

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGENS NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

Contrato nº 004/2015



ETAPA - ESTUDOS BÁSICOS

PRODUTO Nº 10 - RELATÓRIO dos ESTUDOS HIDROLÓGICOS



CONTRATO N.º: 004/2015		ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DE CHEIAS E ESTIAGENS NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ			
DOCUMENTO N.º: RT-EB-06-2017-HID-001-02		PRODUTO 10 RELATÓRIO ESTUDOS HIDROLÓGICOS			
Revisão	Data	Descrição	Elaborado p/	Aprovado p/	Status
R00	15/10/2016	Emissão inicial	Consórcio Gravataí	METROPLAN	Parecer
R01	31/03/2017	Atender Parecer Metroplan	Consórcio Gravataí	METROPLAN	Parecer
R02	30/06/2017	Atender Parecer Metroplan	Consórcio Gravataí	METROPLAN	Para aprovação
Elaboração		Cliente		Responsáveis Técnico	
CONSÓRCIO GRAVATAÍ		METROPLAN		Engº ORGEL CARVALHO FILHO CREA RS 087284 Engº LUCIANO BEZERRA CREA RS 055454 Engº WELLINGTON COIMBRA LOU CREA RJ 22414-D	

EQUIPE TÉCNICA

Equipe Principal:

- Eng. Orgel de Oliveira Carvalho Filho;
- Eng. Ricardo de Magalhães Santiago;
- Eng. Luciano Bezerra da Silva;
- Eng. José Carlos Leite Diehl;
- Eng. Wellington Coimbra Lou;
- Eng. José Augusto Jordão Castro;
- Arq. Clarice Debiagi;
- Soc. Roseli Kepeler

Equipe Complementar:

- Eng. Lawson Beltrame
- Eng. Alexandre Augusto Mees Alves;
- Eng. Thiago Araldi;
- Eng. Luiz Costa Borges;
- Eng. Carlos Wagner da Motta Meirelles;

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	11
2	INTRODUÇÃO	13
3	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	14
3.1	Objetivos do Relatório	14
3.2	Planejamento geral	14
4	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	16
4.1	Geologia	29
4.2	Hidrogeologia	30
4.2.1	Zoneamento dos sistemas aquíferos	31
4.2.2	Sistema Aquífero do Escudo	32
4.2.3	Sistema Aquífero Permo-Carbonífero	32
4.2.4	Sistema Aquífero Guarani	33
4.2.5	Sistema Aquífero Basáltico	34
4.2.6	Sistema Aquífero Litorâneo	34
4.2.7	Capacidade Produção Aquífero	35
4.3	Pedologia	35
4.3.1	Argissolo	35
4.3.2	Gleissolo	36
4.3.3	Neossolo	37
4.3.4	Chernossolo	37
4.3.5	Planossolo	38
4.3.6	Grupos Hidrológicos x Grupos de Solos	41
4.4	Uso do Solo	41
4.5	Caracterização Fisiográfica das Macrobacias	43
4.5.1	Coefficiente de Compacidade	43
4.5.2	Fator de Forma	43
4.5.3	Densidade de Drenagem	44
4.5.4	Declividade do Rio	44
4.5.5	Tempo de Concentração	45
5	SELEÇÃO, CONSISTÊNCIA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	47
5.1	Disponibilidade de Dados Hidrológicos	47
5.1.1	Séries Pluviométricas	47
5.1.2	Séries Fluviométricas	54
5.2	Séries Climatológicas	60
5.3	Demais Bases de Dados Utilizadas	62
5.4	Seleção e Consistência de Dados Pluviométricos	63
5.4.1	Séries e Períodos Seleccionados	64
5.5	Seleção e Consistência de Dados Fluviométricos	66

5.5.1	Estação Passo das Canoas	66
5.5.2	Estação Passo das Canoas Auxiliar	70
5.5.3	Estação Banhado Grande	73
5.5.4	Estação Passo Grande	74
5.5.5	Cerâmica Cherubini	77
5.6	Caracterização Climatológica da Bacia	80
5.6.1	Classificação Climatológica	80
5.6.2	Precipitação Total Mensal	80
5.6.3	Umidade Relativa do Ar - Média Mensal	90
5.6.4	Insolação	90
5.6.5	Nebulosidade - Média Mensal	91
5.6.6	Temperatura - Média Mensal	91
5.6.7	Pressão Atmosférica - Média Mensal	92
5.6.8	Evaporação - Média Mensal	93
5.6.9	Evapotranspiração Potencial e Real (MOD16)	93
5.6.10	Balanço Hídrico das Estações Pluviométricas	95
5.6.11	Balanço Hídrico das Estações Fluviométricas	96
6	USOS DA ÁGUA	98
6.1	Usos e Conflitos	98
6.1.1	Outorgas	99
6.1.2	Irrigação	101
6.1.3	Abastecimento Público	103
6.1.4	Criação Animal	105
6.1.5	Usos Industriais	106
6.1.6	Vazão de Retorno	109
6.1.7	Efeito das Demandas	114
7	DISCRETIZAÇÃO DA BACIA E AJUSTE DO MODELO HIDROLÓGICO	116
7.1	Conceito	116
7.2	Descrição dos Módulos do Modelo	117
7.2.1	Componentes do Modelo Chuva-Vazão	117
7.2.2	Componente Modelo da Bacia	118
7.2.3	Especificação de Controle	120
7.3	Divisão de Sub-Bacias	120
7.4	Determinação dos Parâmetros Hidrológicos	125
7.4.1	Coeficiente CN e impermeabilização	125
7.4.2	Escoamento Superficial	129
7.4.3	Hidrogramas	130
7.4.4	Propagação de Vazões	131
7.4.5	Evapotranspiração	132

7.4.6	Interceptação.....	132
7.4.7	Escoamento de base.....	133
7.5	Caracterização dos Reservatórios.....	133
7.6	Espacialização da Precipitação nas Sub-bacias.....	134
7.7	Calibração do Modelo.....	136
7.7.1	Calibração e Validação do Modelo para Estiagem.....	136
7.7.1	Calibração e Validação do Modelo para as Eventos de Cheia.....	141
8	RESULTADOS.....	145
8.1	Disponibilidade Hídrica.....	145
8.1.1	Vazões de Referência.....	145
8.1.2	Demandas.....	147
8.1.3	Disponibilidade.....	147
8.1.4	Conceito Balanço Hídrico.....	159
8.1.5	Conclusão.....	169
8.2	Eventos de Cheias.....	169
8.2.1	Distribuição Espacial das Precipitações.....	170
8.2.2	Distribuição Temporal das Precipitações.....	170
8.2.3	Precipitações Extremas.....	172
8.2.4	Condições Iniciais.....	172
8.2.5	Resultados.....	173
9	REFERÊNCIAS.....	179
10	ANEXO.....	181
10.1	Influência do Remanso do Rio Guaíba na Estação Passo das Canoas Auxiliar.....	181
10.1.1	Análise 1: Cota de Fundo da Estação Passo das Canoas Auxiliar.....	181
10.1.2	Análise 2: Curva de Descarga por Trechos.....	181
10.1.3	Análise 3: Curva Chave por Equação de Manning.....	188

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades de Gestão da Bacia do Rio Gravataí.....	19
Figura 2 - Diagrama Unifilar das sub-bacias do Rio Gravataí	20
Figura 3 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Alto Gravataí – Formadores.....	25
Figura 4 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Alto Gravataí – Banhados.....	26
Figura 5 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Médio Gravataí.....	27
Figura 6 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Baixo Gravataí – Região Urbanizada	28
Figura 7 - Mapa Geológico da bacia do Rio Gravataí.....	39
Figura 8 - Mapa Pedológico da bacia do Rio Gravataí.	40
Figura 9 - Classificação do uso do solo (Plano de Bacia do Rio Gravataí, 2011).	42
Figura 10 - Mapa das Estações Pluviométricas e Fluviométricas	49
Figura 11 - Cotas médias anuais – Passo das Canoas.....	67
Figura 12 - Estação Sapucaia do Sul - Chuva total anual (mm).....	68
Figura 13 - Estação Porto Alegre - Chuva total anual (mm)	68
Figura 14 - Estação Praça da Harmonia – Cota Média Observada (cm)	69
Figura 15 - Estação Ilha da Pintada – Cota média observada (cm)	69
Figura 16 - Passo das Canoas Auxiliar – Cotas médias anuais	71
Figura 17 - Passo das Canoas Auxiliar – Vazões médias anuais	71
Figura 18 - Passo das Canoas Auxiliar – Vazões máximas anuais.....	72
Figura 19 - Passo das Canoas Auxiliar – Variação intranual.....	72
Figura 20 - Conceito do controle hidráulico do exutório do Banhado Grande.....	74
Figura 21 - Passo Grande – Cotas médias anuais	74
Figura 22 - Passo Grande – Vazões médias anuais.....	75
Figura 23 - Passo Grande – Vazões médias anuais.....	75
Figura 24 - Passo Grande – Variação intranual.....	76
Figura 25 - Passo Grande – Curva de Descarga.....	76
Figura 26 - Cerâmica Cherubini – Cotas médias anuais	77
Figura 27 - Cerâmica Cherubini – Vazões médias anuais.....	78
Figura 28 - Cerâmica Cherubini – Vazões médias anuais.....	78
Figura 29 - Passo Grande – Variação intranual.....	79
Figura 30 - Cerâmica Cherubini – Curva de Descarga	79
Figura 31 - Precipitação Total Mensal (I)	82
Figura 32 - Precipitação Total Mensal (II)	83
Figura 33 - Precipitação Total Média Anual.	85
Figura 34 - Precipitação Total Média do 1º Trimestre	86
Figura 35 - Precipitação Total Média do 2º Trimestre	87
Figura 36 - Precipitação Total Média do 3º Trimestre	88
Figura 37 - Precipitação Total Média do 4º Trimestre	89
Figura 38 - Umidade Relativa Média do Ar.	90

Figura 39 - Insolação Total.....	90
Figura 40 - Nebulosidade Total.....	91
Figura 41 - Temperatura Média Mínima e Máxima Mensal	92
Figura 42 - Pressão Atmosférica Média Mensal.....	92
Figura 43 - Evaporação Mensal.....	93
Figura 44 - Evapotranspiração Potencial Média Mensal - MOD 16.....	93
Figura 45 - Evapotranspiração Real Média Mensal - MOD 16	94
Figura 46 - Balanço Hídrico Mensal (por Estação)	96
Figura 47 - Área real de plantio de arroz na Bacia e estimativa para os demais anos	102
Figura 48 - Coeficiente de Demanda de Irrigação por Safra	103
Figura 49 - Demandas Agrícolas.....	103
Figura 50 - Vazões de Retorno do Abastecimento Público	110
Figura 51 - Vazões de Retorno.....	113
Figura 52 - Distribuição dos Consumos Anuais na bacia do Gravataí	114
Figura 53 - Distribuição das Demandas na Bacia Safra 2015-2016) – Volumes Anuais	115
Figura 54 - Fluxograma do processo de modelagem hidrológica.....	118
Figura 55 - Fluxograma Simplificado do Processo de Cálculo de Vazão.....	120
Figura 56 - Nomenclatura dos componentes hidrológicos utilizados no modelo: sub-bacias.....	123
Figura 57 - Nomenclatura dos componentes hidrológicos utilizados no modelo: trechos.....	124
Figura 58 - Classificação do coeficiente CN para as sub-bacias do modelo.....	127
Figura 59 - Percentual de impermeabilização na bacia do Gravataí.....	128
Figura 60 - Representação simplificada do Método SMA.....	130
Figura 61 - Passo das Canoas Auxiliar – séries simuladas e observadas (2000 a 2016).....	137
Figura 62 - Passo das Canoas Auxiliar – curva de permanência	138
Figura 63 - Passo Grande – séries simuladas e observadas (2000 a 2016).....	139
Figura 64 - Passo Grande – curva de permanência	139
Figura 65 - Cerâmica Cherubini – séries simuladas e observadas (2000 a 2016).....	140
Figura 66 - Cerâmica Cherubini – curva de permanência	141
Figura 67 - Passo das Canoas Auxiliar – Resultados da calibração.....	143
Figura 68 - Passo Grande – Resultados da calibração.....	143
Figura 69 - Cerâmica Cherubini – Resultados da calibração.....	144
Figura 70 - Vazão de Permanência Q85%	151
Figura 71 - Vazão de Permanência Q90%	152
Figura 72 - Vazão de Permanência Q95%	153
Figura 73 - Vazão de Permanência Q99%	154
Figura 74 - Vazão Específica ao longo do Rio Gravataí x Área de Drenagem	155
Figura 75 - Vazão de Referência Q85% ao longo do ano, ao longo do Rio Gravataí	157
Figura 76 - Vazão de Referência Q90% ao longo do ano, ao longo do Rio Gravataí	159
Figura 77 - Vazão Remanescente.....	159

Figura 78 - Falhas de Atendimento – Q85% e C=0,90 – déficit médio.....	163
Figura 79 - Falhas de Atendimento – Q85% e C=0,90 – falhas e déficit de volume	163
Figura 80 - Falhas de Atendimento – Q90% e C=0,90 – falhas e déficit médio percentual	164
Figura 81 - Falhas de Atendimento – Q90% e C=0,90 – falhas e déficit de volume	164
Figura 82 - Área de Drenagem (% da bacia) acumulada por trecho modelado do Rio Gravataí	165
Figura 83 - Disponibilidade e déficit ao longo do ano ao longo do Rio Gravataí.....	167
Figura 84 - Déficit médio de vazão (%).....	168
Figura 85 - Vazões com TR 5 anos.....	174
Figura 86 - Vazões com TR 10 anos	175
Figura 87 - Vazões com TR 25 anos	176
Figura 88 - Vazões com TR 50 anos	177
Figura 89 - Vazões com TR 100 anos	178
Figura 90 - Influência dos níveis do Guaíba para mesma vazão [Q] na Estação Passo das Canoas	181
Figura 91 - Passo das Canoas Auxiliar - Trechos das Curvas de Descarga.....	182
Figura 92 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho A.....	185
Figura 93 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho B.....	186
Figura 94 - Cota Passo das Canoas x Praça da Harmonia – Trecho B	187
Figura 95 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho C	187
Figura 96 - Diferença de cotas entre Passo das Canoas Auxiliar e Praça da Harmonia – Trecho C	188
Figura 97 - Seção hidráulica na estação Passo das Canoas Auxiliar.	189
Figura 98 - Comparação da largura da seção hidráulica: seção simulada x resumos de descarga. .	189
Figura 99 - Comparação das vazões observada (resumo de descarga) com as vazões obtidas.....	190

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Dados do Contratante	11
Quadro 2 - Dados do Consórcio.....	12
Quadro 3 - Dados do Contrato	12
Quadro 4 - Produtos previstos no contrato e status de execução	13
Quadro 5 - Características das Unidades de gestão da Bacia	21
Quadro 6 - Grupos Hidrológicos x Grupos de Solos.....	41
Quadro 7 - Resumo dos principais dados fisiográficos das sub-bacias do Rio Gravataí	46
Quadro 8 - Estações Pluviométricas com Disponibilidade de Dados	50
Quadro 9 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1944-1959).....	51
Quadro 10 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1960-1979).....	51
Quadro 11 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1980-1999).....	52
Quadro 12 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (2000-2016).....	52
Quadro 13 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Horários) (2000-2016).....	53
Quadro 14 - Estações Fluviométricas com Disponibilidade de Dados	55
Quadro 15 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1929-1949)	55
Quadro 16 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1950-1969)	56
Quadro 17 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1970-1989)	56
Quadro 18 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1990-2009)	57
Quadro 19 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos - Cota (Diários) (2010-2016)	57
Quadro 20 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos - Cota (Horários) (2013-2016).....	58
Quadro 21 - Disponibilidade de Dados Fluviométricos - Vazão (Diários) (1991-2016).....	58
Quadro 22 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1940-1959).....	58
Quadro 23 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1960-1979).....	58
Quadro 24 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1980-1999).....	59
Quadro 25 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (2000-2016).....	59
Quadro 26 - Bases de Dados Utilizadas	62
Quadro 27 - Séries Pluviométricas Utilizadas.....	65
Quadro 28 - Séries Fluviométricas Utilizadas.....	66
Quadro 29 - Resumo da Estação Passo das Canoas Auxiliar.	73
Quadro 30 - Resumo das características da estação Passo Grande.....	77
Quadro 31 - Resumo das características da Estação Cerâmica Cherubini.	80
Quadro 32 - Precipitação Total Média Mensal.....	81
Quadro 33 - Precipitação Total Trimestral e Anual.....	84
Quadro 34 - Evapotranspiração Potencial Mensal (2000 a 2014).....	94
Quadro 35 - Evapotranspiração Real Mensal (Média, Mínima e Máxima) (2000 a 2014).....	95
Quadro 36 - Balanço Hídrico das Estações Fluviométricas.....	97
Quadro 37 - Outorga Superficial para a bacia do Gravataí	100
Quadro 38 - Outorga Subterrânea para a bacia do Gravataí	100

Quadro 39 - Estimativa das Áreas de Plantio de Arroz (1998 a 2016).....	101
Quadro 40 - Alocação das áreas de cultivo por trecho da bacia.	102
Quadro 41 - Demanda per capita para criação animal (l/cab/dia)	106
Quadro 42 - Demanda para Criação Animal por Município (l/s)	106
Quadro 43 - Coeficientes de retirada e retorno de acordo com setor industrial	107
Quadro 44 - PIB Industrial por município na bacia do Gravataí.	107
Quadro 45 - Caracterização do setor industrial na bacia do Gravataí.....	108
Quadro 46 - Estimativa de Demanda Industrial na bacia do Gravataí.....	108
Quadro 47 - Estimativas de demandas de diferentes trabalhos.	109
Quadro 48 - Cálculo das Vazões de Retorno à Bacia do Gravataí.	112
Quadro 49 - Concepção do modelo hidrológico para o estudo de cheias e estiagens na Bacia	116
Quadro 50 - Componentes do Modelo Hidrológico.....	119
Quadro 51 - Nomenclatura das sub-bacias adotadas no modelo hidrológico.	121
Quadro 52 - Coeficiente CN e Impermeabilização para as diferentes classes de uso de solo.....	126
Quadro 53 - Influência de cada posto pluviométrico na geração da série espacializada.....	135
Quadro 54 - Passo das Canoas Auxiliar - Qualidade do ajuste para eventos selecionados	142
Quadro 55 - Passo Grande - Qualidade do ajuste para eventos selecionados.....	142
Quadro 56 - Cerâmica Cherubini - Qualidade do ajuste para eventos selecionados.....	142
Quadro 57 - Legislação referente a vazões máximas outorgáveis por estado.....	146
Quadro 58 - Critérios de vazão máxima outorgável no RS	147
Quadro 59 - Probabilidade de excedência de vazões médias diárias, por sub-bacia do modelo.	148
Quadro 60 - Probabilidade de excedência de vazões médias diárias, por trecho.....	149
Quadro 61 - Pontos de Controle e vazões características (m³/s).	155
Quadro 62 - Vazão de Permanência Q85% mensal para o trecho principal do Rio Gravataí (m³/s).	156
Quadro 63 - Vazão de Permanência Q90% mensal para o trecho principal do Rio Gravataí (m³/s).	158
Quadro 64 - Volumes considerados por sub-bacia.....	161
Quadro 65 - Demandas do abastecimento público e vazões demandadas (m³/s).....	162
Quadro 66 - Meses críticos quanto à disponibilidade no Rio Gravataí.....	166
Quadro 67 - Tempo de Concentração para as sub-bacias do modelo.	171
Quadro 68 - Passo das Canoas Auxiliar e Praça da Harmonia, diferença de cotas.	183

1 APRESENTAÇÃO

Este documento é parte integrante dos “Estudo de Alternativas e Projetos para Minimização do Efeito das Cheias e Estiagens na Bacia do Rio Gravataí” e trata do PRODUTO 10 – RELATÓRIO dos ESTUDOS HIDROLÓGICOS, conforme descrito no Edital CELIC-RS nº 010/14 na modalidade de Regime de Contratação Diferenciada (RDC).

O contrato supracitado é financiado através do Orçamento Geral da União, operacionalizado pelo Ministério das Cidades, no âmbito do Plano de Aceleração do Crescimento-2 (PAC 2) e está inserido no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGR), atendendo aos municípios da bacia hidrográfica do Rio Gravataí, na Região Metropolitana de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul.

Quadro 1 - Dados do Contratante

DADOS DA CONTRATANTE	
Nome	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional - METROPLAN (citada daqui em diante como FISCALIZAÇÃO)
Endereço	Rua 24 de Outubro 388 - 4o andar - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS
Responsável pela Instituição	
Nome	Pedro Bisch Neto
Cargo	Diretor-Superintendente
Fiscal do Contrato	
Nome	Eng.ª Paula Branco Pinto
Telefone	(51) 3288-6000
E-mail	paula-pinto@metroplan.rs.gov.br

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 2 - Dados do Consórcio

DADOS DO CONSÓRCIO	
Nome Fantasia	Consórcio Metroplan Bacia Rio Gravataí
Empresas Componentes	
Razão social	Cohidro Consultoria, Estudos E Projetos Ltda.
Endereço	Rua 96, 585, loja comercial 7, Saquarema/RJ
Responsável	Eng.º Wellington Coimbra Lou
Telefone	(21) 2288-5462
E-mail	cohidro@cohidro.com.br
Razão social	Encop Engenharia Ltda.
Endereço	Av. Coronel Aparício Borges, nº 965 - salas 201, 202 e 203, Porto Alegre/RS
Responsável	Eng.º Luciano Bezerra
	Eng.º Thiago Araldi
Telefone	(51) 3028 4799
E-mail	luciano@encop.com
	thiago@encop.com
Razão social	M.J Engenharia Ltda.
Endereço	Rua Dr. Vale, 60, sala 501, Porto Alegre/RS
Responsável	Eng.º Orgel Carvalho Filho
	Eng.º Ricardo Santiago
Telefone	(51) 3013 5793
E-mail	orgel.filho@mjenharia.com
	ricardo.santiago@mjenharia.com

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 3 - Dados do Contrato

DADOS DO CONTRATO	
Termo de Compromisso do Estado do RS com União	0402.526-57/2012-RS
Editais CELIC	RDC 010/14
Número do contrato com a METROPLAN	004/2015
Objeto	Elaboração de estudo de alternativas e projetos para a minimização do efeito de cheias e estiagens na Bacia do Rio Gravataí
Ordem de início	16 de junho de 2015
Prazo	24 meses (contrato inicial mais primeiro termo aditivo)
Prazo Prorrogado Cfe. 1º Aditivo Contratual, de 08 de junho de 2016. FPE Nº 023001/2014 Exp. Administrativo 689-22.64/14-3	12 meses a contar de 15 de junho de 2016 (Término estimado em 15/06/17)
Prazo Prorrogado Cfe. 2º Aditivo Contratual, de 08 de junho de 2017. FPE Nº 023001/2014 Exp. Administrativos 689-22.64/14-3, 2391-22.64/15-1 e 2392-22.64/15-4	190 dias a contar de 16 de junho de 2017 (Término estimado em 23/12/17)

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

2 INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas e os produtos resultantes, bem como a metodologia empregada nos serviços de elaboração do “PRODUTO 10 – RELATÓRIO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS”, referente a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, localizada no estado do Rio Grande do Sul, conforme solicitado no Termo de Referência:

O estudo hidrológico tem por objetivo geral formar uma base teórica consistente com base nas informações hidrológicas disponíveis para o entendimento dos eventos de cheia e de estiagem no trecho de estudo do Rio Gravataí. É objetivo também desta etapa gerar todas as informações de entrada relevantes para a simulação matemática da propagação de cheias e elaboração dos mapas de inundação.

Este documento oferece subsídios para a elaboração dos demais produtos do presente projeto, além de poder ser disponibilizado publicamente para reuso por interessados nos temas abrangidos.

O Quadro 4 apresenta a relação de produtos previstos no presente projeto e a situação em que se encontrava o desenvolvimento de cada um dos produtos no momento do fechamento da presente edição.

Quadro 4 - Produtos previstos no contrato e status de execução

Número	Denominação do Produto	Status de Execução
1	Plano de Trabalho Consolidado	Executado
2	Consulta Pública - Relatório do Evento 1 - Plano de Trabalho	Executado
3	Consulta Pública - Relatório do Evento 2 - Diagnóstico	Não iniciado
4	Consulta Pública - Relatório do Evento 3 - Plano de Ação	Não iniciado
5	Base de Dados	Executado
6	Diagnóstico	Em revisão
7	Levantamento Topobatimétrico	Executado
8	Levantamento Aerofotogramétrico	Executado
9	Cadastro de Redes	Em execução
10	Relatório dos Estudos Hidrológicos	
11	Relatório Simulações Hidráulicas e Mapas de Inundações	Em execução
12	Projetos dos Cenários de Intervenção	Não iniciado
13	Análise de Viabilidade das Alternativas	Não iniciado
14	Consolidação do Conjunto de Intervenções	Não iniciado
15	Plano de capacitação e adequação dos serviços de gestão de águas pluviais	Não iniciado
16	Plano de Ação	Não iniciado
17	Resumo Executivo	Não iniciado
18	Relatório Final	Não iniciado

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

3 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.1 Objetivos do Relatório

O PRODUTO 10 – Estudos Hidrológicos têm por objetivo geral formar uma base teórica consistente levando em consideração as informações hidrológicas disponíveis para o entendimento dos eventos de cheias e de estiagens no trecho contemplado da Bacia do Rio Gravataí.

O presente relatório apresenta o desenvolvimento dos estudos hidrológicos de acordo com a situação atual da Bacia.

Os objetivos do presente trabalho são:

- Avaliar o efeito das estiagens na bacia do Gravataí através da análise das demandas sazonais atuais;
- Quantificar os eventos de chuvas intensas para fornecer subsídios para construção do modelo hidrodinâmico e, por conseguinte, construir as manchas de inundação para diferentes tempos de retorno;
- Construir um modelo hidrológico que servirá de base para a avaliação de cenários, projeções e proposições de intervenções futuras na bacia.

