORA	t (min)	N.A.	t (seg)	Q(m3/h)	Reb	t'	N.A	Rec.p
9:50	50	11,87	7,90	9,11	7,82	30	8,12	4,07
9:55	55	11,97	8,03	8,97	7,92	35	7,88	3,83
10:00	60	12,07	8,00	9,00	8,02	40	7,68	3,63
10:10	70	13,7	6,37	11,30	9,65	45	7,51	3,46
10:20	80	13,97	6,38	11,29	9,92	50	7,35	3,30
10:30	90	14,64	5,47	13,16	10,59	55	7,2	3,15
10:40	100	14,97	5,44	13,24	10,92	60	7,07	3,02
10:50	110	15,6	5,47	13,16	11,55			
11:00	120	17,02	4,03	17,87	12,97			
11:30	150	18,2	4,02	17,91	14,15			
12:00	180	18,64	4,56	15,79	14,59			
12:30	210	18,98	4,43	16,25	14,93			
13:00	240	19,2	4,25	16,94	15,15			
13:30	270	19,42	4,43	16,25	15,37			
14:00	300	19,58	4,53	15,89	15,53			
14:30	330	19,74	4,37	16,48	15,69			
15:00	360	19,9	4,52	15,93	15,85			
EQUIPE : Marcelo/Bruno/Luiz Alberto								

Os mapas hidrogeológicos são documentos direcionados a fornecer informações sobre a ocorrência e distribuição das águas subterrâneas, estabelecendo sobretudo a base de compreensão da relação entre as águas subterrâneas e o meio ambiente. São destinados, entre outras funções, ao gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

É nesse contexto que se insere o Produto 7 - Mapa Hidrogeológico e de Favorabilidade Hídrica Subterrânea do município de Joinville-SC. O mapeamento hidrogeológico de Joinville reúne as informações hídricas subterrâneas em um documento que apresenta em detalhe as unidades hidroestratigráficas que ocorrem no município. A escala 1:50.000, utilizada para confecção do mapa, permite a apresentação da hidrogeologia numa média proporção, fornecendo uma visão sinóptica dos aquíferos presentes no território de Joinville.

O mapa de favorabilidade hídrica subterrânea, elaborado a partir do cruzamento de vários planos de informação através de geoprocessamento, representa os Índices de favorabilidade indicadores da possibilidade de se encontrar água subterrânea através da perfuração de poços. Os Índices de favorabilidade hídrica subterrânea não são absolutos, mas sim relativos entre si. Nas áreas com maior favorabilidade, há a convergência de fatores de maior propensão para ocorrência de águas subterrâneas. E nestas áreas devem ser realizados estudos posteriores de detalhe destinados à locação dos poços tubulares, como aero fotointerpretação e estudos geofísicos.

Os mapas referentes a este relatório encontram-se na seguinte forma: Apêndice A - Mapa Hidrogeológico – Escala 1:50.000 e Apêndice B - Mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea – Escala 1:50.000. Tais mapas, juntamente com as principais captações de água subterrânea cadastradas e demais informações, compõem um SIG (Sistema de Informações Geográficas) que acompanha este produto em formato digital.

Contrato SEI Nº 1621270-SAP.GABE/SAP.USU/SAP.USU.ADI

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Superintendência Regional de Porto Alegre
Rua Banco da Província, 105 – Santa Tereza
Porto Alegre – RS – CEP: 90840-030
Tel.: (51) 3406-7300