3.2 Planejamento geral

Para a perfeita definição da metodologia a ser adotada para sua elaboração, foram considerados os seguintes aspectos de acordo com o Termo de Referência, buscando-se desta maneira atender os objetivos gerais almejados no ESTUDO:

- A avaliação dos riscos no qual a população urbana da área de interesse está sujeita, quantificando e associando os danos às probabilidades de eventos extremos;
- Estudo de alternativas de controle de cheias e estiagens que contemplem medidas estruturais e não-estruturais, considerando os cenários atual e futuro;
- Análise de viabilidade, considerando os aspectos técnico-econômicos, sociais e ambientais;
- Estudo de medidas de recuperação ambiental e/ou renaturalização do sistema hídrico, com destaque para a lagoa das Anastácias, o Banhado Grande e as obras de canalização particulares e do DNOS;
- Análise de uso múltiplo das obras planejadas de forma a atender além do controle de inundações outros usos da água pela regularização de vazão (estiagem).
- Estudos e regularização das outorgas.

Como uma das etapas para atendimento das questões delineadas no Termo de Referência o presente PRODUTO servirá como subsídio para as simulações hidrológicas, visando o entendimento dos eventos de cheias e estiagens na bacia.

Neste sentido, deverá gerar todas as informações de entrada relevantes para a simulação matemática, através da construção do modelo hidrodinâmico, da propagação de cheias e elaboração dos mapas de inundações prováveis e riscos associados a estas.

Os resultados deverão ser apresentados de forma a permitir que o PRODUTO 11 - SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS e MAPAS INUNDAÇÕES, venha a se constituir uma ferramenta clara de gestão municipal através da delimitação racional da ocupação urbana.

Além de atender os objetivos acima este PRODUTO deverá ser capaz de:

- Representar adequadamente a situação atual através de uma modelagem que permita uma discretização suficiente e a análise das alterações nas respostas hidrológicas e hidrodinâmicas.
- Representar adequadamente os processos hidrológicos das diferentes áreas dentro da bacia como: zonas urbanizadas, zonas rurais, áreas de banhado e reservatórios.
- Apresentar propostas metodológicas para as funções hidrológicas onde a informação existente é insuficiente ou inexistente.
- Representar a hidrologia da bacia e sub-bacias em escala adequada às suas dimensões.
- Fornecer base para os subsídios para o estudo de alternativas de mitigação (objeto do PRODUTO 12 - CENÁRIOS DE INTERVENÇÕES).

Os principais resultados obtidos devem servir de apoio ao planejamento dentro dos 4 eixos do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta de Desastres Naturais (PNGR): Prevenção, Mapeamento, Monitoramento e Alerta e Resposta. Tais resultados são:

- Estimativa de hidrogramas de cheias para chuvas com diferentes tempos de retorno;
- Estimativa de hidrogramas de longa duração para avaliação da estiagem;
- Avaliação da situação atual em termos hidrológicos da bacia;
- Avaliação de cenários futuros da bacia onde ocorram alterações na resposta hidrológica em nível regional;
- Avaliação dos efeitos das ações estruturais e não estruturais e criação de subsídios para o pré-dimensionamento.

4 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

A Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí localiza-se a leste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°45' a 30°12' de latitude Sul e 50°27'a 51°12' de longitude Oeste.

Abrange as províncias geomorfológicas Depressão Central, Planalto Meridional, Escudo Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira e possui área de 2.020 km² e população estimada em 1.298.046 habitantes, abrangendo municípios como Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Gravataí, Porto Alegre, Santo Antônio da Patrulha e Viamão.

Os principais cursos de água são o Rio Gravataí e os arroios Veadinho, Três Figueiras, Feijó, Demétrio, Arroio da Figueira e Arroio do Vigário. A Bacia do Gravataí ainda abrange os banhados do Chico Lomã, Grande e dos Pachecos, importantes ecossistemas naturais. Os principais usos da água são abastecimento público, diluição de esgotos domésticos e efluentes industriais, bem como irrigação de lavouras de arroz.

O Rio Gravataí possui um regime hidrológico peculiar e complexo, sendo pertinente aqui uma caracterização dos aspectos que influenciam este regime contemplando escoamento subterrâneo, escoamento superficial, peculiaridades da sua hidráulica fluvial (em especial na sua foz junto ao Lago Guaíba) e alterações de uso do solo (principalmente as urbanizações).

Os principais afluentes do Rio Gravataí são, na margem direita os arroios: Brigadeiro, Barnabé, Demétrio, Pinto, Passo Grande, Miraguaia, Venturosa, Veadinho, Chico Lomã, e na margem esquerda, os arroios: Areias, Sarandi, Feijó, Águas Belas, Passo dos Negros e Alexandrina.

O curso principal do Rio Gravataí forma-se no Banhado Grande, sendo que este banhado recebe contribuições de diversos pequenos arroios: Arroio Chico Lomã, Arroio Veadinho e Arroio Palmeira. Este banhado situando-se entre a Serra Geral e a Coxilha das Lombas e tem grande influência na regularização de vazões, amortecendo os picos de vazão e fornecendo água durante os períodos de estiagem mantendo a vazão de base.

O primeiro trecho do Rio Gravataí apresenta alta declividade e, vai da saída do Banhado Grande até, aproximadamente, o local denominado Passo dos Negros, situado a 61,3 km da foz. Este trecho corresponde, em grande parte, ao trecho canalizado do Rio Gravataí, e a declividade é aproximadamente constante com valor próximo a 12 cm.km⁻¹, ou seja, 0,012%.

Este trecho ainda é caracterizado pela existência de uma densa malha de canais artificiais que se conectam ao curso principal para a tomada de água para a irrigação.

Do ponto denominado Passo do Vau (antigo “funil” que fecha o exutório dos banhados) até a foz, o Rio Gravataí apresentava naturalmente uma extensão de 39 km; no entanto, após obras de retificação do trecho entre o Banhado Grande até o ponto denominado de Olaria Velha na década de 1960, a sua extensão foi reduzida para 34,5 km, sendo este trecho em quase toda a sua extensão com baixas declividades e grande sinuosidade fora da retificação.

O seu deságue ocorre no Delta do Jacuí (um conjunto de canais, ilhas e banhados), a partir do qual, forma o Lago Guaíba. A partir do Guaíba as águas seguem para a Laguna dos Patos e por fim o Oceano Atlântico.

No seu trecho final ocorre importante controle de jusante, devido à influência dos níveis no Delta do Jacuí. A elevação dos níveis de água, na região do Delta do Jacuí, tende a represar as águas do Rio Gravataí. Em períodos mais prolongados de estiagem, quando a vazão do Rio Gravataí é baixa, a variação de nível no delta é capaz de produzir inversões de escoamento nesse trecho inferior.

Este comportamento deve ser levado em conta para a adoção adequada do modelo hidráulico, de modo que este represente o efeito de remanso na simulação do escoamento do Rio Gravataí, bem como a análise de sensibilidade na vazão da foz do Rio Gravataí e probabilidade de ocorrência dos níveis do Guaíba.

Outro fator que influencia o escoamento no trecho final do Rio Gravataí é a existência de estruturas contra inundações (diques) que formam os pôlderes nos municípios de Canoas e Porto Alegre e futuramente em Alvorada.

O efeito destes diques é o de redução das áreas de estocagem de água durante as cheias, causando elevações dos níveis d'água se comparadas com a condição sem estas estruturas; sua representação e estimativa de condições futuras faz-se necessária na modelagem hidráulica, bem como o efeito nas casas de bombeamento das redes de drenagem pluvial internamente aos diques.

Além dos fatores naturais e das estruturais que alteram o escoamento do Rio Gravataí outro fator de grande importância e que deve ter correta representação são as retiradas de água, tanto para irrigação quanto para abastecimento urbano que juntamente com os lançamentos de efluentes são potencializadores dos problemas durante as estiagens causando desabastecimento e deterioração da qualidade d'água.

Ainda, como efeito da redução excessiva dos níveis d'água na calha do Rio Gravataí a erosão das margens devido à sua desestabilização é outra preocupação a ser tratada por meio de ações de gestão dos recursos hídricos, tanto quanto a recuperação ambiental e medidas de prevenção para os trechos em risco.

As contribuições subterrâneas ocorrem junto à calha do Rio Gravataí, aos seus principais afluentes e na região do Banhado Grande. As zonas de recargas dos aquíferos estão localizadas próximas aos divisores de águas da bacia hidrográfica e junto às encostas superiores dos vales formados pelos seus principais afluentes, tendo por exemplos, a região dos reservatórios arenosos da Coxilha das Lombas na cabeceira sudeste dentro do Município de Viamão e a porção leste abrangendo as bacias dos Arroios Chico Lomã, Venturosa e Veadinho que estão em área de arenito Botucatu.

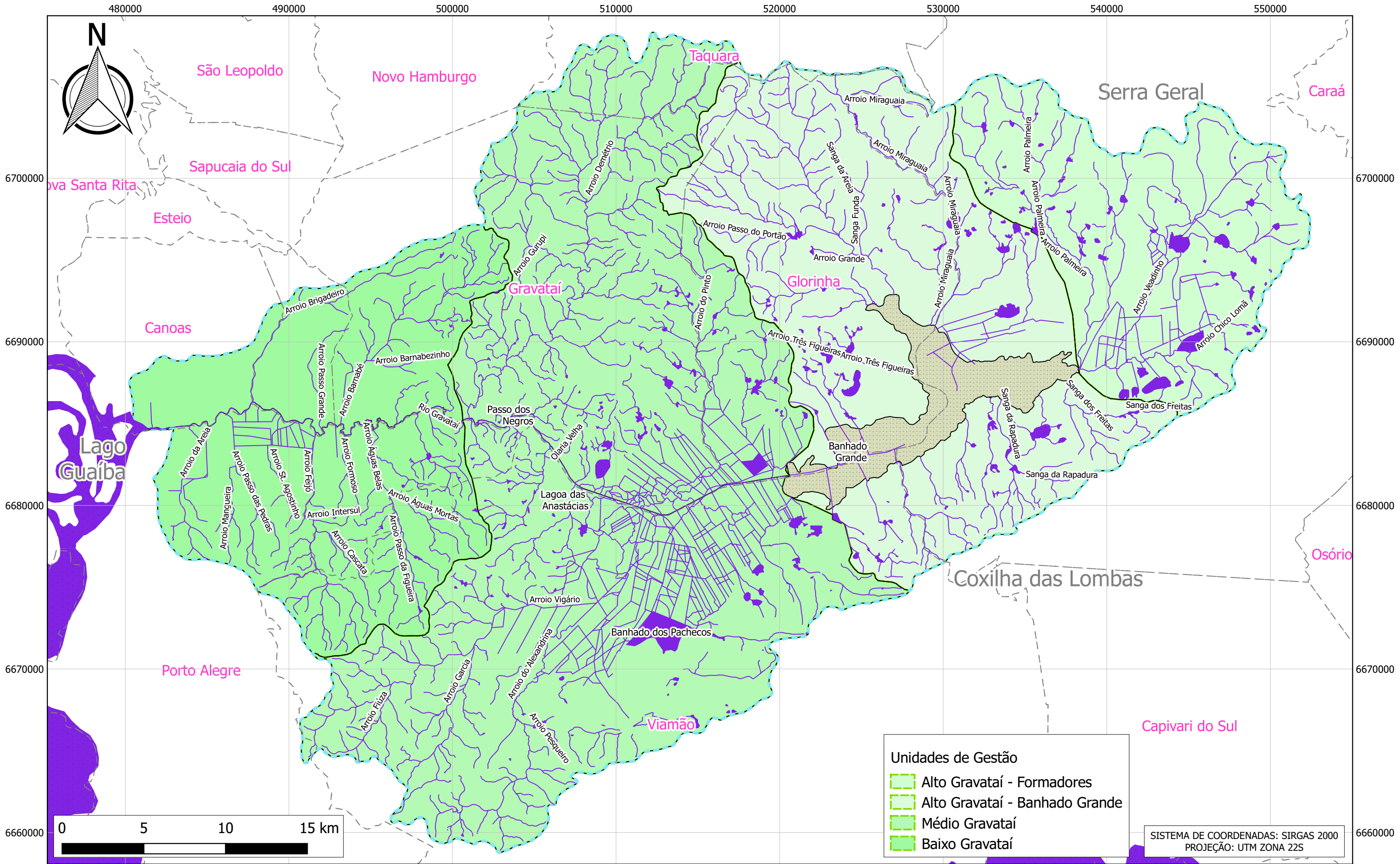
As descargas subterrâneas são responsáveis por uma parcela de aproximadamente 8% da vazão média do Rio Gravataí, segundo estimativa do IPH e CPRM (2002).

Para fins de planejamento das atividades previstas no Plano de Bacia do Rio Gravataí (PRHBHRG, 2012) a bacia hidrográfica foi dividida em 4 unidades de gestão as quais são caracterizadas a seguir (Figura 1).

Dentro das 4 macrounidades de gestão propostas no Plano de Bacia também foi realizada naquele estudo uma outra divisão em diversas microunidades, ou seja, bacias que representam apenas um ou alguns tributários menores do Rio Gravataí.

A Figura 2 apresenta o diagrama unifilar das sub-bacias do Rio Gravataí.

As características de cada unidade de gestão e as microunidades que as compõe são apresentadas resumidamente no Quadro 5.



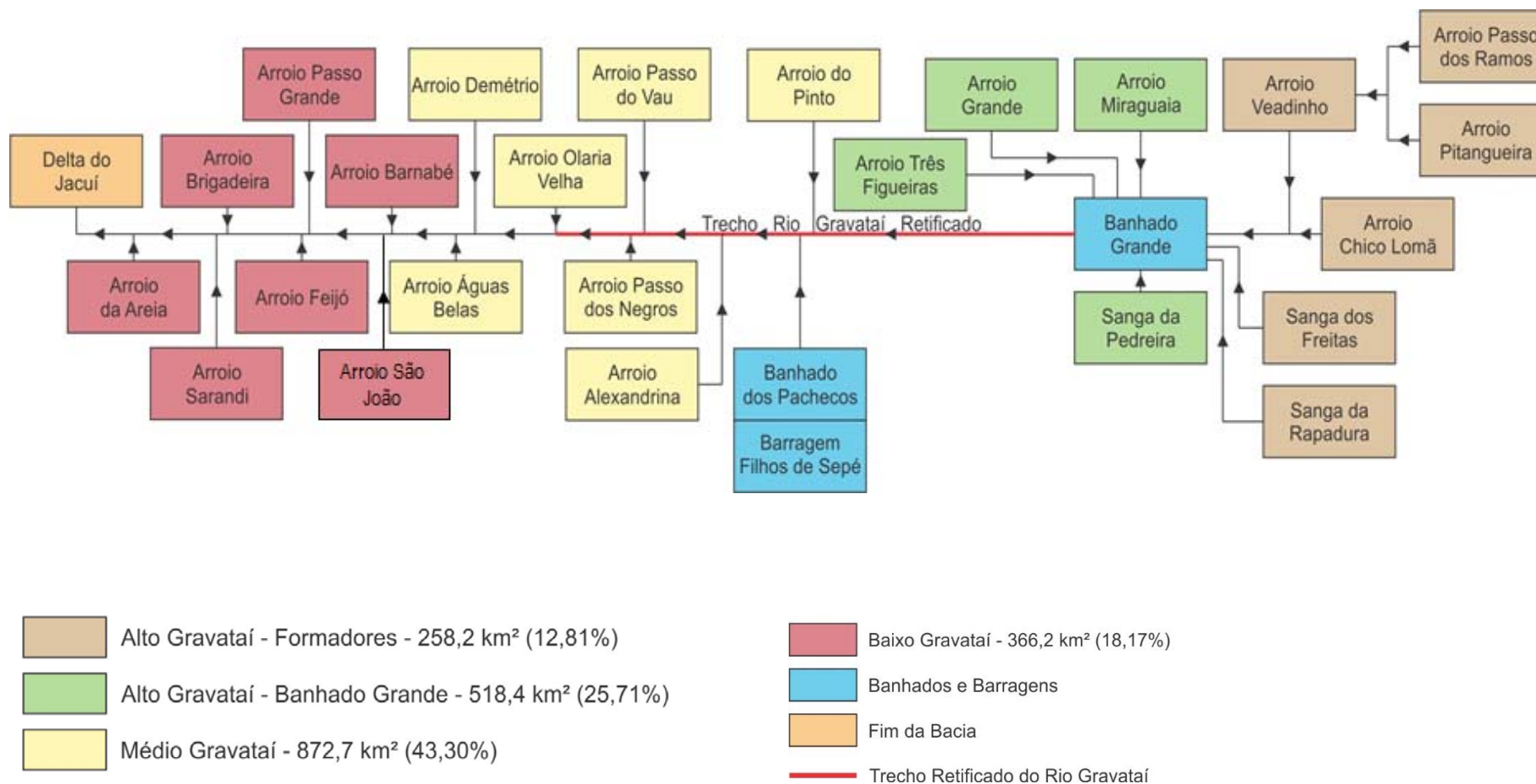


Figura 2 - Diagrama Unifilar das sub-bacias do Rio Gravataí
(Fonte: Plano de Bacia do Rio Gravataí).

Quadro 5 - Características das Unidades de gestão da Bacia

SIGLA	MACRO UNIDADES	MACRO UNIDADES DE GESTÃO	ÁREA (km²) (%)	SIGLA	ÁREA (km²) (%)	MUNICÍPIOS	SEDES
BG	Baixo Gravataí	Baixo Gravataí: Margem Esquerda (Alvorada e POA)	366,89 (18,18%)	BG1	213,34 (10,6%)	Porto Alegre, Alvorada e Viamão	Porto Alegre, Alvorada e Viamão
		Baixo Gravataí: Margem Direita (Cachoeirinha e Canoas)		BG2	153,55 (7,6%)	Canoas, Cachoeirinha e Gravataí	Canoas e Cachoeirinha
MG	Médio Gravataí	Arroios Demétrio e Pinto	872,36 (43,22%)	MG1	402,43 (19,9%)	Gravataí, Taquara e Glorinha	Gravataí
		Arroios Fiúza, Alexandrina, e Banhado dos Pachecos		MG2	469,93 (23,3%)	Viamão e Alvorada	Viamão
AGB	Alto Gravataí: Banhado Grande	Arroios Grande e Miraguaia	519,87 (25,76%)	AGB1	333,28 (16,5%)	Santo Antônio da Patrulha, Glorinha e Gravataí	Glorinha
		Sangas da Rapadura e do Freitas		AGB2	126,78 (6,3%)	Glorinha, Viamão e Santo Antônio da Patrulha	-
		Banhado Grande		AGB3	59,81 (3,0%)	Glorinha, Viamão e Santo Antônio da Patrulha	-
AGF	Alto Gravataí: Formadores	Alto Gravataí, Arroios Chico Lomã, Veado e Palmeira	258,93 (12,8%)	AGF1	258,93 (12,8%)	Santo Antônio da Patrulha	Santo Antônio da Patrulha
TOTAL			2.018,05				

(Fonte: Plano de Bacia do Rio Gravataí).

As 4 macrounidades de gestão propostas no Plano de Bacia estão detalhadas abaixo:

✓ **Alto Gravataí – Formadores**

A região do Alto Gravataí – Formadores possui uma área correspondente a 13% da bacia do Gravataí e consiste de uma região bastante antropizada pelas lavouras de arroz.

Na parte mais alta apresenta algumas áreas remanescentes de vegetação nativa de pouca extensão. Existe uma quantidade significativa de canais artificiais e diversos reservatórios construídos para suprimento da agricultura. Todos os cursos d'água desta bacia são contribuintes ao Banhado Grande através do Arroio Chico-Lomã.

A urbanização nesta região consiste da área urbana de Santo Antônio da Patrulha, mas seu impacto na escala global dos processos hidrológicos da bacia deve ser pequeno.

Devido à baixa impermeabilização da sub-bacia, os reservatórios construídos e o exutório no Banhado Grande os impactos desta região nas cheias do restante da bacia devem ser menores.

Entretanto, a sub-bacia é uma das principais tributárias ao referido banhado e, portanto, fundamental para a manutenção deste ecossistema em específico. Ver Figura 3, adiante.

✓ **Alto Gravataí - Banhado Grande**

A região do Alto Gravataí – Banhado Grande possui uma área correspondente a 26% da bacia do Gravataí e consiste de, além do Banhado Grande em si, das sub-bacias dos arroios Grande e Miraguaia e sangas da Rapadura e do Freitas. Sua extensão engloba todos contribuintes ao Banhado Grande exceto o arroio Chico-Lomã.

O banhado é alimentado por águas provenientes de pequenos rios e arroios que drenam as partes altas da bacia (além das precipitações diretas) e atuam como reservatórios naturais, reguladores das vazões ocorrentes no Rio Gravataí.

O Banhado Grande, situado na depressão central da bacia, é um regulador natural do fluxo do Rio Gravataí, pois este reservatório natural é responsável por amortecer os picos das cheias provocadas pelas precipitações acumulando água durante as épocas de maiores vazões e a liberando durante os períodos de estiagem.

Originalmente, a área de banhados era de 450 km². Em consequência das drenagens artificiais promovidas, pelos arrozeiros, no ano de 1971, suas áreas achavam-se reduzidas a 138 km² e em 1989 estimava-se que a área dos banhados ocupava cerca de 60 km²

Esta área possui características bastante semelhantes ao Alto Gravataí – Formadores com forte antropização pela lavoura do arroz e canais construídos, embora proporcionalmente à sua área total, a superfície alterada e o número de canais artificiais seja relativamente menor, além do que possui uma área maior de vegetação nativa.

De toda forma o impacto das lavouras se dá na área de maior fragilidade, as terras mais baixas e planas na interface limítrofe do banhado. Os impactos nas cheias nas áreas a jusante

da bacia devem ser atenuados devido ao reservatório do Banhado Grande. Ver Figura 4, adiante.

✓ **Médio Gravataí**

A região do Médio Gravataí consiste de 43% da bacia do Rio Gravataí e abrange o exutório do Banhado Grande até à junção do Arroio Demétrio ao Rio Gravataí, consistindo de uma área de transição entre os ambientes rural e urbano.

A densidade de canais construídos para a agricultura e ocupação por lavouras no entorno do Rio Gravataí é muito maior que nas outras regiões.

Praticamente todo curso d'água do rio principal é cercado por atividades agrícolas até a Lagoa das Anastácias. O curso d'água é bastante alterado pelas obras do DNOS, realizadas nos anos 70, que retificaram o rio e efetivamente drenaram os banhados/terras úmidas do Banhado Grande até a Lagoa das Anastácias.

Neste trecho, em épocas de chuvas mais intensas a calha principal não comporta a vazão e extravasa, apresentando uma configuração próxima à sua condição de pré-retificação.

A região ainda engloba o início da urbanização pertencente ao município de Gravataí. Ver Figura 5, adiante.

✓ **Baixo Gravataí**

A região do Baixo Gravataí consiste de 18% da bacia do Rio Gravataí e abrange o curso d'água a partir do Arroio Demétrio até o exutório da bacia. Esta sub-bacia abrange as regiões mais urbanizadas dos municípios de Gravataí, Cachoeirinha, Canoas, Alvorada e Porto Alegre.

Parte significativa desta sub-bacia consiste de área parcialmente ou totalmente impermeabilizada. Este fato, aliado a ocupação de áreas indevidas, expõe uma parcela maior da população da bacia aos efeitos das cheias.

A sub-bacia do Baixo Gravataí apresenta contornos hidrológicos alterados devido a construções de diques e sistemas de bombeamento de águas pluviais que devem ser tratados de forma específica nos modelos.

O trecho médio inferior do Rio Gravataí tem seu regime hidráulico parcialmente controlado pelo Lago Guaíba, onde deságua.

Esse processo de segmentação das unidades de planejamento foi desenvolvido a partir de critérios sobre temas específicos, tais como: aspectos físicos (hidrografia, relevo e geomorfologia, uso do solo), aspectos sociopolíticos (divisas municipais e rodovias), divisões de estudos anteriores, enquadramento do Rio Gravataí e finalidade da divisão (balanços hídricos com vistas ao diagnóstico e metas do Plano).

Ainda segundo o Plano da Bacia (PRHBHRG, 2012), tais Unidades de Gestão (ou ainda Unidades de Planejamento ou de Estudo) são homogêneas sob a ótica do planejamento e gestão de recursos hídricos.

Esse processo de divisão da bacia em unidades menores é denominado de “segmentação”.

Embora tais sub-bacias sejam meramente um instrumento de gestão dos recursos hídricos, as mesmas representam, neste caso específico, uma boa forma de caracterização da resposta hidrológica local diferenciada nas quatro grandes áreas da bacia.

Desta forma, sua distinção será também utilizada na caracterização hidrológica deste trabalho.

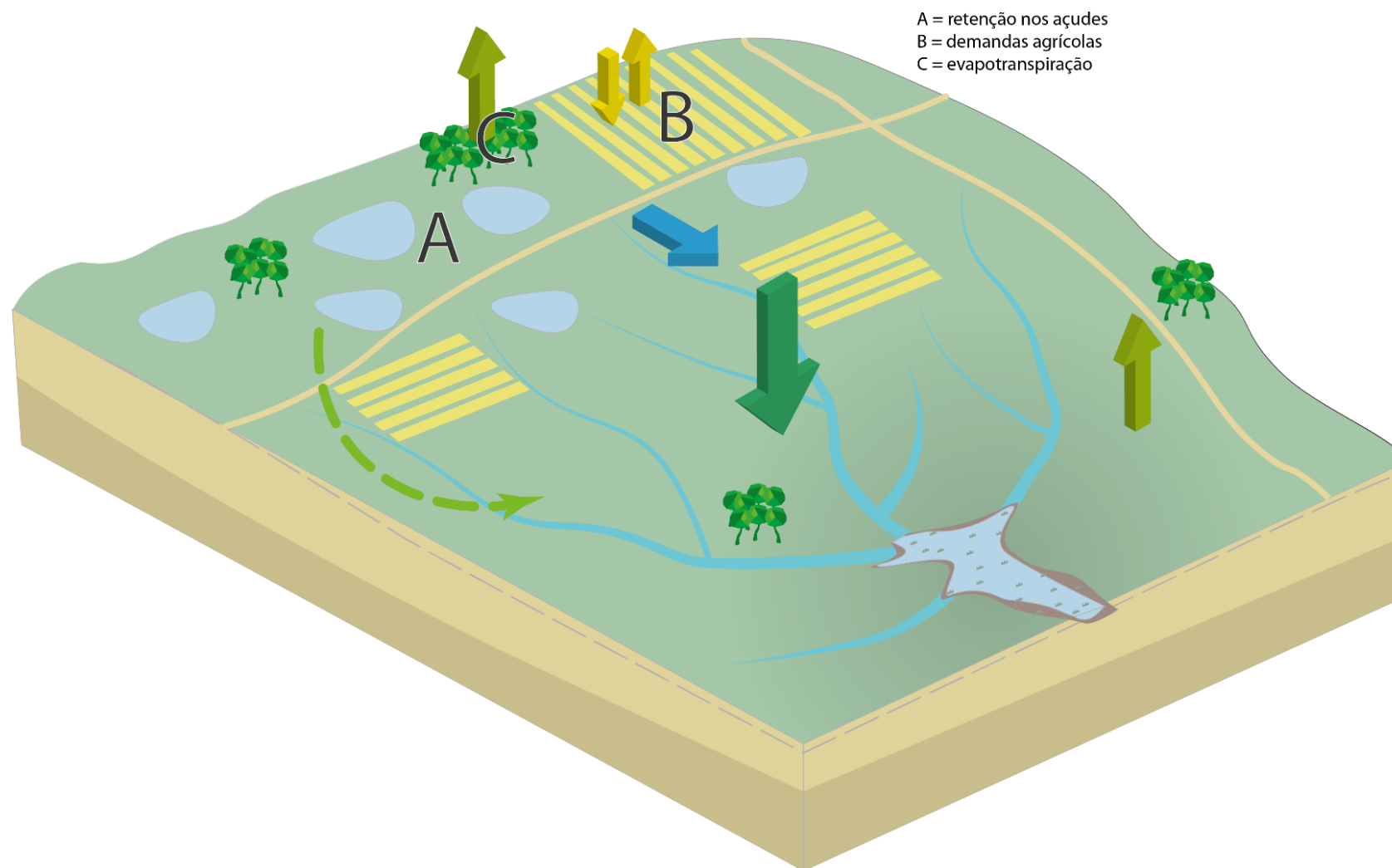


Figura 3 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Alto Gravataí – Formadores.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

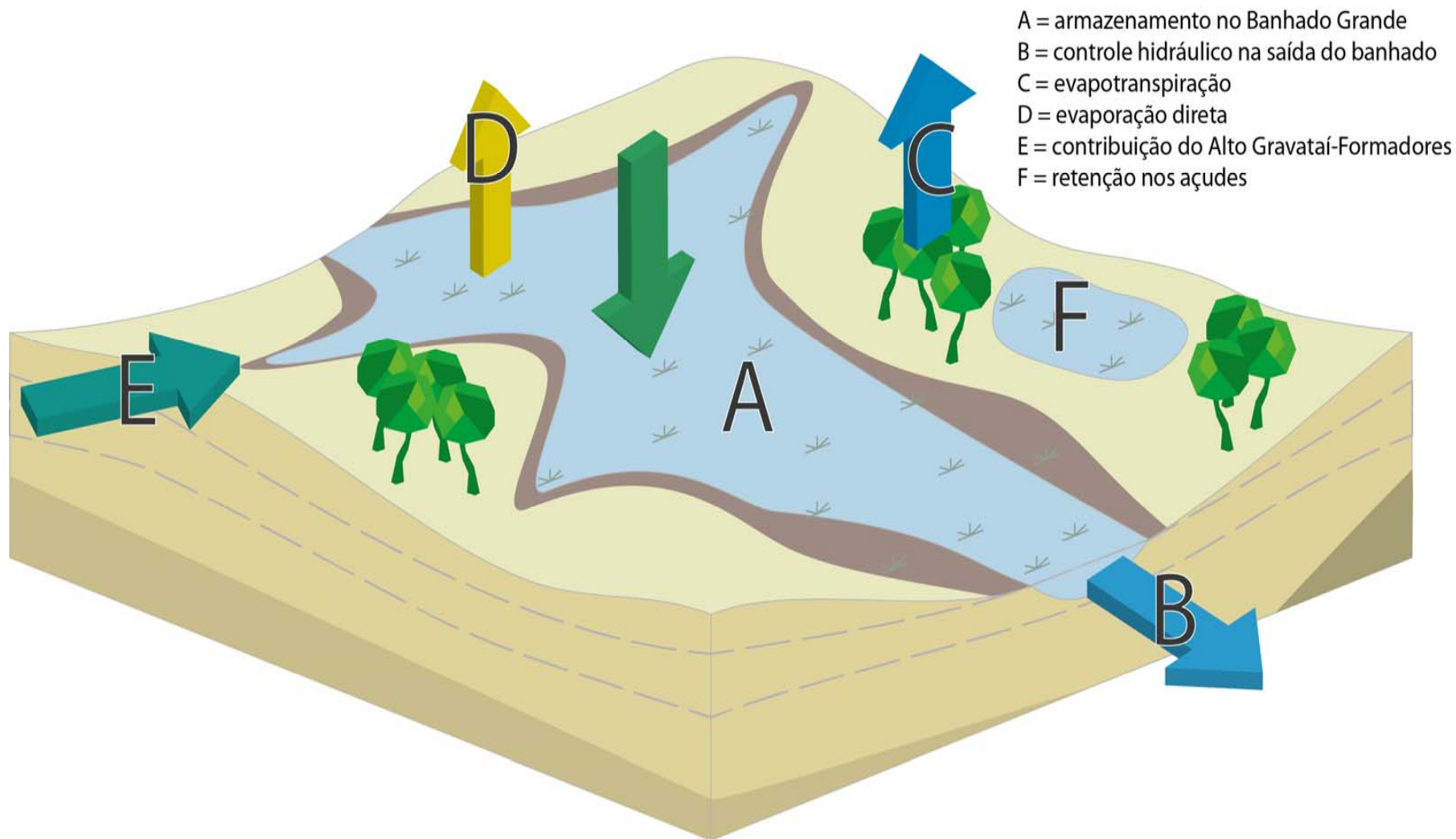


Figura 4 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Alto Gravataí – Banhados.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

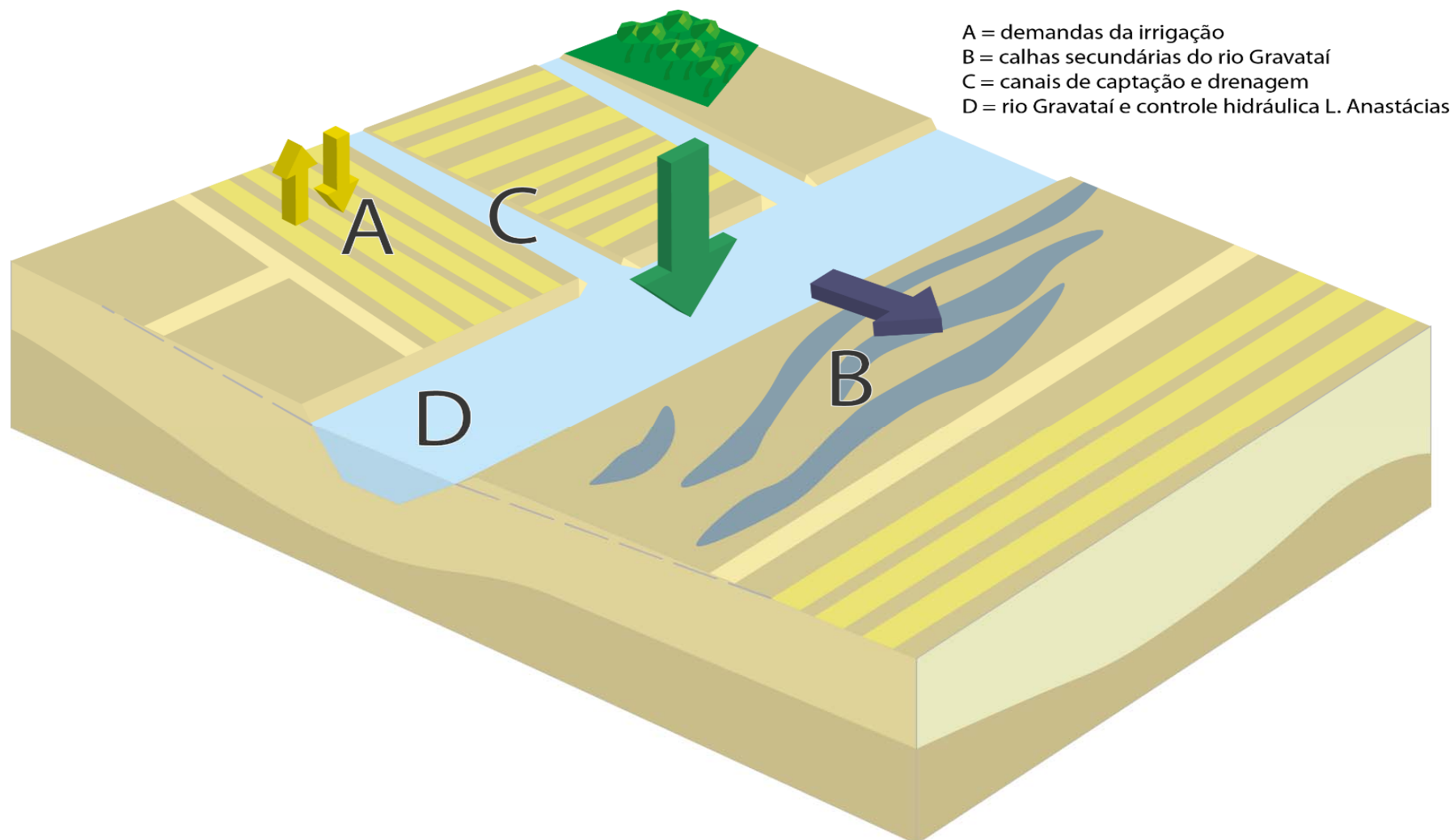


Figura 5 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Médio Gravataí.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

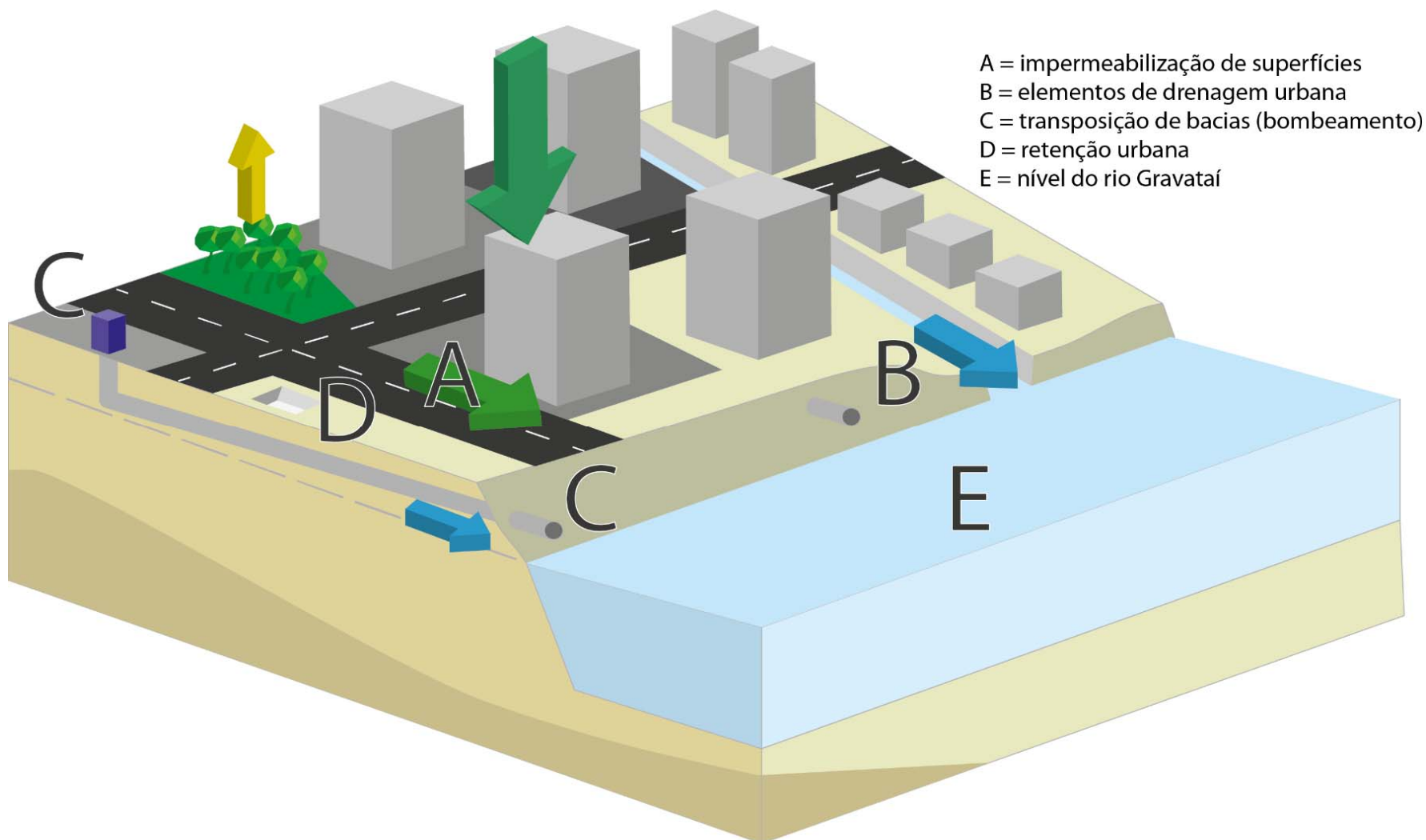


Figura 6 - Elementos hidrológicos mais relevantes no Baixo Gravataí – Região Urbanizada
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

4.1 Geologia

A seguir faz-se uma breve descrição das unidades da sequência litoestratigráfica elaborada a partir da compilação de trabalhos geológicos:

- **Pré-Cambriano Indiviso:** as rochas mais antigas afloram na porção sudoeste da bacia, região de Porto Alegre, com pequenas áreas isoladas, representadas na porção centro-oeste em Gravataí e no centro-sul. Composto por granitos e migmatitos com fraturamento interno predominantemente NE e NW.

As rochas mais antigas afloram na porção sudoeste da bacia, região de Porto Alegre, com pequenas áreas isoladas, representadas na porção centro-oeste em Gravataí e no centro-sul ao longo da estrada RS-40.

- **Formação Rio Bonito:** de idade Permiana ocorre na região centro-oeste da bacia. A fácies fluvial é constituída por conglo merados, arenitos finos e médios com intercalações de siltitos e argilitos. As fácies lagunar, paludal e de transição são representadas por siltitos e argilitos com intercalações de arenitos finos e siltitos carbonosos.

Depositadas diretamente sobre as rochas pré-cambrianas, as fácies litológicas da Formação Rio Bonito ocorrem em área restrita, ao sul do cruzamento da BR-290 com a RS-118, centro-oeste da bacia.

- **Formação Palermo:** é constituída por arenitos conglomeráticos e siltitos arenosos silicificados.

- **Formação Irati:** constituída por espesso pacote de folhelhos alternados com camadas, bancos e lentes de calcários. O ambiente de deposição é não marinho de águas rasas a moderadamente profundas com má circulação de fundo.

- **Formação Estrada Nova:** os sedimentos desta formação ocorrem no noroeste da bacia e na parte média da sub-bacia do Arroio Demétrio. Predominam fo lhelhos argilosos com intercalações de arenitos finos na base, gradando ao topo para arenitos finos e siltitos.

- **Formação Rosário do Sul:** pertencente ao período Triássico, constitui-se de arenitos finos a grosseiros, quartzosos, englobando fragmentos de argilitos, lamitos e arenitos provenientes da erosão da própria formação. A Formação Rosário do Sul transiciona para a Formação Botucatu.

- **Formação Botucatu:** são evidenciados 2 horizontes: basal constituído de arenitos muito finos e silticos com feições morfológicas próprias tais como coxilhões maiores; horizonte superior de maior uniformidade litológica predominando arenitos finos e médios e elevado grau de diagênese devido às ferrificações e silicificações.

- **Formação Serra Geral:** de idade Jurássico Superior. O limite norte e nordeste da bacia do Rio Gravataí é estabelecido pela Formação Serra Geral em paralelismo à Formação Botucatu. Na área estudada constitui o grande divisor de águas entre as bacias do Rio Gravataí e Rio dos Sinos, com altitudes de até 350m.

Nesta formação ocorrem derrames, soleiras e diques, tanto em massas contínuas, como em corpos isolados como testemunhos de erosão. São rochas com texturas finas e afaníticas, raramente pórfiras, constituídas por plagioclásios e piroxênios.

- **Depósitos Gravitacionais de Encosta:** esta unidade é aquela que possui a maior representatividade na bacia. Tratam-se de depósitos de deslizamento formados por fragmentos de areia a matações, provenientes das unidades vizinhas, envoltos por matriz argilosa ou argilo-síltica e baixo grau de compactação.

- **Depósitos de Dunas Litorâneas:** a bacia na sua porção sul está limitada por esta unidade, que ocorre como uma faixa contínua de superfície ondulada constituída por colinas com até 140m de altura, que vêm a formar o corpo principal da Coxilha de Lombas. São depósitos de areias quartzosas de granulação fina a média com matriz argilosa.

- **Depósitos Lagunares, Flúvio-Lagunares e Paludais:** os sedimentos lagunares e paludais ocorrem de modo contínuo desde a localidade de Águas Claras (SW da bacia) até Chico Lomã (extremo leste da bacia). Os depósitos lagunares e flúvio-lacustres são areno-sílticos-argilosos, predominantemente bem selecionados, exibindo laminações plano-paralelas e cruzadas, frequentes lentes de material síltico-argiloso e eventualmente areno-conglomerático.

- **Depósitos Fluviais:** comuns em toda a extensão da bacia, em forma de terraços, planícies aluvionares e canais fluviais. São depósitos isolados, não litificados, compostos de cascalhos e areias ou corpos tabulares sílticos-argilosos com restos vegetais. A estratificação apresenta-se irregular com imbricações de seixos. Estão distribuídas em duas faixas paralelas, ao norte e ao sul do Banhado Grande.

- **Depósitos Atuais de Encosta:** mostram arenitos conglomeráticos, arenitos e lamitos avermelhados, maciços ou com estrutura acanalada.

4.2 Hidrogeologia

A descrição hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí foi realizada no trabalho “Identificação das Alternativas Possíveis e Prováveis para Regularização das Vazões do Rio Gravataí” (IPH, 2002).

A bacia hidrográfica do Rio Gravataí apresenta-se bastante complexa do ponto de vista geológico. Esta complexidade, determinada pela interdependência das litologias e estruturas rígidas da área, reflete-se no comportamento hidrogeológico.

Na bacia encontram-se formações geológicas de diferentes idades e composição litológicas, concentrando-se a sudoeste formações antigas, do pré-cambriano ao permiano e a leste as formações recentes, onde assenta-se o Banhado Grande.

Nesta bacia ocorrem rochas cristalinas e sedimentares, o que determina que diferentes critérios devam ser utilizados na identificação e caracterização dos sistemas aquíferos.

Nos aquíferos cristalinos a circulação se dá através de fraturas, enquanto que nos sedimentares, pelos poros intergranulares.

Deve ser salientado que, algumas formações sedimentares muito litificadas podem possuir uma contribuição significativa de entradas d'água através de um sistema de fraturas.

Os sistemas aquíferos presentes na bacia do Rio Gravataí englobam grande parte das formações existentes no estado, de modo que pertencem a um grande número de províncias hidrogeológicas como estabelecido por HAUSMAN (1995).

Este estudo baseou-se em alguns roteiros de campo e em dados existentes, não havendo uma homogeneidade de informações relativas a todos os sistemas aquíferos individualizados, o que acarreta que algumas áreas terão maiores ou menores generalizações.

4.2.1 Zoneamento dos sistemas aquíferos

Os estudos relacionados com a geologia regional mostram que na bacia do Rio Gravataí, afloram desde formações pré-Cambrianas, com litologias granitoides e gnáissicas, em contato discordante com rochas sedimentares bem consolidadas, Permo-Carboníferas e Mesozoicas (incluídos aqui os derrames basálticos). Finalmente ocorrem sedimentos quaternários pouco ou nada consolidados.

As formações sedimentares apresentam a ocorrência regional de uma monoclinal, mergulhando cerca de 1 grau em direção noroeste, apoiadas sobre as litologias pré-Cambrianas e recobertas por efusivas basálticas da Formação Serra Geral.

As formações quaternárias, que atingem até mais de 100 metros de espessura, recobrem indiferentemente as formações mais antigas, desde o pré-Cambriano com as formações de idade mesozoicas.

Quanto à geomorfologia, as rochas sedimentares estão rebaixadas em relação às rochas do Escudo e sedimentos da barreira marinha quaternária ao sul, e ao norte, pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

As rochas sedimentares gonduânicas formam a calha, dentro da qual, se desenvolveu a drenagem do Rio Gravataí. Estas formações contribuíram para a erosão diferencial entre as rochas brandas de que são constituídas e as cristalinas resistentes que as encaixam, fornecendo grande parte do material que formou os sedimentos fluviais, deltáicos e paludais que se depositaram na bacia.

Os sistemas aquíferos se caracterizam por um conjunto de elementos físicos (transmissividade, condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento) e geométricos (formas, limites, espessuras, etc.), normalmente sujeitos à determinadas ações externas ao sistema (bombeamento, recarga artificial, drenagem, etc).

A definição dos sistemas foi efetuada com base nos critérios de estrutura, de modo e da ordem de grandeza da condutividade hidráulica e das condições de superfície passíveis de interferir no comportamento das águas subterrâneas.

A estes elementos se somam as informações relativas ao tipo de aquífero (livre, confinado ou semi-confinado) e à melhor maneira de aproveitamento do sistema poço tubular, poço escavado, poço radial, etc.

A partir da definição da estrutura dos sistemas aquíferos e de seus limites, baseados no comportamento hidrogeológico dos agrupamentos de litologias predominantes e do arcabouço estrutural da área, obteve-se uma representação hidrolitológica, onde cada unidade é constituída por um sistema mais ou menos complexo, com um ou mais níveis aquíferos associados a níveis semipermeáveis e/ou impermeáveis.

Os sistemas aquíferos porosos apresentam maior homogeneidade quanto às características hidrodinâmicas, hidro químicas e de qualidade da água. Nos sistemas fraturados predomina a heterogeneidade das vazões, podendo haver diferenciações hidro químicas mais ou menos localizadas.

A presença de formações aquíferas mais modernas, sobre sistemas aquíferos mais antigos, pode propiciar alterações na qualidade química da água, sempre que o sistema aquífero mais recente se constituir em zona de recarga.

Como resultado pode haver uma mineralização que tornará a água não potável quimicamente, devido aos altos teores de resíduo seco.

4.2.2 Sistema Aquífero do Escudo

Este sistema ocupa uma pequena área à sudoeste da bacia, em parte dos municípios de Viamão, Porto Alegre, Alvorada e Gravataí. Constitui-se de afloramentos de rochas antigas pertencentes ao Escudo Sul-Rio-Grandense, representadas por rochas graníticas, granitoides e gnaisses.

Também se caracteriza pela presença de espessa camada de alteração superficial, com solos espessos e leques aluviais. Basicamente, trata-se de um aquífero fraturado. Dentro da bacia hidrográfica do Rio Gravataí, existem pequenas ocorrências na área inundável, que não foram considerados pela pequena importância.

4.2.3 Sistema Aquífero Permo-Carbonífero

Do ponto de vista hidrogeológico e com base nos conhecimentos atuais, obtidos de trabalhos de campo, as formações aquíferas pertencentes aos Grupos Tubarão e Passa Dois devem ser agrupadas por seu comportamento em um único conjunto hidro estrutural.

Estes aquíferos, aquíferos e aquíclides, ocorrem em área limitada junto aos afloramentos do embasamento cristalino no sudoeste da bacia. Em subsuperfície ocupam praticamente toda a área restante da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.

O pacote sedimentar assenta-se discordantemente sobre o Escudo, é muito atingido por falhamentos e intrudido por sills e diques de diabásio.

Todo o conjunto mergulha em homoclinal em direção ao interior da Bacia do Paraná, o que proporciona um fluxo hidrodinâmico que pode variar de acordo com a presença de falhamentos e barreiras impermeáveis, gerando fluxos discordantes do geral.

A litologia compõe-se de lentes ou camadas arenosas, intercaladas com siltitos e argilitos, que ora funcionam como aquíardos ou aquícludes. Nas proximidades do contato com as rochas graníticas, frequentemente ocorrem conglomerados.

Na seção que atravessa a Formação Rio Bonito predominam siltitos carbonosos com camadas de carvão.

As rochas permo-carboníferas sempre se apresentam bastante litificadas e funcionam não como aquíferos porosos e sim como fraturados, quando podem proporcionar vazões maiores nos poços.

4.2.4 Sistema Aquífero Guarani

Este sistema aquífero foi assim denominado em homenagem a nação indígena Guarani que habitou o sul do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai e abrange as formações geológicas pertencentes ao Grupo Rosário do Sul, a Formação Botucatu no Brasil, Taquarembó no Paraguai e Misiones no Uruguai e Argentina.

A porção inferior, correspondente ao aquífero Rosário do Sul, apresenta uma estrutura dominada por horizontes, mais ou menos condutores, intercalados por aquícludes e aquíardos. Sua espessura pode alcançar até 200 metros, e além da variação de permeabilidade, apresenta grande diversidade quanto à qualidade química da água.

O aquífero está em contato com as rochas sedimentares do Grupo Passa Dois, que apresenta características de um aquíclude, separando as sequências mais permeáveis e interessantes do ponto de vista hidrogeológico do sistema aquífero Permo-Carbonífero que está mais abaixo.

Estruturalmente, mergulha na mesma direção do pacote sedimentar gondiânico, apresentando, entretanto, circulação de água mais intimamente ligada às características deposicionais do que à estruturação tectônica rígida.

A litologia constitui-se de sedimentos finos, em geral avermelhados, intercalado em depósitos mais grosseiros de paleo-canais. A porção correspondente ao aquífero Passo das Tropas, ocorre mais em direção ao centro do Estado, estando ausente nesta bacia hidrográfica.

A porção superior do Sistema Aquífero Guarani na bacia é ocupada pelas litologias da Formação Botucatu. Ao norte deste sistema, o limite é dado pelas litologias da Formação Serra Geral que a capeia.

O aquífero é constituído por arenitos originados de deposição eólica em um ambiente desértico, cuja característica principal é a presença de espessos pacotes arenosos com estratificação cruzada de grande amplitude.

Na região da bacia do Rio Gravataí, o arenito caracteriza-se por possuir uma matriz intergranular predominantemente argilosa e em elevadas proporções, constituindo-se no chamado arenito interdunas. A porção superior apresenta-se bastante cimentada por material silicioso, que a torna extremamente endurecida e com baixa permeabilidade.

O arenito da Formação Botucatu também segue concordante com as outras formações geológicas da Bacia, com o mergulho em direção noroeste.

Uma série de falhamentos provoca, localmente, descontinuidade entre os corpos arenosos da formação.

4.2.5 Sistema Aquífero Basáltico

A área de ocorrência deste sistema aquífero é no noroeste e norte da bacia hidrográfica, ocupando uma estreita faixa nas áreas de maior altitude.

Constitui-se de uma rocha basáltica de cor cinza a cinza-escuro, comportando-se como um aquífero fraturado, com características de heterogeneidade e anisotropia pronunciadas, em que as descontinuidades que são preenchidas por minerais secundários são condutos que permitem o fluxo da água.

Embora este sistema se correlacione pela circulação da água e condições de ocorrência com o Sistema Aquífero do Escudo, o fluxo hidrodinâmico segue outros padrões, devido a sua gênese litológica de derrames sobrepostos e intercalados por zonas amigdaloides.

4.2.6 Sistema Aquífero Litorâneo

Este sistema compreende todos os aquíferos relacionados com a deposição sedimentar em ambiente litorâneo, durante o período quaternário.

A sedimentação durante o tempo geológico, promoveu uma diferenciação entre os sedimentos de acordo com sua origem lagunar, oceânica ou litorânea.

Esta divisão sedimentar é que propiciou a formação de subsistemas aquíferos na área, apresentando marcantes características do ponto de vista hidrogeológico e hidro químico.

Desse modo, na área da Bacia do Rio Gravataí, ocorrem dois subsistemas principais: o subsistema Guaíba e o subsistema Itapuã.

✓ Subsistema Guaíba

O subsistema Guaíba ocorre predominantemente nas regiões mais próximas da foz da bacia, entre os municípios de Porto Alegre, Viamão, Canoas e Cachoeirinha.

É composto por sedimentos holocênicos originados em ambiente deltaico e estuarino, influenciados por águas rasas de origem marinha que penetravam pelo vale do Rio Gravataí e eventualmente chegavam até o local do Banhado Chico Lomã.

Todo este conjunto está capeado, na atualidade, por sedimentos mais modernos.

✓ Subsistema Itapuã

Localiza-se na feição geomorfológica conhecida como Coxilha das Lombas, que é o principal limite sul da bacia do Gravataí, possuindo uma extensão superior a 80 km e altitudes superiores a 100 metros.

Este subsistema é formado por litologias representantes de depósitos sedimentares litorâneos de barreira marinha, que recobrem formações geológicas preexistentes, desde o pré-Cambriano até o final do período Mesozoico.

As espessuras são muito variáveis, porém podem alcançar a 140 m. A sedimentação predominante é de origem eólica, arenosa e de granulometria fina, bastante uniforme.

Alguns horizontes são argilosos, com tonalidades avermelhadas, podendo ocorrer próximo ao topo horizontes com concreções lateríticas. Quando os teores de argila não são altos, este subsistema comporta-se como o melhor aquífero da bacia do Rio Gravataí.

4.2.7 Capacidade Produção Aquífero

Segundo Rubbo (2004), que analisou o aquífero da Coxilha das Lombas, que apresenta potencialidade de produção razoável. Segundo a autora, ao assumir tal aquífero como reserva estratégica, municípios como Alvorada, Cachoeirinha, Gravataí e Viamão podem ter suprimento de água total ou parcial através da exploração deste manancial (demandas de 2004).

A autora destaca que não existe grande reservação neste aquífero, mas o mesmo representa uma área de passagem da Coxilha das Lombas e Banhado Grande e reitera a importância da Coxilha das Lombas como zona de recarga e área vital de manutenção do aquífero, salientando a importância de preservação deste.

4.3 Pedologia

Os solos constituintes da bacia são descritos abaixo:

4.3.1 Argissolo

Estes solos têm como característica principal a presença de um horizonte B textural (Bt). É um horizonte mineral subsuperficial com textura franca arenosa ou mais fina (mais que 15% de argila) onde houve incremento de argila (fração $<0,002\text{mm}$).

Este incremento que pode ser orientado ou não - desde que não exclusivamente por descontinuidade - é resultante de acumulação ou concentração absoluta ou relativa decorrente de processos de iluviação e/ou formação *in situ*, e/ou herdada do material de origem, e/ou destruição de argila no horizonte A, e/ou perda de argila no horizonte A, e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial.

Esse horizonte B textural é formado pela movimentação de argila dos horizontes superiores para os inferiores.

Como consequência, os horizontes acima do Bt ficam com teores menores de argila e maiores de areia. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas.

A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquela para este.

Este tipo de solo, raramente, apresenta problemas de excesso de água e possui drenagem considerada boa. Aqueles que geralmente possuem horizonte A arenoso sobre horizonte B de textura média se encaixam na definição agora exposta.

De forma oposta, aqueles com horizonte B muito argiloso, porém com horizonte A de textura média a arenosa. Geralmente, devem apresentar os problemas de drenagem. Desse modo, devemos conhecer o perfil do argissolo para, posteriormente, tirar-se conclusões sobre o seu comportamento de drenagem.

São forte e moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente cauliniticos e com relação molecular Ki variando de 1,0 a 2,3, em correlação com baixa atividade das argilas.

Nesta classe estarão incluídos os solos que foram classificados pela EMBRAPA. Solos como Podzólico Vermelho-Amarelo argila de atividade baixa, pequena parte de Terra Roxa Estruturada, de Terra Roxa Estruturada Similar, de Terra Bruna Estruturada e de Terra Bruna Estruturada Similar, todos com gradiente textural necessário para B textural, em qualquer caso: Eutróficos, Distróficos ou Álicos, e mais recentemente o Podzólico Vermelho-Escuro, com B textural e o Podzólico Amarelo.

4.3.2 Gleissolo

Compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei 4 dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo, ou a profundidade entre 50 e 125 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (gleisados ou não) 5, ou precedidos por horizonte B incipiente, B textural ou C com presença de mosqueados abundantes com cores de redução.

Os solos desta classe são permanentes ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados.

A água de saturação ou permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície do mesmo.

Caracterizam-se pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do solo por longo período ou durante todo o ano.

O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causada pelo encharcamento. Provoca, também, a redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e reprecipitação dos seus compostos.

São solos mal ou muito mal drenados, em condições naturais, que apresentam sequência de horizontes A-Cg, A-Big-Cg, A-Btg-Cg, A-E-Btg-Cg, A-Eg-Bt-Cg, H-Cg, tendo o horizonte A cores desde cinzentas até pretas, espessura normalmente entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico.

São solos que ocasionalmente podem ter textura arenosa (areia ou areia franca) somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei de textura franco arenosa ou mais fina.

Afora os horizontes A, H ou E que estejam presentes, a estrutura é em blocos ou prismática composta ou não de blocos angulares e subangulares. Quando molhado, o horizonte apresenta-se, em geral, com aspecto maciço. São solos formados em materiais originários estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações.

Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões.

São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (surgentes). São solos formados sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.

4.3.3 Neossolo

Compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, as modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos.

Esta classe admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo o horizonte O ou H hístico, com menos de 30 cm de espessura quando sobrejacente à rocha ou a material mineral. Alguns solos têm horizonte B com fraca expressão dos atributos (cor, estrutura ou acumulação de minerais secundários e/ou coloides), não se enquadrando em qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

4.3.4 Chernossolo

Solos minerais não hidromórficos com alta saturação por bases, argila de atividade alta e horizonte A chernozêmico. É um tipo de solo classificado em função do horizonte A, diferentemente da maioria dos solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos que são classificados em função dos horizontes sub-superficiais.

Constituído por material mineral, com teor de matéria orgânica insuficiente para ser classificado como Organossolo; argila com elevada atividade (Ta), na prática, este solo apresenta rachaduras; alta saturação por bases (alto V%), geralmente > 70%; ausência de Al⁺⁺⁺; pouco coloridos, escuros; horizonte A chernozêmico sobrejacente a B textural (Bt), B incipiente (Bi), B nítico, ou a um horizonte C cálcico ou C carbonático; pH desde moderadamente ácido a fortemente alcalino.

Podem estar associados a material de origem calcário, embora possam estar associados a outras rochas que possam permitir a formação de solo com alto teor de cátions de reação alcalina (principalmente cálcio e magnésio).

4.3.5 Planossolo

Compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta.

Podem apresentar qualquer tipo de horizonte A ou E, e nem sempre horizonte E álbico, seguidos de B plânico, tendo sequência de horizonte A, AB ou A, E (álbico ou não) ou Eg, seguidos de Bt, Btg, Btn ou Btn_g.

Característica distintiva marcante é a diferenciação bem acentuada entre os horizontes A ou E e o B, devido à mudança textural abrupta entre os mesmos, requisito essencial para os solos desta classe.

Decorrência bastante notável, nos solos quando secos, é a exposição de um contato paralelo à disposição dos horizontes, formando limite drástico, que configura um fraturamento muito nítido entre horizonte A ou E e o B.

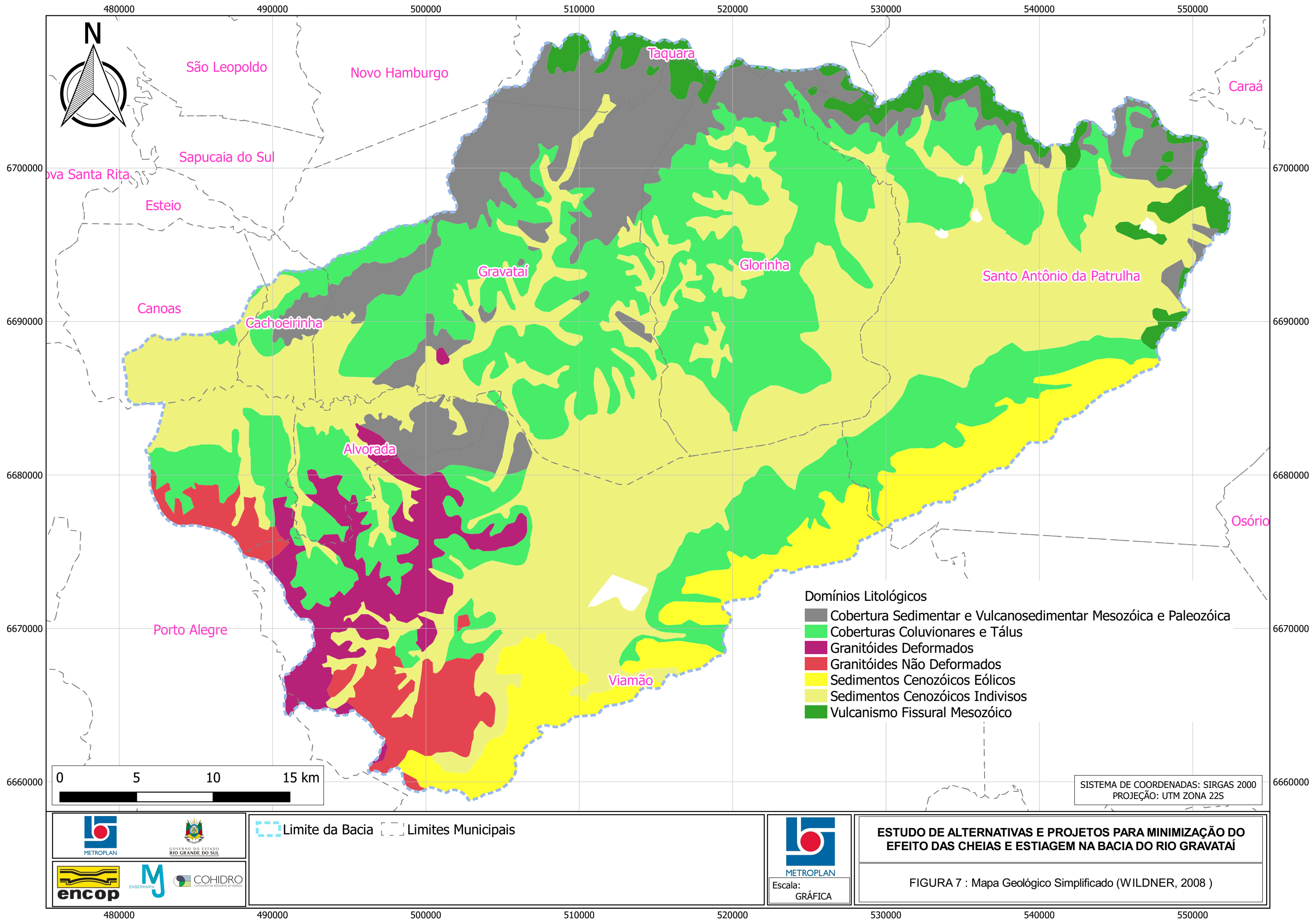
É típico do horizonte B a presença de estrutura forte grande em blocos angulares, frequentemente com aspecto cúbico, ou então estrutura prismática ou colunar, pelo menos na parte superior do referido horizonte.

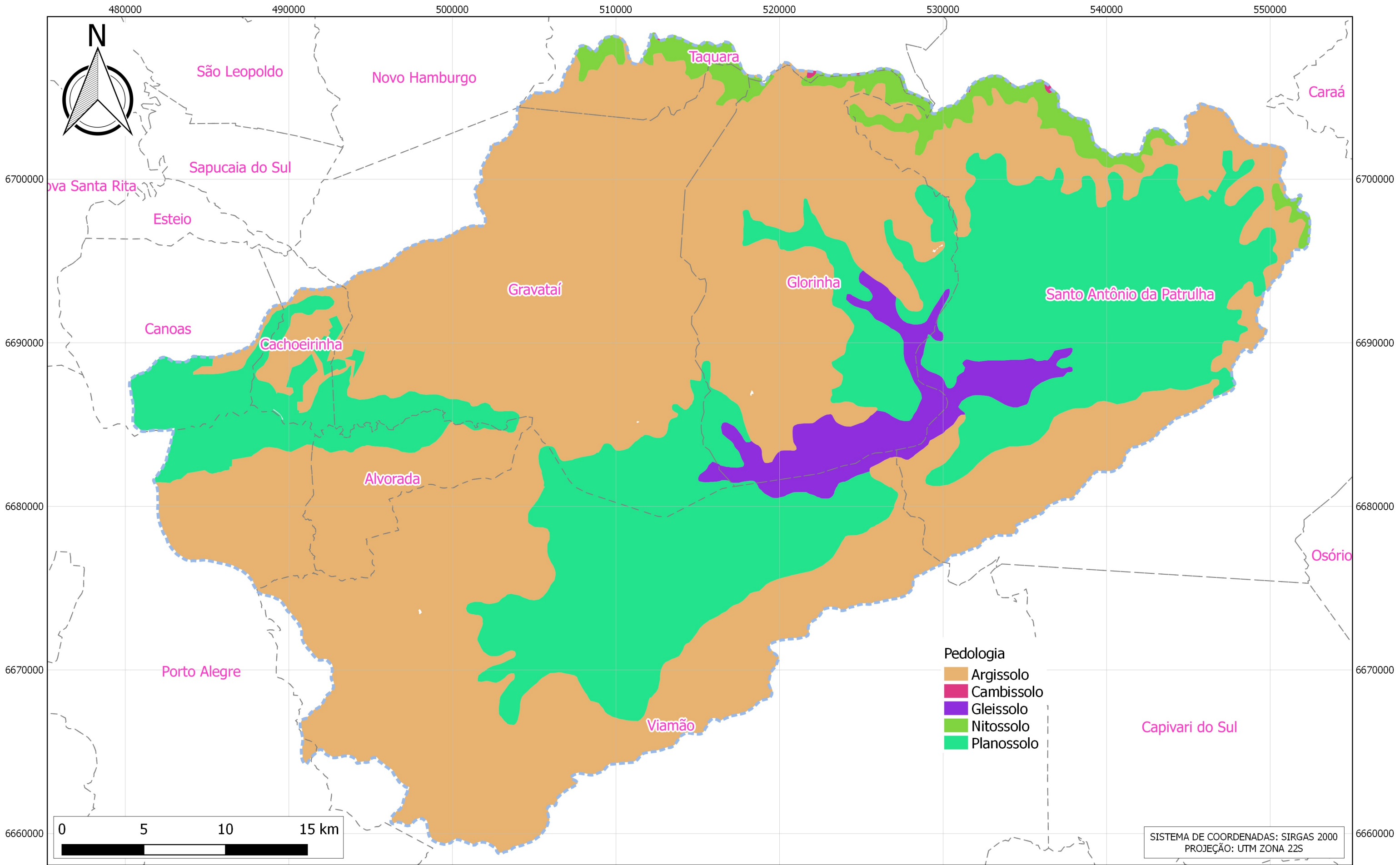
Por efeito da vigência cíclica de excesso de umidade, ainda que por períodos curtos, as cores no horizonte B, e mesmo na parte inferior do horizonte sobrejacente, são predominantemente pouco vivas, tendendo a acinzentadas ou escurecidas, podendo ou não haver ocorrências e até predomínio de cores neutras de redução, com ou sem mosqueados, conforme especificado para o horizonte B plânico.

Os solos desta classe ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração.

Nas baixadas, várzeas e áreas de depressões, sob condições de clima úmido, estes solos são verdadeiramente solos hidromórficos, com horizonte que é ao mesmo tempo glei e de concentração de argila.

As Figura 7 e Figura 8 a seguir apresentam respectivamente, os mapas geológico e pedológico da bacia do Gravataí.









 Limite da Bacia  Limites Municipais



Escala:
GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA 8 : Mapa Pedológico (CPRM, 2010)

4.3.6 Grupos Hidrológicos x Grupos de Solos

O modelo de escoamento superficial do Soil Conservation Service (SCS) que permite considerar o tipo e a cobertura do solo é um dos mais utilizados na prática da engenharia para se estimar o escoamento superficial (Sartori, Neto e Genovez, 2005).

Sua metodologia reúne os solos dos EUA em quatro grandes grupos: A (baixo potencial de escoamento); B (moderado potencial de escoamento); C (alto potencial de escoamento); D (muito alto potencial de escoamento); iniciando a série com as argilas compactas com baixíssima taxa de infiltração até as areias bem graduadas e profundas com alta taxa de infiltração.

No Brasil alguns estudos foram realizados no sentido de adaptar ou compreender a classificação hidrológica do solo. Com o objetivo de contribuir nesse sentido, Sartori, Neto e Genovez (2005) apresentam a classificação original do SCS mostrando as dificuldades de sua aplicação e a proposta por Lombardi Neto et al. (1989) com uma breve justificativa de seus conceitos conflitantes com a classificação do SCS.

O Quadro 6 apresenta a relação entre grupos de solos e grupos hidrológicos proposta pelos autores.

Quadro 6 - Grupos Hidrológicos x Grupos de Solos

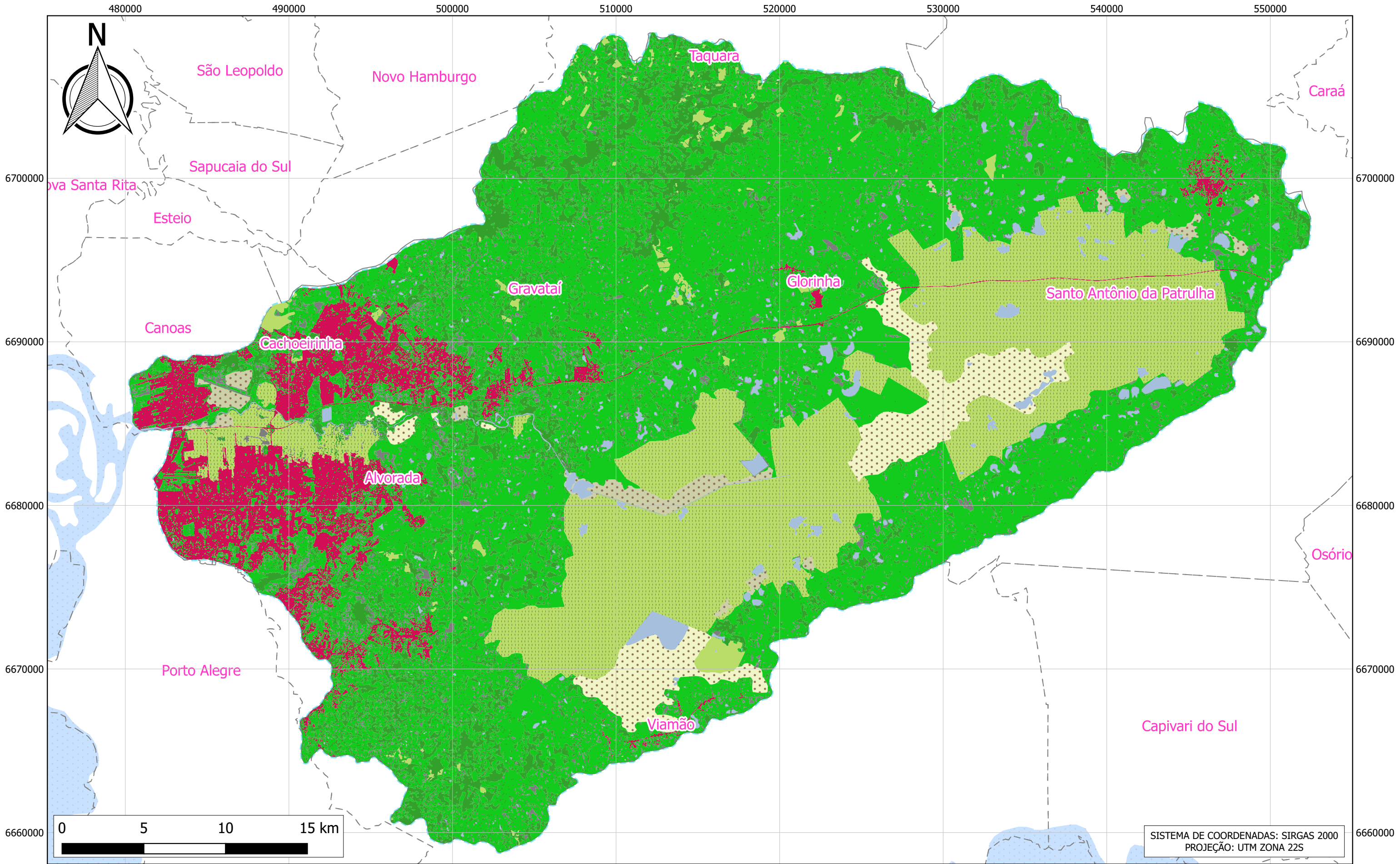
Grupo Hidrológico	Grandes Grupos de Solos	Profundidade
A	LR, LE, LV, LVr, LVt, LH, Lea e Lva	Muito profundo (>2m) ou profundo (1 a 2m)
B	LJ, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVls, R, RPV, RLV, LEa e LVa	Profundo (1 a 2m)
C	Pml, PVp, PVls, Pc e M	Profundo (1 a 2m) a moderadamente profundo (0,5 a 1,0m)
D	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac, PVp (rasos)	Moderadamente profundo (0,5 a 1,0m) ou raso (0,25 a 0,50m)

(Fonte: Sartori, Neto e Genovez, 2005))

4.4 Uso do Solo

Considerando a cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí as classes de uso e ocupação identificadas na bacia são: campo (50,81%), lavoura (19,98%), mata (11,12%), área urbana (7,65%), banhado (3,96%), água (2,04%), campo úmido (1,06%), solo descoberto (2,43%) e reflorestamento (0,89%).

Conforme a Figura 9, pode-se identificar que no trecho Baixo Gravataí ocorre predomínio de áreas urbanas, lavouras e campo úmido, enquanto que no Médio Gravataí predominam as lavouras, matas, campo e banhado, no Alto Gravataí-Banhado Grande predominam os campos, lavouras e a própria área do Banhado Grande, e no Alto Gravataí-Formadores ocorre predomínio das lavouras e do campo.







 Limite da Bacia

 Limites Municipais

 Hidrografia

Uso do Solo

 Área Urbana

 Campo Úmido

 Reforestamento

 Água

 Banhado

 Lavoura

 Mata

 Solo



METROPLAN

Escala:
GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA 9: Classificação do uso do solo (Plano de Bacia do Rio Gravataí, 2011)

4.5 Caracterização Fisiográfica das Macrobacias

A bacia do Rio Gravataí abrange uma área de 2.020 km², com cerca de 76% de sua área pertencente à região metropolitana de Porto Alegre, incluindo total ou parcialmente os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Taquara, Glorinha, Gravataí, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Canoas e Porto Alegre.

A bacia situa-se na borda nordeste do Escudo Sul-Rio-Grandense, entre o Planalto Meridional, a Depressão Periférica e a Planície Costeira, apresentando os seguintes extremos: oeste 51°12'00"; norte 29°45'04", leste 50°27'22" e sul 30°12'20".

4.5.1 Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. É um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho, que determina o grau de irregularidade da bacia.

Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade.

Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1.

Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu K_c for mais próximo da unidade.

O K_c foi determinado baseado na seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P = perímetro da bacia hidrográfica, em km;

A = área de drenagem da bacia hidrográfica, em km².

4.5.2 Fator de Forma

O fator de forma fornece um indicativo da tendência a enchentes de uma bacia hidrográfica.

É a relação entre a área da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água principal, desde a foz até a cabeceira mais distante, próxima ao divisor de águas da bacia. É um fator adimensional.

Para bacias do mesmo tamanho, aquela que apresentar um fator de forma mais alto (bacia larga e curta) possui maior tendência a enchentes, pois neste caso esta bacia possuirá maior parcela de sua área total passível de ser atingida por um único evento chuvoso.

As bacias com fator de forma mais baixo apresentam formato mais alongado.

A relação analítica para o cálculo do fator de forma é:

$$K_f = \frac{A}{A^2}$$

Onde:

A = área de drenagem da bacia hidrográfica, em km²;

L = comprimento axial da bacia ou extensão do maior curso de água da bacia, em km.

4.5.3 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é o índice que apresenta uma estimativa da eficiência de drenagem da bacia. É determinada através da relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total, fornecendo uma indicação da velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

Bacias bem drenadas possuem uma densidade de drenagem superior a 3,5 km/km².

Isto ocorre quando existe um número elevado de tributários, gerando picos de enchentes altos e vazões de tempo seco baixas. Bacias com densidade de drenagem inferior a 0,5 km/km² são consideradas de drenagem pobre. A densidade de drenagem, em km/km², é assim calculada:

$$D_d = \frac{L_T}{A}$$

Onde:

LT = comprimento total dos cursos d'água da bacia hidrográfica, em km;

A = área de drenagem da bacia hidrográfica, em km².

4.5.4 Declividade do Rio

A declividade do rio pode ser determinada através da média ponderada entre as declividades do rio trecho a trecho (entre curvas de nível, por exemplo) ou através da declividade média obtida dividindo-se o desnível entre a nascente e a foz pela extensão total do curso d'água principal.

Neste estudo optou-se pela segunda maneira, por ser a indicada pelas Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Eletrobrás. A declividade média do rio (S), em m/km, é determinada pela fórmula:

$$S = \frac{H}{L}$$

Onde:

H = diferença entre cotas do ponto mais afastado e o considerado, em **m**;

L = comprimento axial da bacia ou extensão do maior curso de água da bacia, em **km**.

4.5.5 Tempo de Concentração

O tempo de concentração mede o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada, ou seja, é o tempo em que a gota que se precipita no ponto mais distante da seção transversal considerada de uma bacia leva para atingir essa seção.

Para cálculo do tempo de concentração (**tc**), em horas, da bacia envoltória ao barramento, utilizou-se a fórmula do Soil Conservation Service:

$$t_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

L = comprimento axial da bacia ou extensão do maior curso de água da bacia, em km;

H = diferença entre cotas do ponto mais afastado e o considerado, em m.

O resumo dos principais dados fisiográficos das sub-bacias do Rio Gravataí estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Resumo dos principais dados fisiográficos das sub-bacias do Rio Gravataí

Sub-bacia	Área (km ²)	Perímetro da Bacia (km)	Coefficiente de Compacidade (kc)	Talvegue Principal (km)	Rede de Drenagem (km)	Densidade de Drenagem	Declividade (m/km)	Tempo de Concentração (h)
Banhado Grande	59,81	71,52	2,59	-	-	-	-	-
Alto Gravataí – Arroios Chico Lomã, Veadinho e Palmeira	258,93	79,89	1,39	22,5	322,8	1,247	4,7	5,8
Arroios Grande e Miraguaia	333,28	115,15	1,77	26,8	359,9	1,080	10,3	4,9
Sangas da Rapadura e do Freitas	126,78	65,89	1,64	10,6	160,4	1,265	7,5	2,7
Arroios Demétrio e Pinto	402,43	104,23	1,45	35,1	589,7	1,465	7,6	6,7
Arroios Fiúza, Alexandrina e Banhado dos Pachecos	469,93	124,90	1,61	25,9	771,3	1,641	4,2	6,7
Baixo Gravataí – Margem Direita	153,55	73,94	1,67	17,9	112,2	0,731	5,3	4,6
Baixo Gravataí – Margem Esquerda	213,34	75,38	1,45	16,3	262,2	1,229	6,2	4,0

(Fonte: Plano de Bacia do Rio Gravataí)

5 SELEÇÃO, CONSISTÊNCIA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

5.1 Disponibilidade de Dados Hidrológicos

Para elaboração de estudos hidrológicos que envolvem tanto análise de disponibilidade hídrica, quanto eventos de cheias de projeto se torna fundamental a obtenção de dados de precipitação, vazão e cotas.

A obtenção de dados hidrológicos para a utilização em estudos de planejamento e projetos em recursos hídricos (disponibilidade hídrica e controle de cheias), baseia-se na análise da distribuição espacial e extensão das séries históricas das estações pluviométricas e fluviométricas existentes. As séries de dados das estações foram obtidas através:

- da compilação de dados gerenciada pela ANA (Hidroweb);
- do banco de dados da CEIC (Centro Integrado de Comando) da Prefeitura de Porto Alegre;
- do banco de dados do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais).

Devido às diferentes formas de apresentação das séries de dados hidrológicos tais foram compilados e reformatados para uso nestes estudos.

Além dos dados hidrológicos propriamente ditos outros dados secundários de apoio foram reunidos e são listados neste capítulo.

5.1.1 Séries Pluviométricas

A Figura 10 apresenta a localização no contexto da bacia e seu entorno das estações pluviométricas com dados disponíveis.

Algumas estações são de operação convencional com dado de periodicidade diária e outras são telemétricas com disponibilidade de múltiplos dados diários.

O Quadro 8 adiante, apresenta mais informações sobre as estações pluviométricas, tais como: tipos de dados disponíveis e operador.

Embora exista aparentemente uma grande quantidade de estações pluviométricas, principalmente nas regiões urbanizadas, a disponibilidade de dados não é homogênea (Quadro 9 a Quadro 13). Isto é evidenciado pela disponibilidade apenas entre 2014 e 2016 dos dados telemétricos das estações do CEIC – Porto Alegre e CEMADEN.

As estações pluviométricas com maior disponibilidade de dados são as de: Santo Antônio da Patrulha, Glorinha, Lagoa dos Barros, Agropecuária Anju, Fazenda Nossa Senhora da Conceição, Sapucaia do Sul, Lombas, Entrepelado e Porto Alegre.

Entre o período de 1992 e 2006 é onde existe a maior concentração de disponibilidade de dados pluviométricos, com 6 a 10 estações (em cada ano) na bacia ou no seu entorno com séries perfazendo 90% ou mais de disponibilidade dos dados diários.

Entre as estações com maior número de dados apenas a Lagoa dos Barros e Entrepelado não possuem informação neste período.

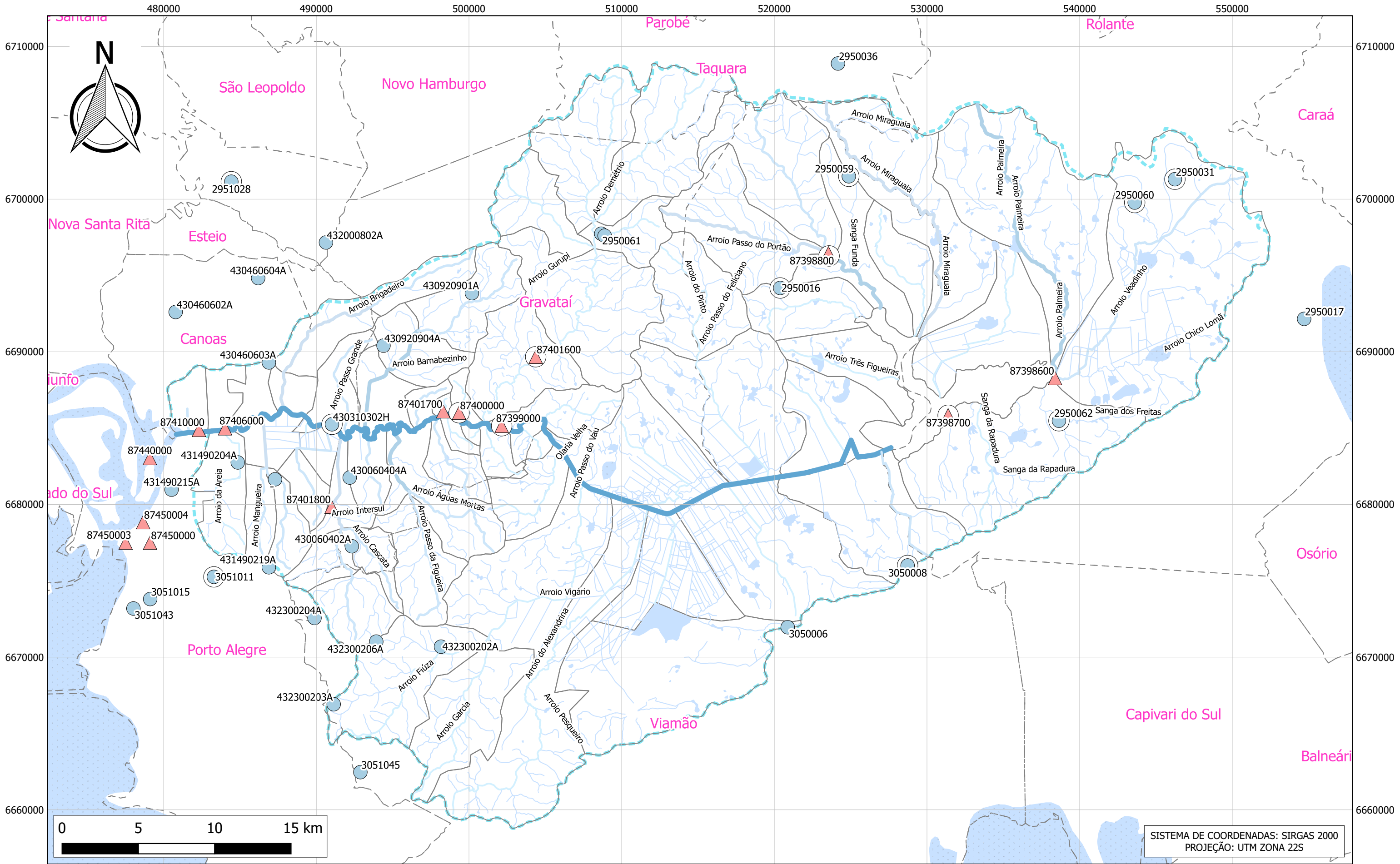
As estações com menor disponibilidade de dados foram consideradas secundárias e foram utilizadas como dados de apoio na consistência ou extensão das séries das estações principais.

Considerando-se uma análise da disponibilidade de estações pluviométricas e, dentro destas, a disponibilidade de dados, quanto a sua distribuição espacial na bacia do Rio Gravataí, pode-se afirmar:

- O trecho das nascentes localizadas ao norte e nordeste da bacia está mais densamente ocupado, identificando-se cinco estações pluviométricas com boa disponibilidade de dados;
- O trecho das nascentes sul e sudeste, conta com apenas uma estação (Lombas) com boa disponibilidade de dados, o que poderia ser melhor monitorado, haja vista área de contribuição significativa, principalmente do município de Viamão;
- O trecho de jusante, próximo a foz, apresenta apenas com boa disponibilidade de dados a estação Porto Alegre, onde a densidade de ocupação é elevada, e as diferenças de intensidade de precipitação são evidentes.

As estações telemétricas do CEMADEN cobriram bastante esta deficiência, mas devido à sua recente instalação as séries disponíveis ainda são curtas.

O trecho baixo da bacia do Gravataí encontra-se atualmente bem monitorado em relação à precipitação embora a instalação das estações sejam recentes e desta forma não perfazem uma série com duração significativa.



SISTEMA DE COORDENADAS: SIRGAS 2000
PROJEÇÃO: UTM ZONA 22S



— Limite da Bacia — Hidrografia - - Limites Municipais

ESTAÇÕES

▲ Estação Fluviométrica ○ Estações Utilizadas

● Estação Pluviométrica

Escala:
GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA 10: Mapa das Estações Pluviométricas e Fluviométricas

Quadro 8 - Estações Pluviométricas com Disponibilidade de Dados

ID	DADO	TIPO	NOME	CÓDIGO	LONGITUDE	LATITUDE	CIDADE	OPERADOR
1	PLU	DIÁRIO	AGROPECUÁRIA ANJÚ	2950059	524881	6701501	GLORINHA	CPRM
2	PLU	DIÁRIO	ARROIO DO SALSO	3051045	492886	6662467	PORTO ALEGRE	CPRM
3	PLU	DIÁRIO	ENTREPELADO	2950013	525792	6712579	PALMARES DO SUL	CPRM
4	PLU	DIÁRIO	FAZ. N. S. DA CONCEIÇÃO	2950062	538648	6685487	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	CPRM
5	PLU	DIÁRIO	GLORINHA	2950016	520385	6694185	GRAVATAÍ	ANA
6	PLU	DIÁRIO	LAGOA DOS BARROS	2950017	554709	6692161	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	DEPRC
7	PLU	DIÁRIO	LOMBAS	3050008	528733	6676006	VIAMÃO	CPRM
8	PLU	DIÁRIO	MORUNGAVA	2950061	508666	6697740	GRAVATAÍ	ANA
9	PLU	DIÁRIO	PORTO ALEGRE	3051011	483291	6675261	PORTO ALEGRE	INMET
10	PLU	DIÁRIO	PORTO ALEGRE - CPRM	3051043	478020	6673190	PORTO ALEGRE	CPRM
11	PLU	DIÁRIO	PORTO ALEGRE (STA TERESA 839)	3051015	479117	6673808	PORTO ALEGRE	INMET
12	PLU	DIÁRIO	SAPUCAIA DO SUL	2951028	484433	6701149	SAPUCAIA DO SUL	CPRM
13	PLU	HORÁRIO	SARANDI	-	487294	6681650	PORTO ALEGRE	CEIC
14	PLU	DIÁRIO	STO ANTÔNIO	2950031	546245	6701310	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	CEEE
15	PLU	DIÁRIO	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	2950060	543609	6699782	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	CPRM
16	PLU	DIÁRIO	TAQUARA	2950036	524172	6708890	TAQUARA	INMET
17	PLU	DIÁRIO	VIAMÃO	3050006	520880	6671961	VIAMÃO	INMET
18	PLU	DIÁRIO	PASSINHOS	3050010	558437	6676996	OSÓRIO	CPRM
19	PLU	HORÁRIO	430060402A	430060402A	492326	6677267	ALVORADA	CEMADEN
20	PLU	HORÁRIO	430060404A	430060404A	492187	6681766	ALVORADA	CEMADEN
21	PLU	HORÁRIO	430310302H	430310302H	491027	6685255	CACHOEIRINHA	CEMADEN
22	PLU	HORÁRIO	430460602A	430460602A	480787	6692611	CANOAS	CEMADEN
23	PLU	HORÁRIO	430460603A	430460603A	486893	6689307	CANOAS	CEMADEN
24	PLU	HORÁRIO	430460604A	430460604A	486191	6694835	CANOAS	CEMADEN
25	PLU	HORÁRIO	430920901A	430920901A	500193	6693847	GRAVATAÍ	CEMADEN
26	PLU	HORÁRIO	430920902A	430920902A	508886	6697611	GRAVATAÍ	CEMADEN
27	PLU	HORÁRIO	430920904A	430920904A	494401	6690410	GRAVATAÍ	CEMADEN
28	PLU	HORÁRIO	431490204A	431490204A	484856	6682756	PORTO ALEGRE	CEMADEN
29	PLU	HORÁRIO	431490215A	431490215A	480518	6680976	PORTO ALEGRE	CEMADEN
30	PLU	HORÁRIO	431490219A	431490219A	486889	6675888	PORTO ALEGRE	CEMADEN
31	PLU	HORÁRIO	432000802A	432000802A	490631	6697167	SAPUCAIA DO SUL	CEMADEN
32	PLU	HORÁRIO	432300202A	432300202A	498169	6670688	VIAMÃO	CEMADEN
33	PLU	HORÁRIO	432300203A	432300203A	491138	6666917	VIAMÃO	CEMADEN
34	PLU	HORÁRIO	432300204A	432300204A	489881	6672567	VIAMÃO	CEMADEN
35	PLU	HORÁRIO	432300206A	432300206A	493929	6671019	VIAMÃO	CEMADEN

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 9 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1944-1959)

Estação	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
2950013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950031	100	100	100	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950017	0	0	100	100	74	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2950036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2951028	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050006	0	0	100	94	94	80	68	92	100	100	67	0	0	0	0	0
3050008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 10 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1960-1979)

Estação	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
2950013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950031	0	0	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	88	92	100	100	100	100	100	100
2950016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	100	100	100
2950017	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2950036	0	100	100	100	100	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2951028	0	0	0	0	33	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3050006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051011	0	100	100	100	100	100	100	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	87
3051015	0	0	0	0	0	0	17	53	99	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 11 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (1980-1999)

Estação	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
2950013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950031	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2950016	100	100	100	90	96	91	96	100	98	91	12	0	0	75	100	100	99	100	100	100
2950017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	100	97	79	96	98	84	89	100
2950060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	99	100	96	100	92	100	100	100
2950061	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	51	100	100	98	96	100	98	97
2950062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	89	59	100	93	100	93	92	100
2951028	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84	100	100	100	100	100	100	100	100
3050006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	100	99	98	99	99	99	99	100
3050010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051011	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3051015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 12 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Diários) (2000-2016)

Estação	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2950013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950031	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0
2950016	100	100	100	100	100	100	100	83	91	83	67	100	100	100	100	100	42
2950017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2950059	100	100	100	100	70	96	94	58	100	83	75	100	100	100	91	67	33
2950060	100	99	99	98	100	100	99	67	100	60	46	87	83	92	83	95	33
2950061	90	96	91	93	97	81	94	38	83	7	0	0	0	0	0	0	0
2950062	99	99	99	100	98	94	98	65	96	73	64	91	100	86	99	100	42
2951028	100	100	100	100	100	100	100	75	100	66	59	100	100	100	100	97	33
3050006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3050008	99	100	100	100	96	100	99	75	100	83	67	100	100	99	98	99	42
3050010	0	0	0	0	0	30	100	75	100	75	67	50	92	100	93	87	42
3051011	100	33	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	100	33
3051015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3051043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	96	0	0	0	0
3051045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100	92	25

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 13 - Disponibilidade Percentual de Dados Pluviométricos (Horários) (2000-2016)

Estação	2014	2015	2016
CEIC SARANDI	0	100	58
430060402A	100	100	58
430060404A	100	100	58
430310302H	100	100	58
430460602A	100	100	58
430460603A	100	100	58
430460604A	100	100	58
430920901A	100	100	58
430920902A	100	100	58
430920904A	100	100	58
431490204A	100	100	58
431490215A	100	100	58
431490219A	100	100	58
432000802A	100	100	58
432300202A	100	100	58
432300203A	100	100	58
432300204A	100	100	58
432300206A	100	100	58

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.1.2 Séries Fluviométricas

A Figura 10 acima, apresenta a localização no contexto da bacia e seu entorno das estações fluviométricas com dados disponíveis.

O Quadro 14 apresenta mais informações sobre as estações fluviométricas, tipos de dados disponíveis e operador.

Algumas estações são de operação convencional com dado de periodicidade diária e outras são telemétricas com disponibilidade de múltiplos dados diários (Quadro 15 a Quadro 25).

Da mesma forma do que apresentado na análise das estações pluviométricas existe uma aparente boa distribuição de estações fluviométricas na bacia.

Todavia, das estações com medição de cota dentro da bacia, apenas 4 delas apresentam dados com mais de 15 anos de séries contemplando 90% ou mais de dados diários disponíveis, sendo 1 delas (Jusante Frigorífico) com dados apenas até 1970. Todas estas estações localizam-se no trecho do Baixo Gravataí.

Apenas 4 estações possuem dados de vazão (Quadro 21): Passo Grande, Passo das Canoas Auxiliar, Cerâmica Cherubini e Passo Feijó. Desta apenas a estação Passo das Canoas Auxiliar localiza-se no Rio Gravataí, sendo as demais localizadas em tributários menores.

Existem 6 estações com registros de resumo de descarga (Quadro 22 a Quadro 25): Chico Lomã, Cerâmica Cherubini, Passo das Canoas Auxiliar, Passo das Canoas, Passo Feijó e Passo Grande.

A partir destas informações e os registros de cotas as séries de vazão poderão serem reconstituídas, quando apropriado.

As estações fluviométricas Navegantes, Porto Alegre, Praça Harmonia e Cais Mauá C6 não estão localizadas na bacia e foram utilizadas para avaliar os efeitos dos níveis do Lago Guaíba nos níveis e cheias do Rio Gravataí.

Das estações fluviométricas com medição de cota Albatroz e Jusante Frigorífico são aquelas que potencialmente recebem maior influência da variação de nível do Lago Guaíba.

A análise da variação de níveis destas duas estações com aquelas localizadas no Lago Guaíba (citadas acima) apresentará a magnitude da influência nos níveis do Rio Gravataí.

Considerando a importância ambiental do Banhado Grande e sua função hidrológica de armazenamento e contenção de cheias, a retomada das medições nas estações Banhado Grande e Chico Lomã é importante para o conhecimento hidrológico desta região da bacia.

Quadro 14 - Estações Fluviométricas com Disponibilidade de Dados

ID	DADO	TIPO	NOME	CÓDIGO	LONGITUDE	LATITUDE	CIDADE	OPERADOR
1	COTA	DIÁRIO	ALBATROZ	87406000	484023	6684993	CANOAS	CPRM
2	COTA	DIÁRIO	BANHADO GRANDE	87398700	531388	6685846	STO ANT PATRULHA	CPRM
3	COTA	HORÁRIO	CAIS MAUÁ C6	87450004	478657	6678846	PORTO ALEGRE	CEIC
4	COTA/VAZ	DIÁRIO	CERÂMICA CHERUBINI	87401600	504372	6689679	GRAVATAÍ	CPRM
5	RES DESC	DIÁRIO	CHICO LOMÃ	87398600	538392	6688284	STO ANT PATRULHA	ANA
6	COTA	DIÁRIO	GRAVATAÍ-CORSAN	87401700	498311	6686109	GRAVATAÍ	ANA
7	COTA	DIÁRIO	JUSANTE FRIGORÍFICO	87410000	482312	6684894	CANOAS	DEPRC
8	COTA	DIÁRIO	NAVEGANTES	87440000	479096	6683045	PORTO ALEGRE	ANA
9	COTA/VAZ	DIÁRIO	PASSO DAS CANOAS	87400000	499354	6686013	GRAVATAÍ	CPRM
10	COTA/VAZ	DIÁRIO	PASSO DAS CANOAS AUXILIAR	87399000	502142	6685159	GRAVATAÍ	CPRM
11	COTA/VAZ	DIÁRIO	PASSO FEIJÓ (ARROIO FEIJÓ)	87401800	490999	6679857	PORTO ALEGRE	ANA
12	COTA/VAZ	DIÁRIO	PASSO GRANDE	87398800	509308	6695307	GLORINHA	ANA
13	COTA	DIÁRIO	PORTO ALEGRE	87450000	479110	6677501	PORTO ALEGRE	ANA
14	COTA	DIÁRIO	PRAÇA HARMONIA	87450003	477506	6677502	PORTO ALEGRE	DNIT

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 15 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1929-1949)

Estação	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949
87398700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87399000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87400000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87406000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87410000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
87440000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	100	100	100	100	100	100
87450000	32	86	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	92	100	100
87450003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	100	97	100	100	100	100	100	100

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 16 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1950-1969)

Estação	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
87398700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87399000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87400000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	100	100	100	99	100	100
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87406000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87410000	100	100	100	96	87	100	100	92	100	92	100	100	75	100	67	92	98	97	92	100
87440000	100	100	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450000	100	100	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450003	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	79	75	81	0	100	100	100	75	100

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 17 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1970-1989)

Estação	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
87398700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87399000	0	0	0	42	93	100	100	97	97	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96
87400000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	92	75	100	100	100
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87406000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	100	100	100
87410000	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87440000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450003	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 18 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos – Cota (Diários) (1990-2009)

Estação	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
87398700	0	34	100	0	18	100	52	0	0	0	0	0	50	57	68	51	34	3	76	53
87398800	0	35	62	0	18	76	10	0	0	0	0	0	41	28	10	5	15	44	23	77
87399000	100	100	100	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	74	69	100	99	98
87400000	100	100	100	92	92	100	100	100	100	83	92	92	100	100	100	74	88	41	100	100
87401600	0	14	49	65	64	100	85	0	0	0	56	23	93	91	36	33	13	31	31	33
87401700	0	34	100	0	3	31	26	0	0	0	0	13	81	71	0	0	0	0	0	0
87401800	0	26	98	0	21	83	4	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0
87406000	100	89	96	72	93	100	100	92	100	100	100	100	100	100	95	98	72	95	100	99
87410000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87440000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87450003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	100	100	100	100	25	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 19 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos - Cota (Diários) (2010-2016)

Estação	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
87398700	67	92	72	35	5	4	0
87398800	100	100	100	100	98	100	42
87399000	100	100	100	100	100	100	33
87400000	94	100	98	95	72	0	0
87401600	62	71	24	36	18	1	0
87401700	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0
87406000	91	88	96	64	72	91	33
87410000	0	0	0	0	0	0	0
87440000	0	0	0	0	0	0	0
87450000	0	0	0	0	0	0	0
87450003	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 20 - Disponibilidade Percentual de Dados Fluviométricos - Cota (Horários) (2013-2016)

Estação	2013	2014	2015	2016
87450004	100	100	100	58

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 21 - Disponibilidade de Dados Fluviométricos - Vazão (Diários) (1991-2016)

Estação	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
87398800	35	62	0	18	76	10	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	32	0	46	100	91	100	99	98	99	42
87399000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401600	14	49	65	64	100	85	0	0	0	0	0	93	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	26	98	0	21	83	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 22 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1940-1959)

Estação	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
87398600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87399000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87400000	33	6	4	0	0	0	0	0	0	8	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 23 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1960-1979)

Estação	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
87398600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87399000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	8	0
87400000	0	0	48	0	8	28	24	28	8	44	4	71	110	108	74	52	74	42	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 24 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (1980-1999)

Estação	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
87398600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	2	6	6	8	6	5	4
87401600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	2	6	6	8	6	6	4
87399000	6	0	2	0	0	0	0	18	20	18	0	6	13	6	6	6	8	6	4	4
87400000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10	2	6	6	8	6	8	8
87398800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	2	6	6	8	6	8	8

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 25 - Resumo de Descarga, quantidade de campanhas (2000-2016)

Estação	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
87398600	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401600	8	5	5	3	1	4	1	1	5	3	4	4	4	3	3	3	1
87399000	8	6	4	3	1	2	4	1	0	0	1	3	3	3	3	4	1
87400000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87401800	8	6	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87398800	8	6	10	4	2	4	1	2	3	3	4	4	4	3	3	4	1

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.2 Séries Climatológicas

A seguir estão apresentadas as variáveis climáticas utilizadas no estudo com as respectivas informações.

- **Precipitação**

As séries climatológicas de precipitação foram obtidas a partir da base de dados do Hidroweb, na área de estudo foram identificadas estações pluviométricas de diferentes órgãos, como: ANA, CPRM, INMET, CEMADEM, CEEE, CEIC e DEPRC.

- **Umidade Relativa do Ar**

As séries foram obtidas por meio da estação meteorológica de Porto Alegre do INMET, localizada nas proximidades da bacia estudada, os dados são apresentados por meio de médias mensais em porcentagem

- **Pressão Atmosférica**

As séries foram obtidas meio da estação meteorológica de Porto Alegre do INMET, localizada nas proximidades da bacia estudada, os dados são apresentados por médias mensais na unidade de pascais (hPa).

- **Insolação**

As séries foram obtidas meio da estação meteorológica de Porto Alegre do INMET, localizada nas proximidades da bacia estudada, os dados são apresentados por médias mensais na unidade horas de insolação.

- **Nebulosidade**

As séries foram obtidas meio da estação meteorológica de Porto Alegre do INMET, localizada nas proximidades da bacia estudada, os dados são apresentados por médias mensais na unidade de décimas partes.

- **Evaporação**

As séries foram obtidas meio da estação meteorológica de Porto Alegre do INMET, localizada nas proximidades da bacia estudada, os dados são apresentados por médias mensais na unidade de milímetros (mm). As informações foram obtidas por meio do uso do evaporímetro de Piche.

- **Evapotranspiração Real e Potencial**

Devido à existência de apenas uma estação climatológica com dados disponíveis na região (Estação Porto Alegre) considerou-se que a mesma forneceria uma representação suficiente para a representatividade dos índices da evapotranspiração na bacia.

Desta forma, os dados de evapotranspiração Real e Potencial foram consolidados por meio do produto MOD16, oriundo da missão MODIS. Os dados do satélite MODIS captam duas imagens diárias da terra em 36 bandas.

O algoritmo MOD16 (Mu et al., 2011) foi concebido para estimar a evapotranspiração global da superfície a partir de imagens do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Terra e Aqua) e dados meteorológicos provenientes do Global Modeling and Assimilation Office (GMAO).

A grande frequência para obtenção de dados prejudica a resolução espacial das informações, entretanto, possibilita uma boa resolução temporal.

Embora a aplicação do método de Thorthwaite seja de mais usual aplicação, para o presente trabalho será utilizado o método de Penman-Monteit, pois o mesmo é indicado pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Segundo Braga et al (2015) a diferença entre os métodos Thorthwaite e Penman-Monteith é pequena quando aplicado no Rio Grande do Sul.

O algoritmo adapta a equação de Penman-Monteith para uso com dados de sensoriamento remoto, conforme equação a seguir.

$$E = \left(\frac{\Delta \cdot (R_L - G) + \rho_A \cdot c_p \cdot \frac{(e_s - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot \rho_w}$$

Onde:

E: taxa de evaporação da água (m/s)

λ: calor latente de vaporização (MJ/kg)

Δ: taxa de variação da pressão de saturação do vapor com a temperatura do ar (MJ/m².s);

R_L: é a radiação líquida que incide na superfície (MJ/m².s);

G: fluxo de energia para o solo (MJ/m².s);

ρ_A: massa específica do ar (kg/m³);

ρ_w: massa específica do vapor (kg/m³);

c_p: calor específico do ar úmido (MJ/kg.°C);

e_s: pressão de saturação do vapor (kPa);

e_d: pressão de ar de vapor de água no ar (kPa);

γ: constante psicrométrica (kPa/°C);

r_s: resistência superficial da vegetação (s/m);

r_a: resistência aerodinâmica (s/m).

A equação de Penman-Monteith representa dois processos relacionados às condições da atmosfera, tem peso significativo para dados climáticos e meteorológicos, bem como para a radiação (do balanço de energia), combinando as condições atmosféricas e radioativas.

A equação tem a vantagem que nenhuma variável tem um peso muito grande, se uma variável estiver errada, não representa um erro final grande, pois o erro acaba sendo distribuído.

Os dados de entrada MODIS requeridos para o algoritmo MOD16 possuem resolução espacial entre 500m e 1km e incluem os produtos globais de uso e cobertura da terra, índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa e albedo, o produto foi disponibilizado ao público no ano de 2013.

Com relação aos parâmetros meteorológicos necessários para o algoritmo, são utilizados dados de reanálise diários do GMAO referentes à radiação solar incidente, temperatura do ar e pressão de vapor da água, com resolução espacial de 1,00° x 1,25° (Zhao et al., 2005).

Em suma, os dados MOD16 possuem 1 km de resolução espacial e abrangem uma superfície de ≈109 milhões de km² (MORAES; OLIVEIRA, 2015).

Em relação ao algoritmo, verificou-se que as estimativas de evapotranspiração apresentam melhores resultados a longo prazo e em grandes áreas; além disso, os resultados estão em um intervalo aceitável de acurácia, indicando um potencial significativo no monitoramento espacial e temporal do processo de evapotranspiração de forma contínua e sistemática a partir de informações obtidas por sensoriamento remoto (RUHOFF, 2011).

Segundo Ruhoff (2015) o MOD16 apresenta sensibilidade para detectar evapotranspiração para diferentes condições de uso e cobertura de terra, como áreas de floresta, agricultura, campos e pastagens.

O autor indica nesta metodologia um grande potencial no mapeamento e monitoramento do ciclo hidrológico em diversas escalas temporais.

Para utilizar o produto MOD16, o usuário deve multiplicar os dados baixados por 0,1 para obter os valores de evapotranspiração (NTSG, 2016).

5.3 Demais Bases de Dados Utilizadas

Além dos dados hidrológicos propriamente ditos foram utilizadas outras bases de dados para construção dos modelos hidrológicos e hidrodinâmicos (Quadro 26).

Quadro 26 - Bases de Dados Utilizadas

Dado	Fonte
Limite da Bacia Hidrográfica	Plano de Bacia do Rio Gravataí
Limites das Sub-bacias	Plano de Bacia do Rio Gravataí
Sistema Viário	IBGE
Limites Municipais	IBGE
Hidrografia	Plano de Bacia do Rio Gravataí
Manchas Urbanas	Plano de Bacia do Rio Gravataí
Classificação de Uso Solo	Plano de Bacia do Rio Gravataí
Localização das Estações Pluviométricas e Pluviométricas	ANA (Hidroweb) / CEMADEN

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.4 Seleção e Consistência de Dados Pluviométricos

O objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos (Tucci, 2009). Todavia podem ocorrer períodos sem informações ou com falhas nas observações devido a problemas de registro, equipamentos ou operação.

A análise de consistência dos dados pluviométricos deve ter como objetivo a identificação e correção de erros, bem como o preenchimento de falhas das séries.

A condição espacial da precipitação sugere sempre a necessidade de analisar os dados de conjuntos de estações de medição pluviométricas próximas para permitir o preenchimento de lacunas nos registros ou a substituição de dados observados e considerados errôneos.

Assim, deve-se lançar mão de estações situadas em bacias ou regiões vizinhas (Irani dos Santos et al., 2001) numa análise de registros pluviométricos.

A análise deve levar em conta o regime climático, do sistema de circulação geral e demais processos geradores das chuvas, da orografia, da existência de microclimas e demais fatores que possam influenciar na ocorrência das chuvas na região em estudo.

Em muitas ocasiões, totais pluviométricos bastante diferenciados entre estações próximas podem ser explicados por diferenças de altitude, pela localização das estações a barlavento ou sotavento, pela ocorrência de chuvas convectivas etc.

A atividade de consistência de dados inicia-se na avaliação de potenciais erros grosseiros nas observações.

O banco de dados levantado para o presente trabalho apresenta tanto dados brutos quanto previamente consistidos, desta forma este tipo de falha nas séries não pode ser descartado.

As estações a serem analisadas devem ser selecionadas e separadas em dois grupos: estações principais e estações secundárias.

As estações principais são os locais a partir de cujos registros os resultados do estudo hidrológico em questão são obtidos e são identificadas a partir de algumas características consideradas básicas, como:

- localização adequada na bacia para os propósitos do estudo;
- grande extensão do período de observação (em geral, maior ou igual a 25 anos);
- poucos períodos de interrupção; presumivelmente bem operada com pouca ou nenhuma alteração na instalação.

As estações secundárias têm como finalidade principal verificar a existência de erros de observação ou transcrição nos dados das estações principais.

Entretanto, em função dos resultados da análise de consistência, poderá uma estação secundária ser levada à condição de principal pela qualidade dos seus registros e das suas condições naturais.

De uma forma geral, as estações secundárias ou de apoio, devem ser selecionadas tendo como base, dentre outros, os seguintes aspectos: maiores coeficientes de correlação (no mínimo igual a 0,8); menores distâncias entre as estações (quando possível, com distâncias máximas de 200 km); períodos de dados coincidentes; e altitudes semelhantes entre as estações.

5.4.1 Séries e Períodos Selecionados

Para calibração do modelo e construção das séries de vazão é necessária a seleção de estações e períodos com dados disponíveis nas estações pluviométricas e fluviométricas.

Para tal foram utilizados os seguintes critérios:

- **Séries pluviométricas:**
 - ✓ As estações selecionadas deverão apresentar o mínimo possível de falhas nos registros de dados;
 - ✓ As estações selecionadas deverão estar distribuídas o mais homoganeamente possível na bacia;
 - ✓ Períodos sem registros em uma estação deverão ser compensados com períodos com registros nas demais estações para efetuar-se o preenchimento de falhas;
 - ✓ As séries deverão ser as mais longas e atualizadas possíveis;

As séries pluviométricas utilizadas no estudo são apresentadas no Quadro 27 assim como a justificativa para sua utilização ou não.

A partir dos dados disponíveis e sua qualidade foi proposto que o estudo hidrológico consista na análise de dados pluviométricos entre os períodos de janeiro de 1944 e março de 2016, perfazendo um período de 72 anos e 2 meses.

Quadro 27 - Séries Pluviométricas Utilizadas.

Código	Anos com Dados	Percentual Médio de Falhas	Período	Análise	Utilização
2950016	55	2%	1944-2012	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
2950017	39	7%	1976-2016	Área efetiva muito pequena sobre a bacia considerando a utilização das demais	DESCARTADA
2950031	33	1%	1946-1978	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
2950036	5	4%	1961-1965	Série de dados muito curta	DESCARTADA
2950059	26	11%	1991-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
2950060	26	11%	1991-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
2950061	19	20%	1991-2008	Muitas falhas (20%)	DESCARTADA
2950062	26	11%	1991-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
2951028	53	4%	1964-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
3050006	9	12%	1946-1953	Série Curta	DESCARTADA
3050008	26	6%	1991-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
3050010	12	21%	2005-2016	Muitas falhas (:20%)	DESCARTADA
3051011	56	2%	1961-2016	Série longa com poucas falhas	UTILIZADA
3051015	5	26%	1966-1970	Série curta com muitas falhas	DESCARTADA
3051043	2	44%	2014-2012	Série curta com muitas falhas	DESCARTADA
3051045	4	35%	2012-2016	Série curta com muitas falhas	DESCARTADA

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

- **Séries fluviométricas:**

- ✓ As estações selecionadas deverão apresentar o mínimo possível de falhas nos registros de dados;
- ✓ O período de registro das estações fluviométricas deverá coincidir, pelo menos parcialmente, com os registros das estações pluviométricas, para calibração e aferição do modelo;
- ✓ As séries deverão ser as mais longas e atualizadas possíveis.

As séries fluviométricas utilizadas são apresentadas no Quadro 28.

Quadro 28 - Séries Fluviométricas Utilizadas.

Estação	Nome	Série Total	Início	Fim
87398800	Passo Grande	15	1991	2016
87400000	Passo das Canoas	76	1939	2014
87399000	Passo das Canoas (Auxiliar)	43	2002	2007
87401600	Cerâmica Cherubini	22	1991	2002
87398700	Banhado Grande	19	1991	2015

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.5 Seleção e Consistência de Dados Fluviométricos

5.5.1 Estação Passo das Canoas

A área acumulada de contribuição a jusante corresponde a 82,1% da área da bacia e consiste na estação fluviométrica com série significativa com maior área de drenagem.

Desta forma a análise hidrológica de dados desta estação é importante para estudos realizados na bacia.

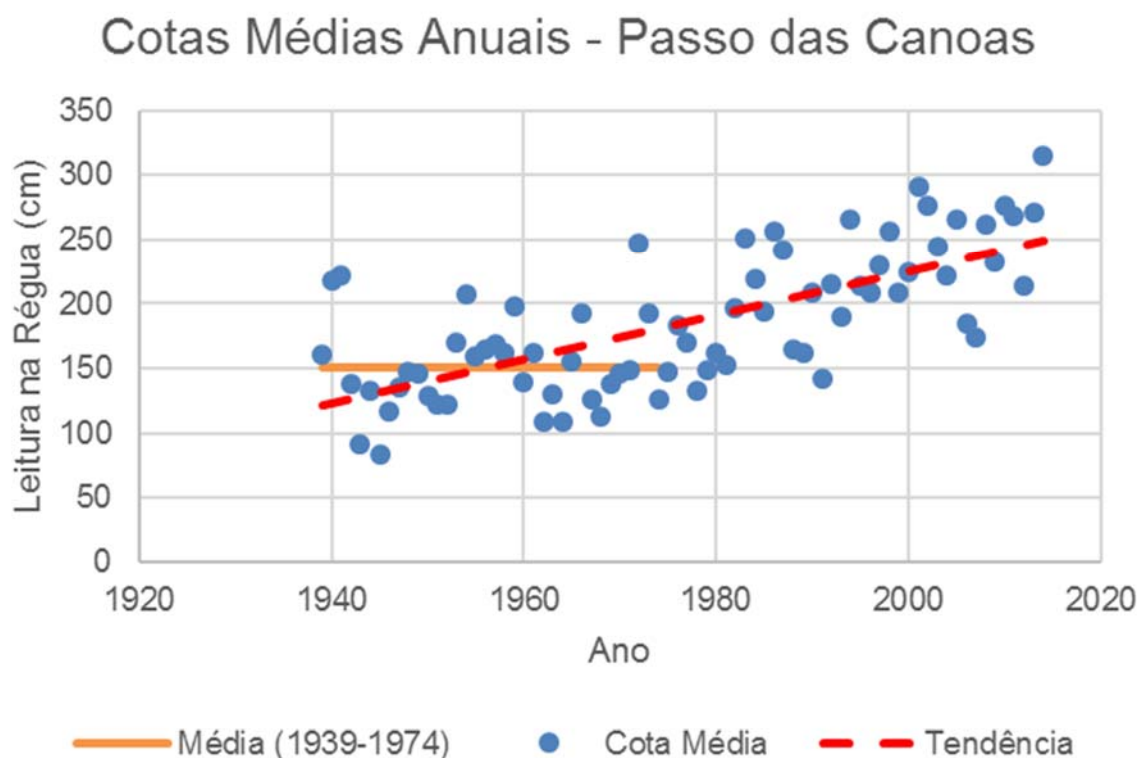
Todavia, ao serem analisadas as cotas médias anuais dentro do período de medição (Figura 11) pode-se observar claramente a não estacionaridade da série de cotas medidas. A partir do início de 1980 pode-se observar claramente uma tendência de crescimento dos valores médios das cotas, tal que as cotas médias quase dobraram de valor no período.

Esta estação apresenta medições diretas de descarga apenas entre 1962 e 1974, assim os ajustes de curva chaves apenas consideram medições deste período.

Para tal comportamento são apontadas 4 hipóteses:

- 1) O regime de chuvas médio na bacia sofreu incremento no período observado, aumentando as vazões médias na seção da estação;
- 2) O nível médio do Rio Guaíba apresentou incremento no período observado, aumentando o nível médio mesmo se a vazão média de longo período tenha se mantido constante;

- 3) A seção de medição não se manteve estável no período observado, alterando a relação de cota x vazão ao longo do tempo, provavelmente devido a assoreamento no trecho do Rio Gravataí.
- Esta hipótese invalida os dados da estação fluviométrica devido à falha no critério de estacionaridade;
- 4) Uma combinação destas hipóteses.



*Figura 11 - Cotas médias anuais – Passo das Canoas
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)*

A Figura 12 e a Figura 13 apresentam as chuvas totais anuais para as estações Sapucaia do Sul e Porto Alegre as mais significativas da bacia com dados disponíveis no período

Pode-se observar que, embora exista um pequeno incremento de pluviosidade média anual na comparação pré e pós-1970, isto não é suficiente para justificar a alteração tão significativa nas cotas médias da estação Passo das Canoas, desta forma a hipótese 1 é invalidada.

A Figura 14 e a Figura 15 apresentam as cotas médias nas estações fluviométricas Praça da Harmonia e Ilha da Pintada, que indicam os níveis no Guaíba. Analisando-se tais informações não se pode ver uma tendência de incremento nos níveis médio do lago. Assim, um efeito de remanso incremental na Estação Passo das Canoas não pode ser observado e desta forma a hipótese 2 é invalidada.

Pela invalidação da hipótese 1 e 2, a hipótese 4 é invalidada. Desta forma, se confirma por eliminação a hipótese 3, que afirma que a seção hidráulica não apresenta estabilidade no período e, assim, os dados da estação não respeitam o critério da estacionaridade.

Com este fato aliado à a falta de medições de descarga mais recentes nesta estação fluviométrica é recomendação deste estudo que os dados obtidos nesta estação para o período após 1980 sejam descartados.

Estação Sapucaia do Sul - Chuva Total Anual

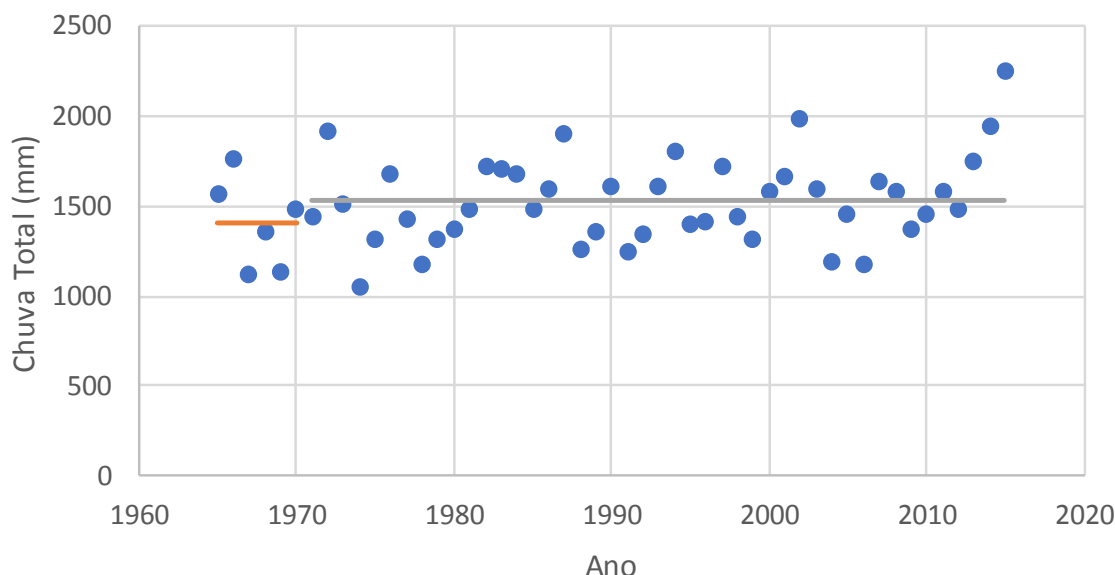


Figura 12 - Estação Sapucaia do Sul - Chuva total anual (mm)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Estação Porto Alegre - Chuva Total Anual

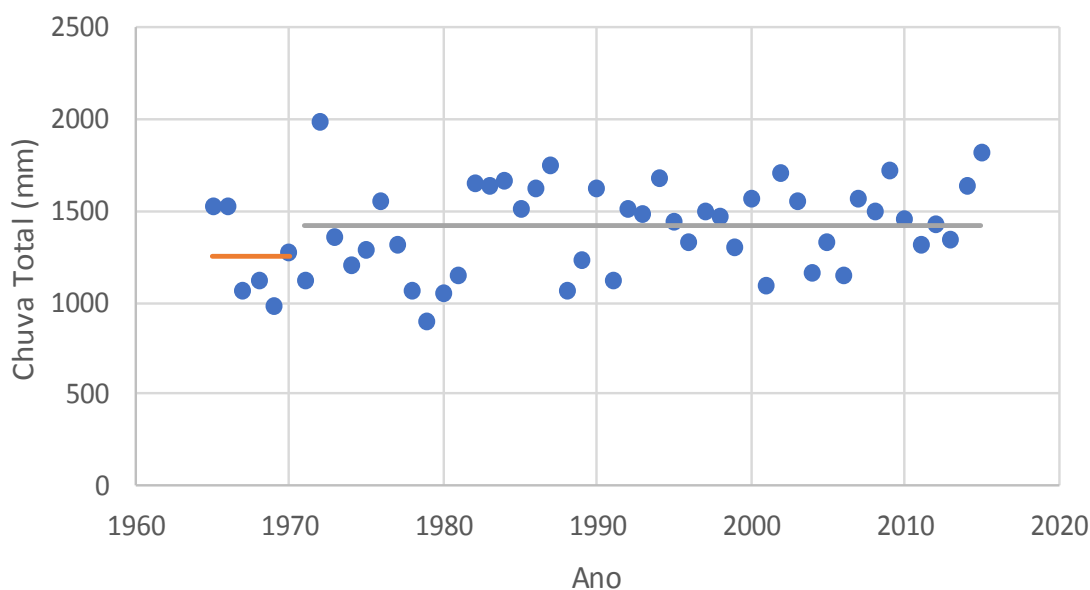


Figura 13 - Estação Porto Alegre - Chuva total anual (mm)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Estação Praça da Harmonia - Cota Média Observada

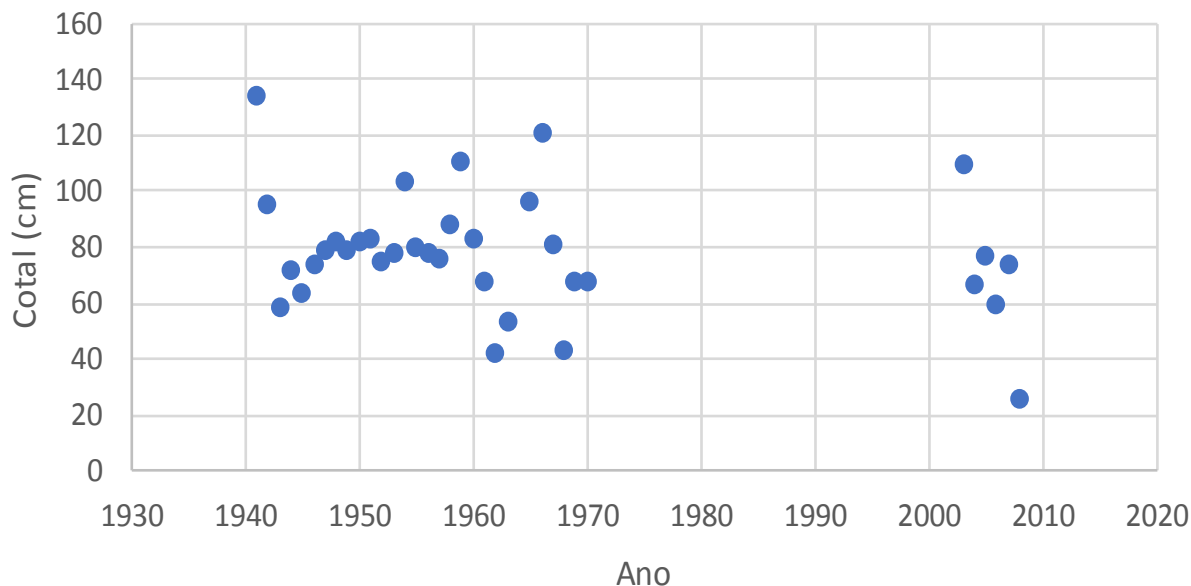


Figura 14 - Estação Praça da Harmonia – Cota Média Observada (cm)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Estação Ilha da Pintada - Cota média observada

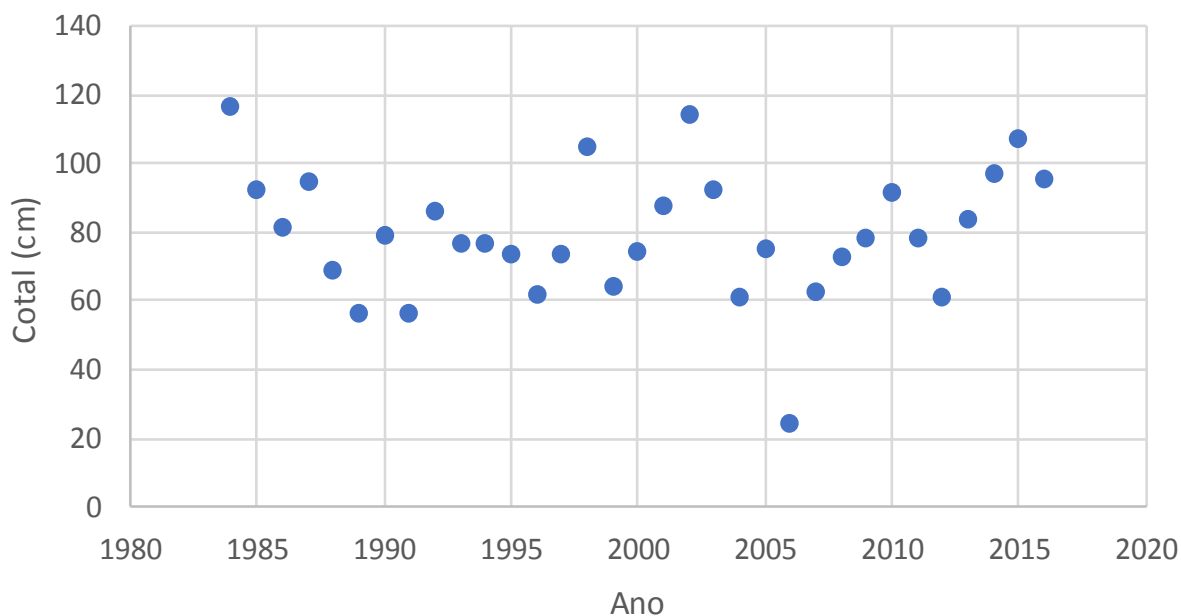


Figura 15 - Estação Ilha da Pintada – Cota média observada (cm)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Além das questões levantadas ao serem acessado o histórico da Estação Passo das Canoas pode-se ver que dos anos 2000 a 2010 ocorreram diversos eventos que descredita a medição realizada.

A seguir são transcritos, 5 eventos registrados no histórico da estação, conforme registrado pela ANA/HIDROWEB:

- **05/09/00** *Do dia 15 de junho ao dia 05 de setembro as leituras do lance 3/4 foram feitas por dedução pois a régua foi roubada, reinstalada;*
- **05/08/08** *Inspeção de rotina, deslocados os lances de régua para nova posição a 100 metros do antigo local;*
- **09/09/08** *Inspeção emergencial, tendo sido instalado o lance de régua 3-4, na continuidade da troca de local da estação para mais ou menos 120 metros a montante. Construído, também, uma nova RN, cota 4500;*
- **03/08/09** *Construído novo RN, não foi possível nivelar (chuva). Observador: Geraldo Barcelos;*
- **21/09/10** *Realizado nivelamento e constatado diferença de 36cm, para baixo, no lance 4-5. Desnível foi corrigido. Técnico de campo: Eduardo W. e Christian. Observador: Geraldo Barcelos.*

5.5.2 Estação Passo das Canoas Auxiliar

Diferentemente da Estação Passo das Canoas onde a influência do nível do Lago Guaíba é conhecida, a Estação Passo das Canoas Auxiliar não apresenta estudos antecedentes onde esta relação tenha sido estudada.

A estação Passo das Canoas Auxiliar encontra-se em cota superior e alguns quilômetros a montante da estação Passo das Canoas, desta forma espera-se que a influência seja menor na relação cota x vazão.

De toda forma foi realizada uma série de análises para confirmar ou quantificar a questão da influência de remanso e uma equação de curva de descarga apropriada. Tais análises estão no Anexo, Item 10.

A Figura 16, a Figura 17, a Figura 18 e a Figura 19 apresentam as cotas médias anuais, vazões médias anuais, vazões máximas anuais e variação intranual dentro do período com dados disponíveis.

A série de vazões foi gerada a partir da curva de descarga apresentada anteriormente.

O Quadro 29 apresenta o resumo das características hidrológicas da estação Passo das Canoas Auxiliar.

Cotas Médias Anuais - Passo das Canoas Auxiliar

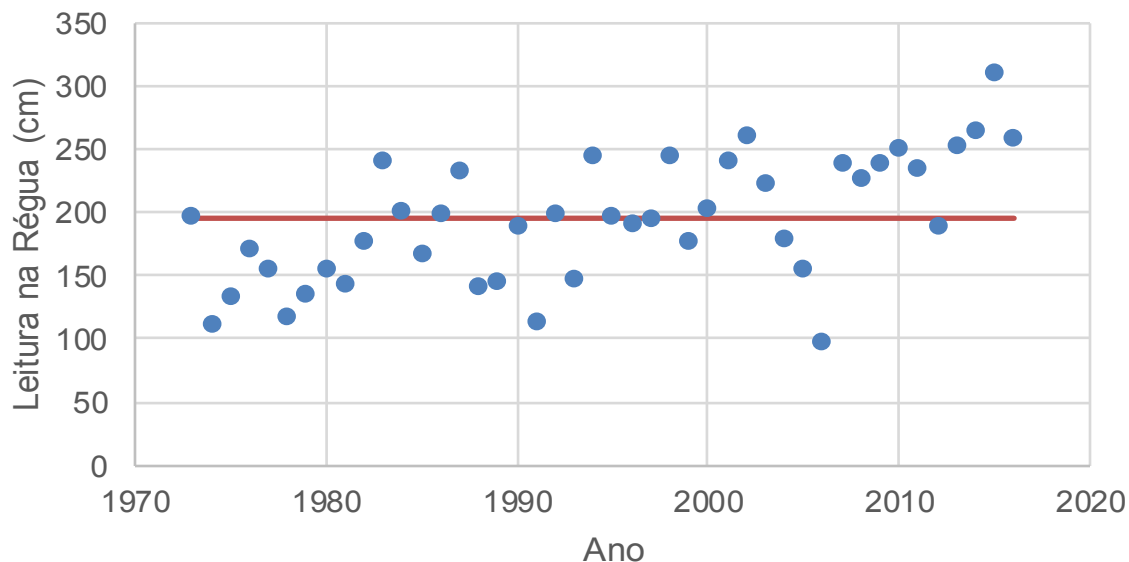


Figura 16 - Passo das Canoas Auxiliar – Cotas médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Vazões Médias Anuais - Passo das Canoas Auxiliar

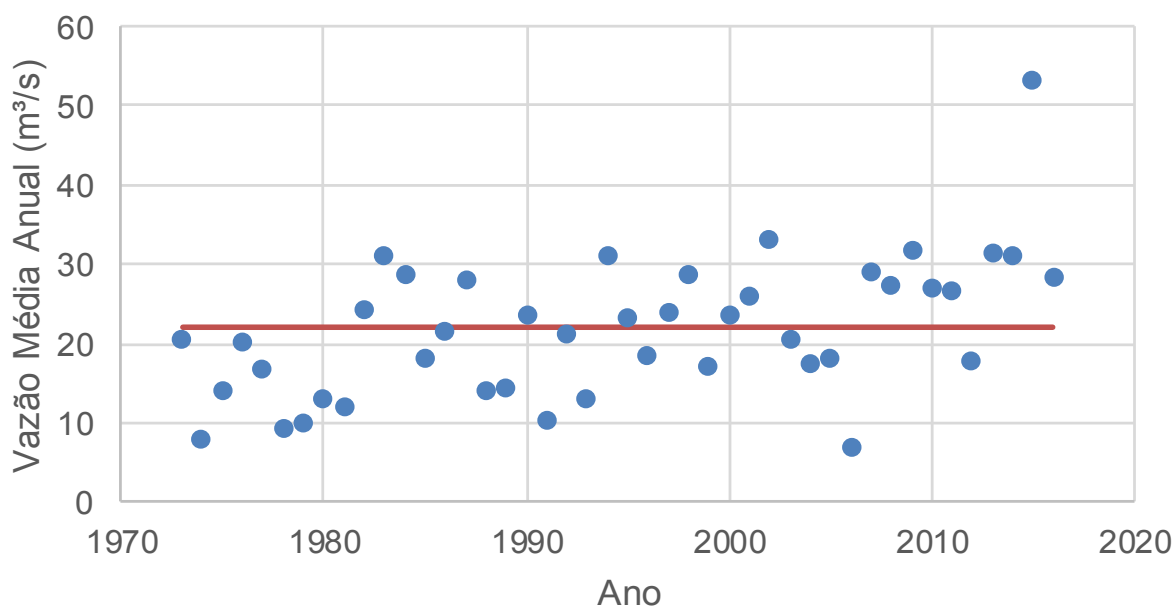


Figura 17 - Passo das Canoas Auxiliar – Vazões médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Vazões Máximas Anuais - Passo das Canoas Auxiliar

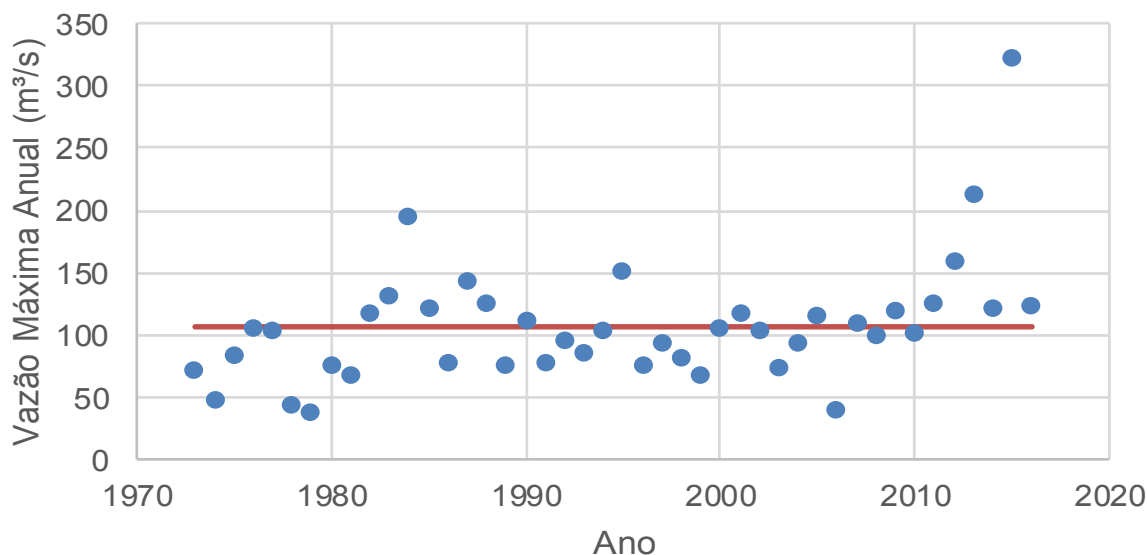


Figura 18 - Passo das Canoas Auxiliar – Vazões máximas anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Variação Intranual - Passo das Canoas Auxiliar

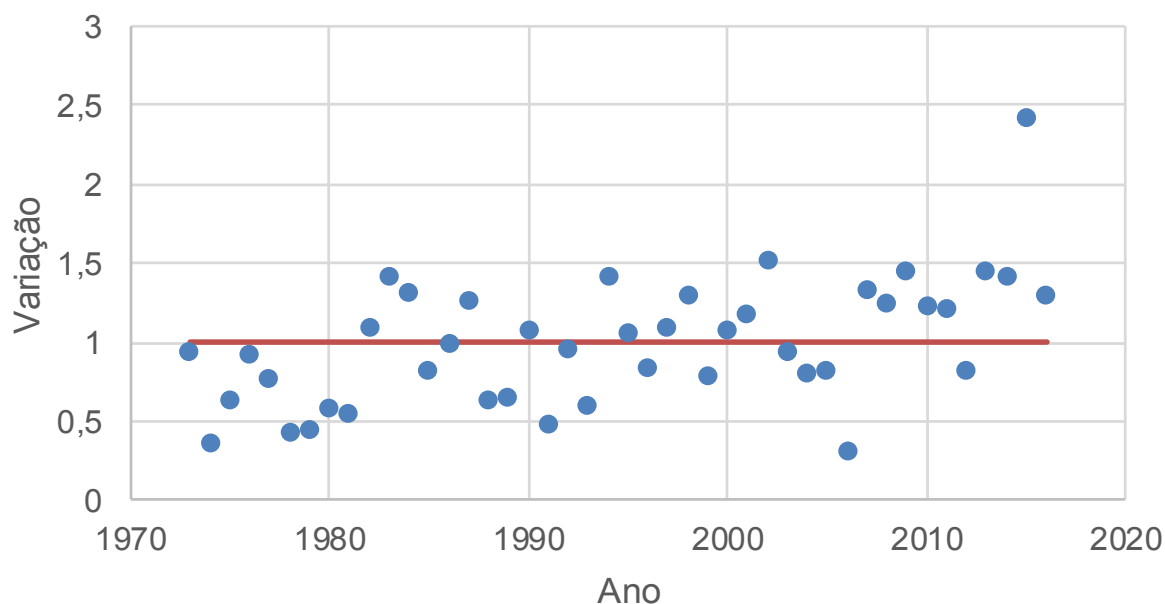


Figura 19 - Passo das Canoas Auxiliar – Variação intranual
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 29 - Resumo da Estação Passo das Canoas Auxiliar.

Característica	Valor
Vazão Média de Longo Período [m³/s]	21,88
Área [km²]	1424,1 (70,5%)
Vazão Específica [l/s/km²]	15,3
Coeficiente de Deflúvio Médio [-]	0,33

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.5.3 Estação Banhado Grande

A Estação Banhado Grande apresenta a variação dos níveis dentro do reservatório desta área embora não existam dados de vazão observados.

Devido à esta particularidade e a importância dos Banhado Grande na dinâmica hidráulica da bacia, foi utilizado um procedimento distinto para determinação do controle hidráulico deste trecho em comparação à calibração das outras estações fluviométricas.

O procedimento toma a seguinte forma:

- É realizada a calibração de toda bacia de contribuição ao Banhado Grande, a partir de informações da Estação Passo Grande;
- É realizada o ajuste do controle hidráulico na saída do Banhado Grande (ver a seguir), considerando o volume de amortecimento de tal e vazões de contribuição;
- Desta forma é efetivamente construída a curva de descarga na seção do exutório.

Tal procedimento é menos preciso que uma curva de descarga obtida a partir de dados de cota e vazão medidos na própria seção hidráulica mas ao se realizar esta verificação valoriza-se a existência de dados no trecho e aumenta o embasamento dos resultados.

O controle de descarga foi concebido da seguinte forma:

- Canal principal que conduz as menores vazões;
- Planície de inundação que permite descarregar as vazões extremas de cheias.

As cotas mínimas e máximas observadas na estação Banhado Grande variam entre 0,55 e 3,70 m (cota de referência desconhecida); assim, a partir destes valores as cotas do canal principal e planície de inundação foram ajustadas até atingir-se uma boa correlação entre as cotas observadas e simuladas.

Os valores obtidos com melhor aderência entre dados foram: fundo do canal principal em 0,50 m e a cota da planície de inundação em 2,50 m (Figura 20).

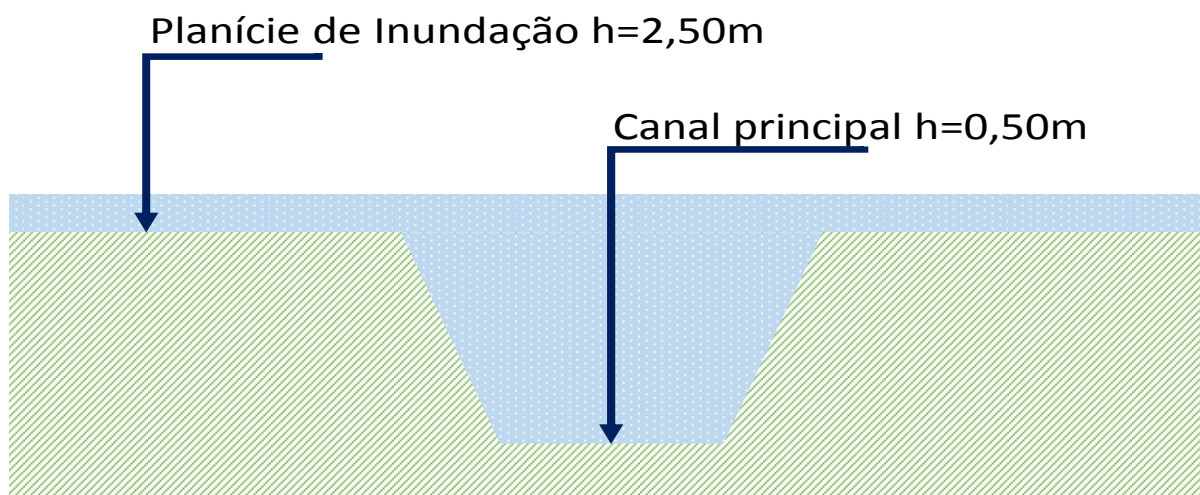


Figura 20 - Conceito do controle hidráulico do exutório do Banhado Grande
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.5.4 Estação Passo Grande

A estação fluviométrica Passo Grande se localiza no Alto Gravataí, na porção norte. Sua área de contribuição é de 97,3 km² correspondendo a 4,7% da área total da bacia do Rio Gravataí.

A Figura 21, a Figura 22 e a Figura 23 e a Figura 24, a seguir apresentam as cotas médias anuais, vazões médias anuais, vazões máximas anuais e variação intranual dentro do período com dados disponíveis e a Figura 25 na sequência, apresenta a curva de descarga da estação Passo Grande.

Cotas Médias Anuais - Passo Grande

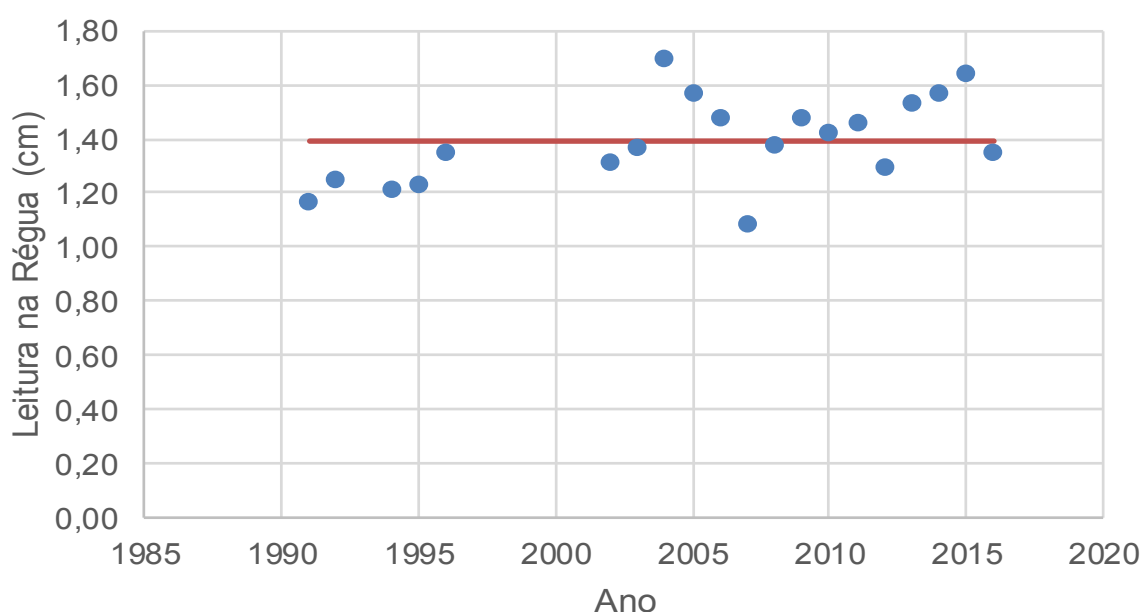


Figura 21 - Passo Grande – Cotas médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

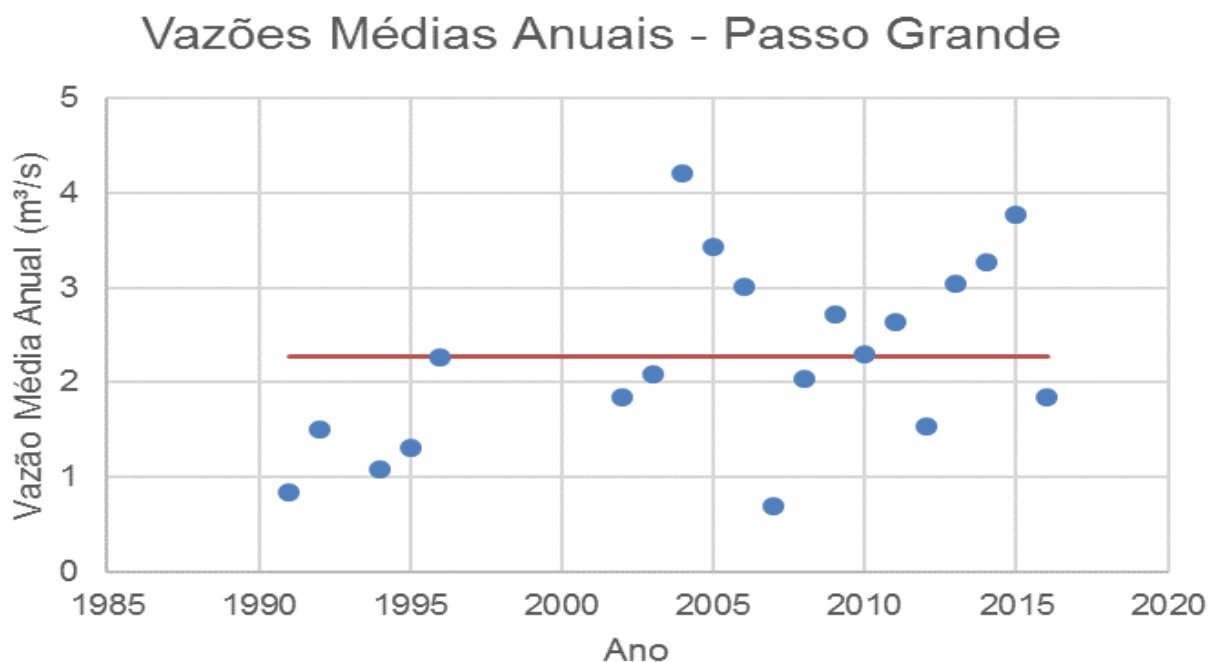


Figura 22 - Passo Grande – Vazões médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

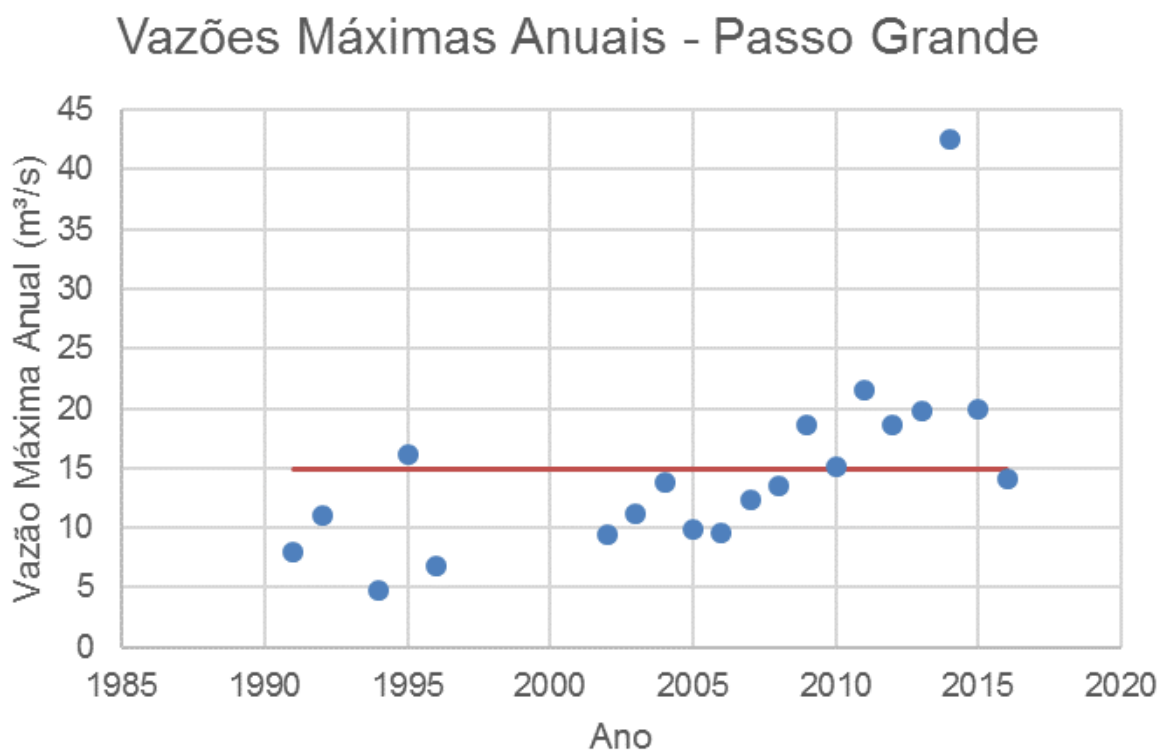


Figura 23 - Passo Grande – Vazões médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Variação Intranual - Passo Grande

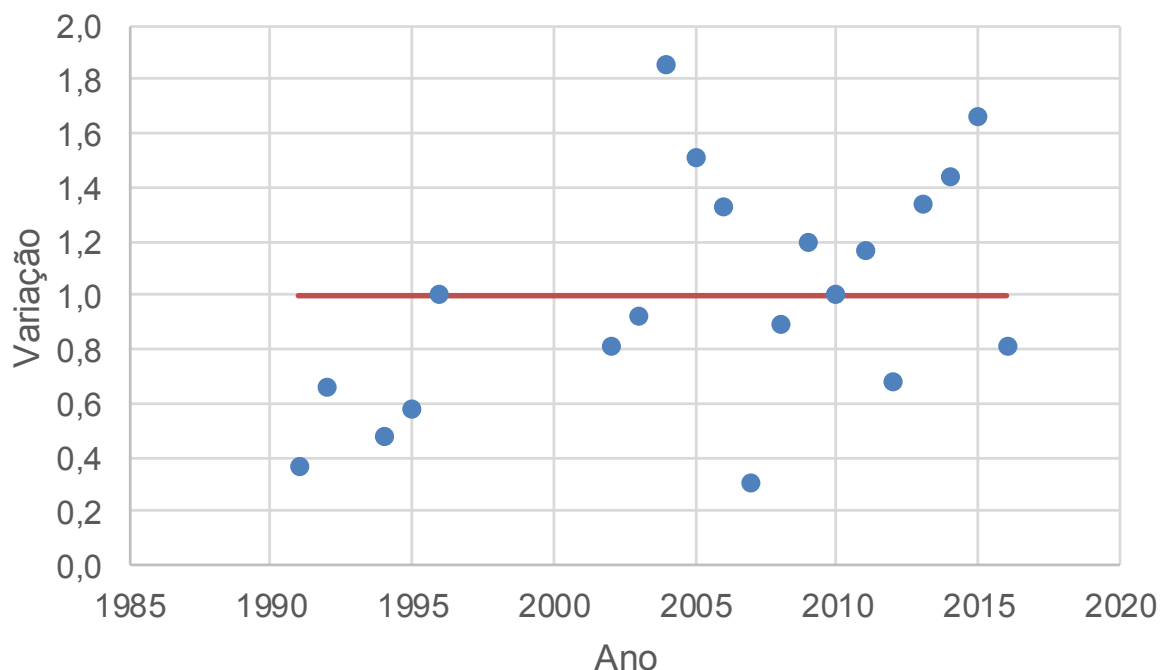


Figura 24 - Passo Grande – Variação intranual
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Passo Grande - Curva de Descarga

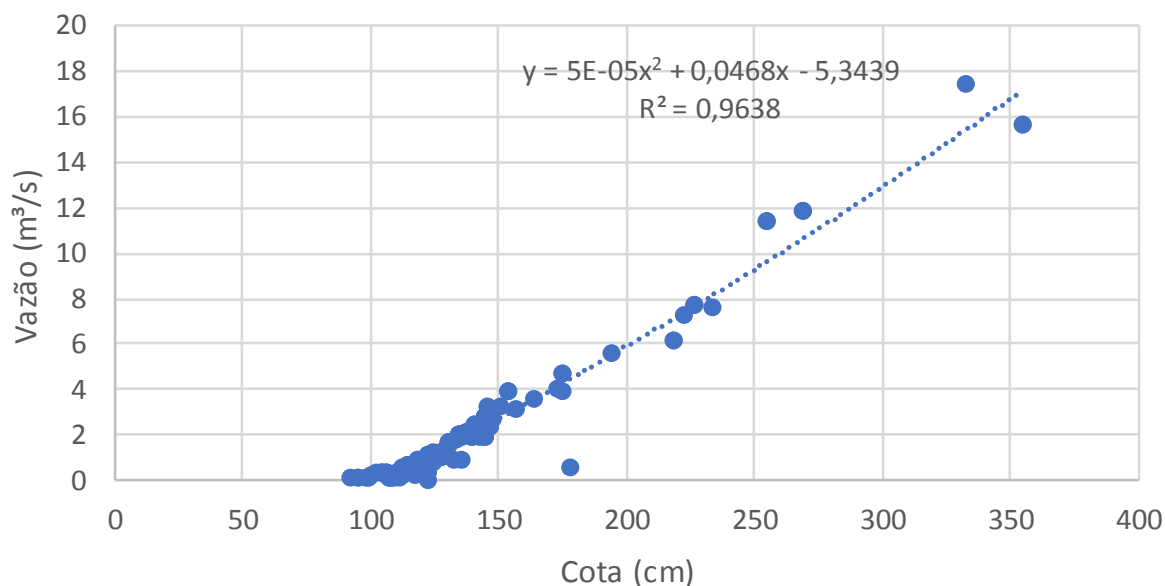


Figura 25 - Passo Grande – Curva de Descarga.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O Quadro 30 apresenta o resumo das características da Estação Passo Grande.

Quadro 30 - Resumo das características da estação Passo Grande

Característica	Valor
Vazão Média de Longo Período [m³/s]	2,27
Área [km²]	97,5 (4,7%)
Vazão Específica [l/s/km²]	23,2
Coeficiente de Deflúvio Médio [-]	0,45

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.5.5 Cerâmica Cherubini

A estação fluviométrica Cerâmica Cherubini se localiza no Médio Gravataí, na porção norte. Sua área de contribuição é de 128,5 km² correspondendo a 6,2% da área total da bacia do Rio Gravataí.

A Figura 26, a Figura 27, a Figura 28 e a Figura 29 a seguir, apresentam as cotas médias anuais, vazões médias anuais, vazões máximas anuais e variação intranual dentro do período com dados disponíveis e a Figura 30 na sequência, apresenta a curva de descarga da estação Cerâmica Cherubini.

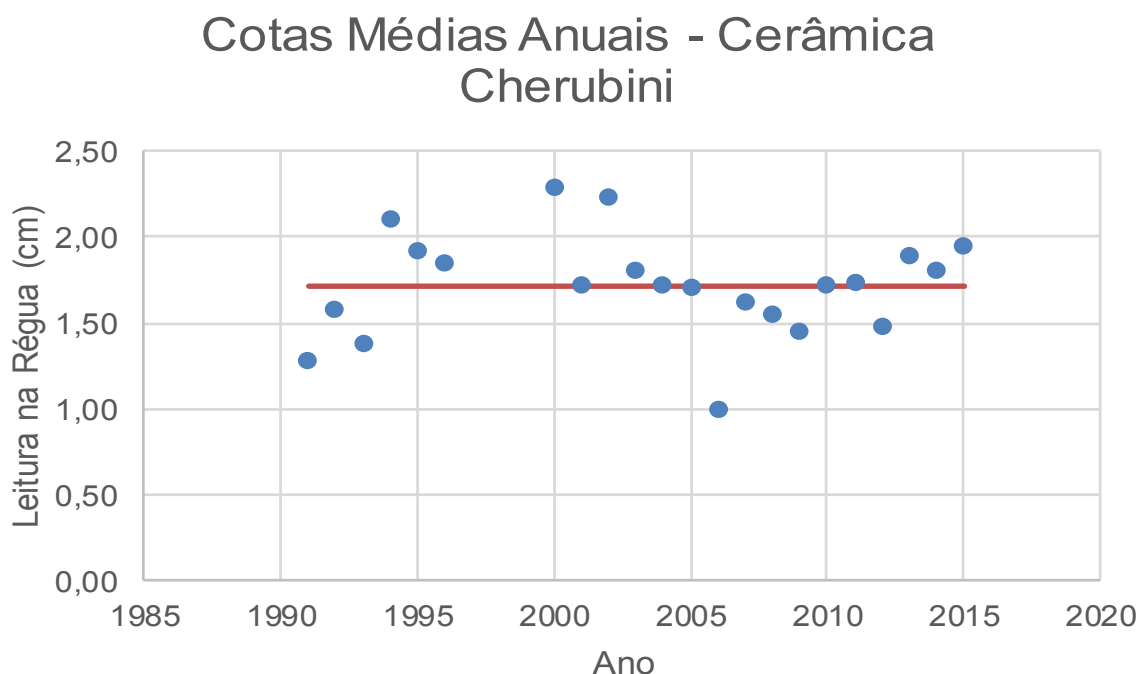


Figura 26 - Cerâmica Cherubini – Cotas médias anuais
 (Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Vazões Médias Anuais - Cerâmica Cherubini

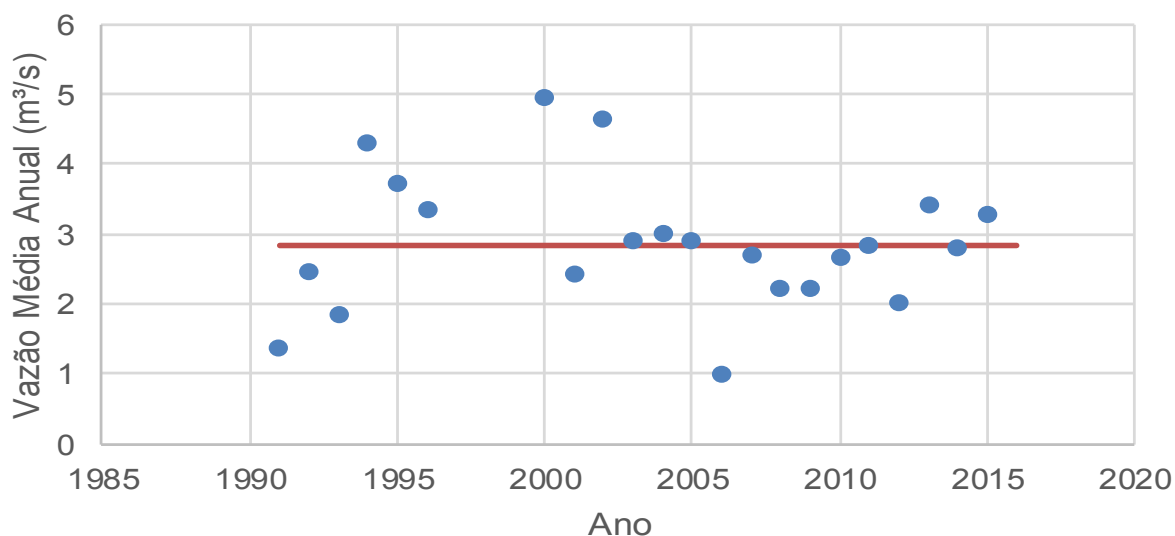


Figura 27 - Cerâmica Cherubini – Vazões médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Vazões Máximas Anuais - Cerâmica Cherubini

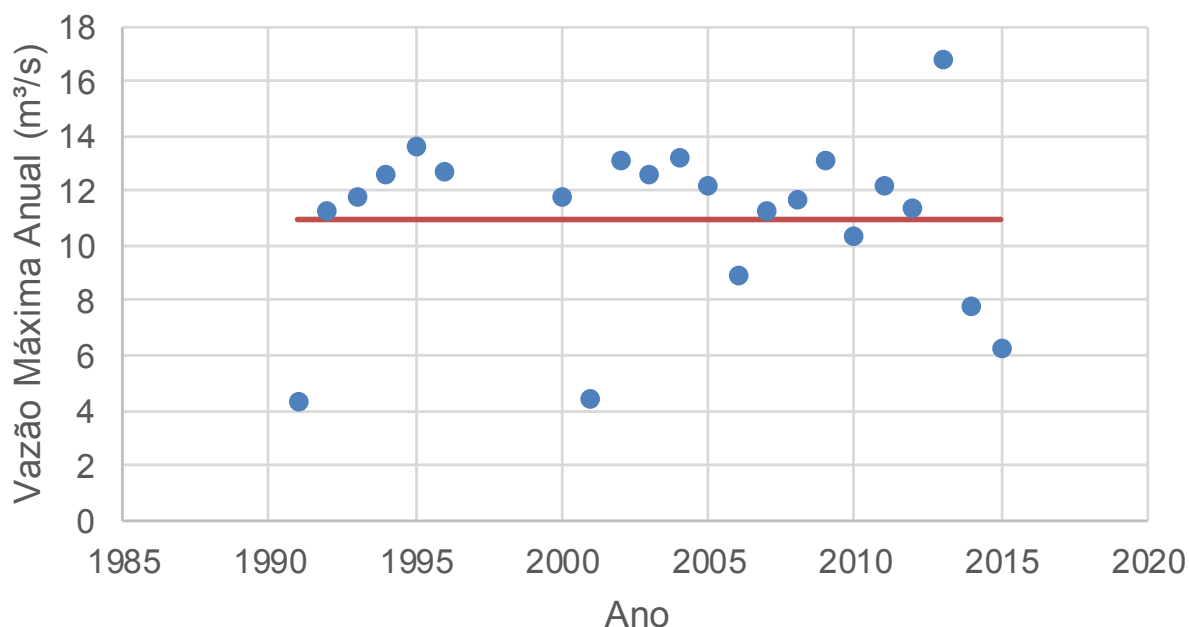


Figura 28 - Cerâmica Cherubini – Vazões médias anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Variação Intranual - Cerâmica Cherubini

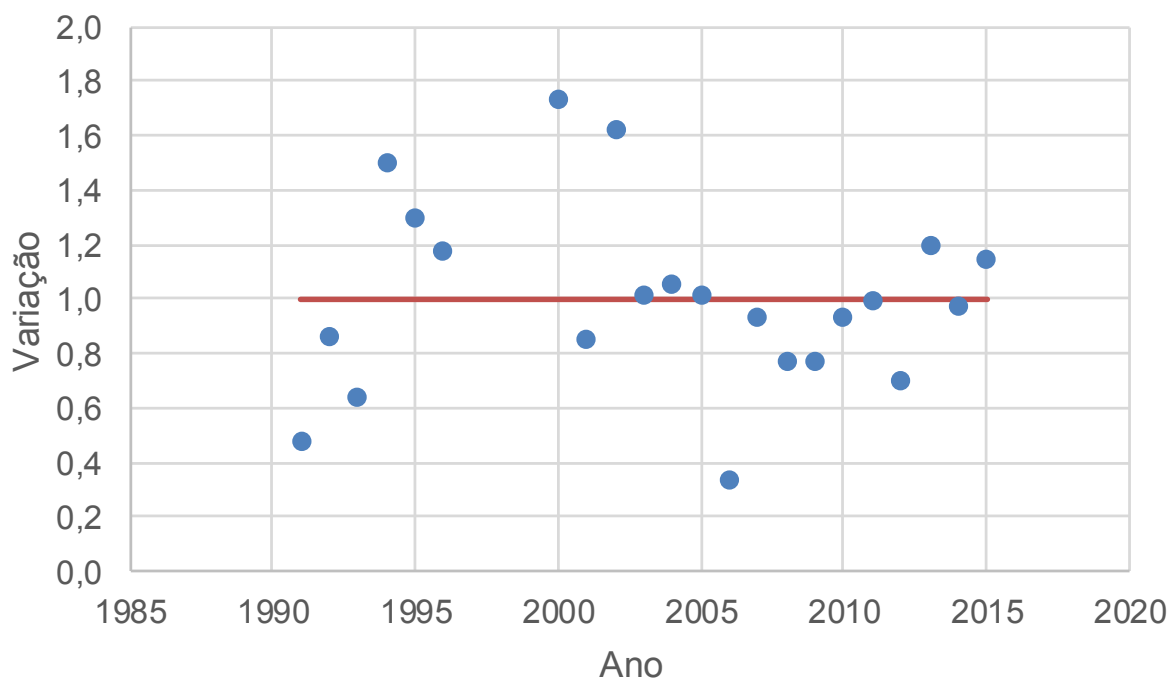


Figura 29 - Passo Grande – Variação intranual
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Cerâmica Cherubini - Curva de Descarga

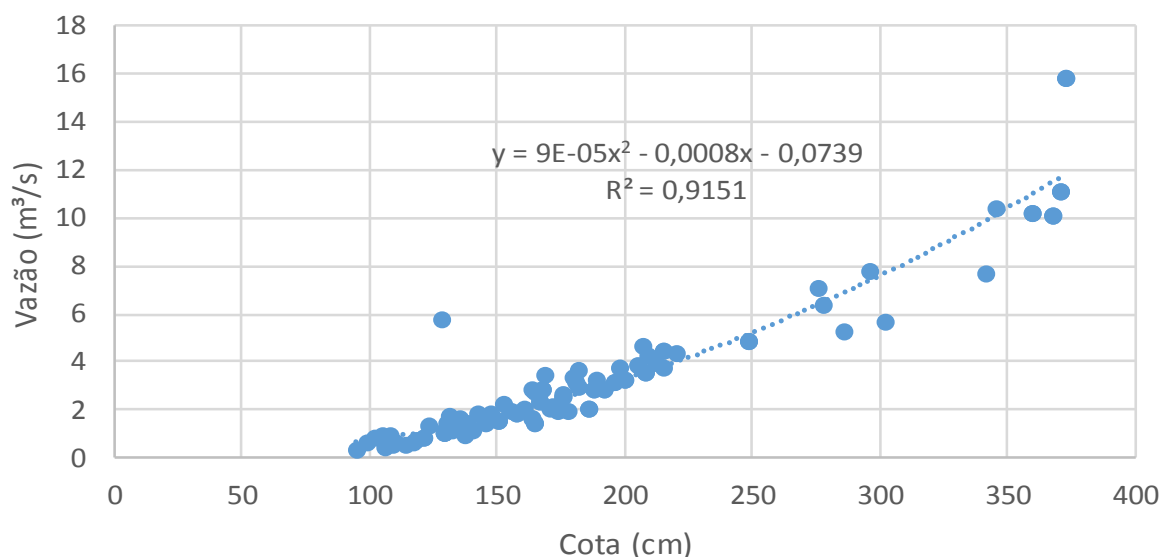


Figura 30 - Cerâmica Cherubini – Curva de Descarga
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O Quadro 31 apresenta o resumo das características da Estação Cerâmica Cherubini.

Quadro 31 - Resumo das características da Estação Cerâmica Cherubini.

Característica	Valor
Vazão Média de Longo Período [m³/s]	2,85
Área [km²]	128,5 (6,2%)
Vazão Específica [l/s/km²]	22,1
Coefficiente de Deflúvio Médio [-]	0,45

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.6 Caracterização Climatológica da Bacia

A caracterização climatológica da região estudada contemplou os elementos capazes de garantir uma avaliação adequada dos principais mecanismos ou processos que definem o comportamento do clima regional, sua dinâmica no espaço geográfico estudado e sua interação com as características físicas deste espaço.

5.6.1 Classificação Climatológica

Segundo o sistema de Köppen, o clima tem a classificação de Cfa, isto é, um clima subtropical, caracterizando-se por chuvas em todos os meses e por temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio entre 3° e 18°C.

Os fatores climáticos registrados por longos períodos em pontos extremos da bacia mostram somente pequenas diferenças entre si, permitindo considerar a bacia como unidade climática homogênea.

A topografia, relativamente suave, também não favorece a formação de anormalidades microclimáticas de magnitude considerável.

5.6.2 Precipitação Total Mensal

O comportamento da precipitação total mensal média, mínima e máxima foi avaliado para oito postos pluviométricos localizados na Bacia do Rio Gravataí e áreas adjacentes.

Para a caracterização somente foram utilizados dados de precipitação completos para todo o ano em análise, ou seja: anos com falhas foram descartados.

Dentro deste critério no Quadro 32 são apresentados os valores médios mensais e nas Figura 31 e Figura 32 estão apresentadas as informações de cada estação pluviométrica.

Quadro 32 - Precipitação Total Média Mensal

Estação	Precipitação Total	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2950031	Média mensal	110,5	125,1	104,1	93,1	96,2	129,0	135,8	133,4	127,1	114,1	104,2	118,1
	Mínima mensal	0,0	25,4	5,2	10,2	0,0	35,8	4,1	20,0	17,6	29,5	0,0	16,6
	Máxima mensal	252,8	273,7	212,8	249,0	252,0	374,3	294,9	389,5	330,0	249,4	256,3	260,5
3051011	Média mensal	108,7	110,2	102,0	91,7	101,2	135,6	135,9	138,0	141,5	129,6	105,0	105,2
	Mínima mensal	10,0	21,3	3,8	3,6	2,5	29,7	0,0	11,7	15,2	19,9	8,2	29,5
	Máxima mensal	215,4	251,0	247,7	244,1	268,6	365,6	309,2	330,0	293,7	307,3	287,6	224,2
3050008	Média mensal	115,3	116,3	91,9	95,9	107,3	117,1	157,1	122,8	147,0	149,0	102,5	110,3
	Mínima mensal	28,2	49,7	0,0	19,0	16,5	6,5	29,9	27,5	30,6	31,3	8,5	46,2
	Máxima mensal	209,7	382,2	171,0	174,3	247,4	208,4	393,1	317,3	326,6	339,2	208,1	250,7
2951028	Média mensal	124,6	125,5	98,4	109,3	102,7	136,5	161,5	138,2	145,3	152,6	112,6	115,6
	Mínima mensal	9,0	9,5	13,0	5,0	0,0	37,0	29,0	18,5	15,5	16,0	5,5	28,1
	Máxima mensal	271,4	323,5	259,0	241,6	234,9	391,5	382,6	359,2	318,5	416,5	279,0	236,1
2950062	Média mensal	116,9	128,0	95,2	99,5	111,4	116,4	151,8	103,4	151,3	150,9	109,1	113,1
	Mínima mensal	32,8	55,6	44,0	34,1	33,2	34,2	25,8	27,3	40,6	39,4	30,0	30,8
	Máxima mensal	292,4	268,8	167,5	176,3	223,7	198,1	283,5	168,9	293,3	278,5	208,9	184,8
2950060	Média mensal	121,3	129,7	113,9	111,0	131,7	118,7	173,0	128,8	137,8	149,4	102,9	117,7
	Mínima mensal	43,8	61,7	27,4	43,9	51,3	58,2	70,7	30,2	51,4	22,6	8,8	14,8
	Máxima mensal	227,9	244,2	170,9	273,0	287,0	185,2	323,9	299,8	252,9	255,4	178,2	244,8
2950059	Média mensal	125,5	131,9	113,6	110,4	91,2	109,0	151,7	145,0	130,2	153,8	103,1	120,0
	Mínima mensal	31,4	60,5	37,7	41,9	31,6	42,4	27,9	23,3	57,9	32,5	3,9	29,9
	Máxima mensal	228,6	365,3	179,7	228,5	244,4	171,6	296,4	462,7	243,1	237,0	182,1	230,1
2950016	Média mensal	113,7	112,2	82,8	96,1	89,7	129,7	150,5	125,5	134,3	139,3	115,9	110,0
	Mínima mensal	6,2	0,0	12,5	0,0	20,3	27,1	29,7	21,5	32,5	26,5	5,9	23,3
	Máxima mensal	241,0	340,2	166,3	193,8	195,8	362,4	310,3	332,7	307,6	285,9	290,8	248,2

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

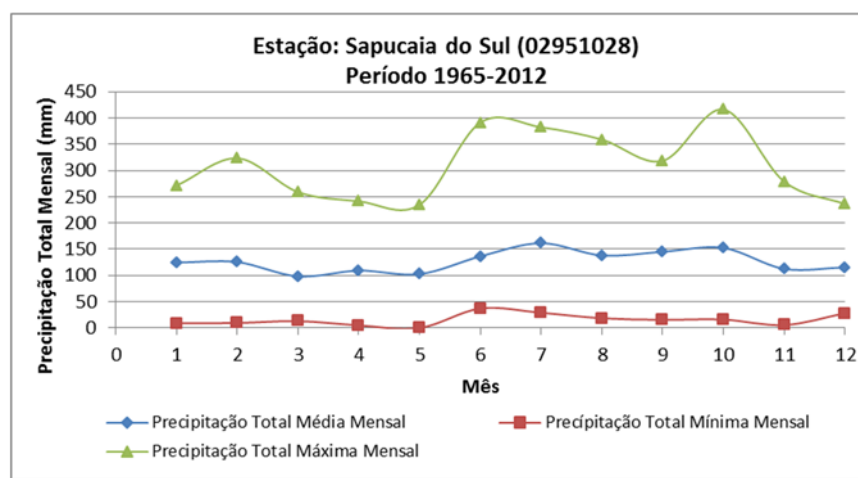
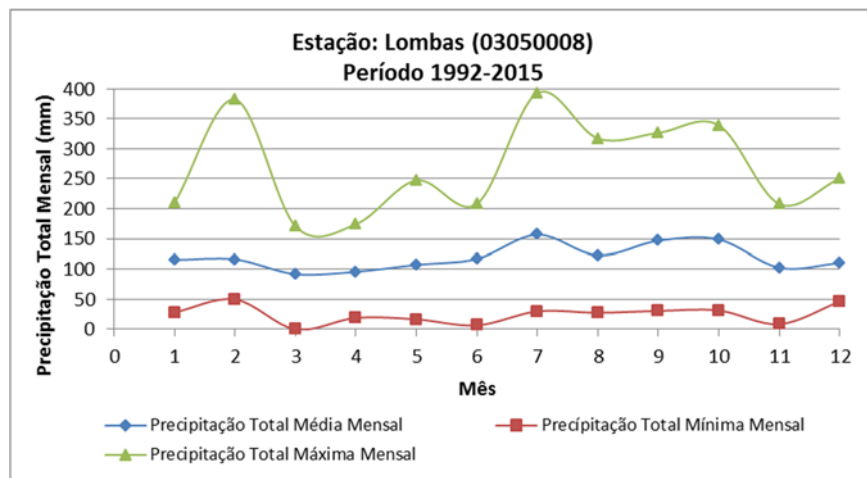
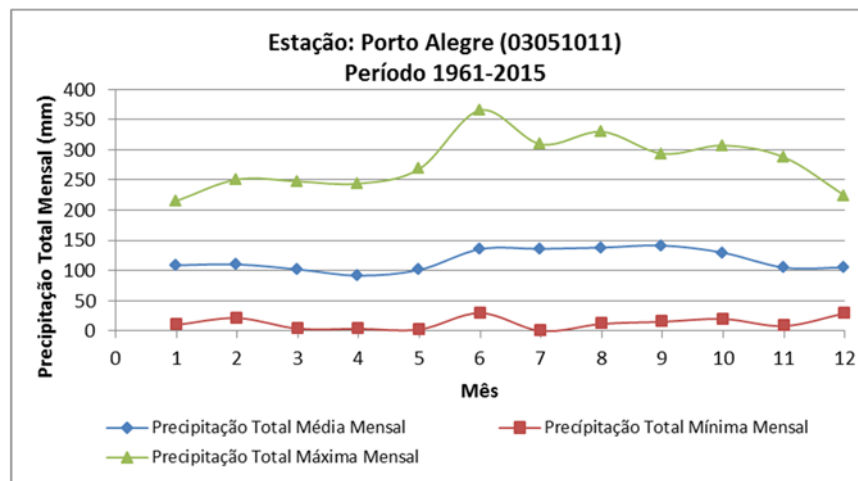
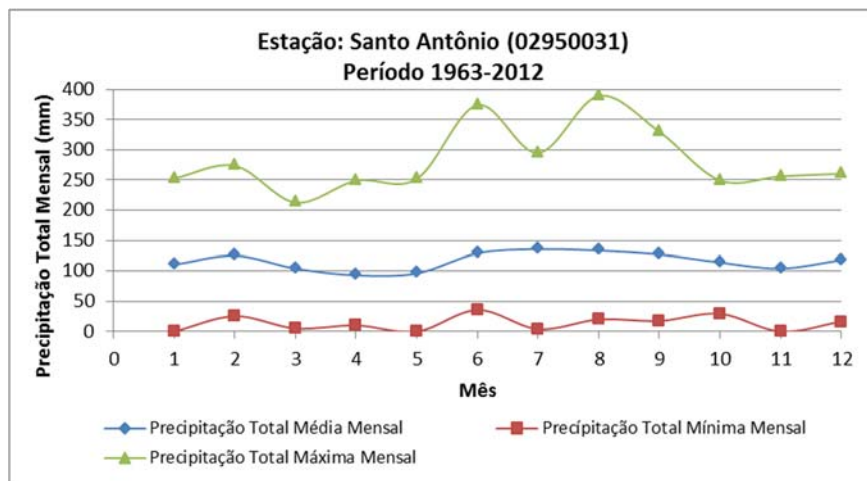


Figura 31 - Precipitação Total Mensal (I)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

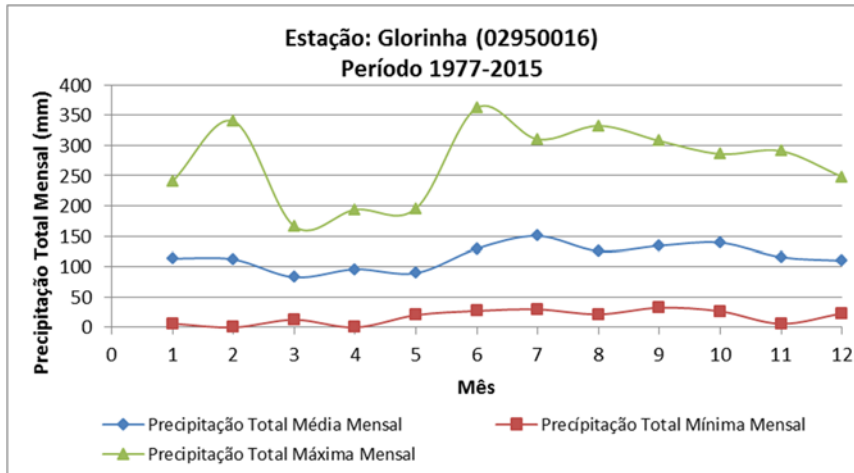
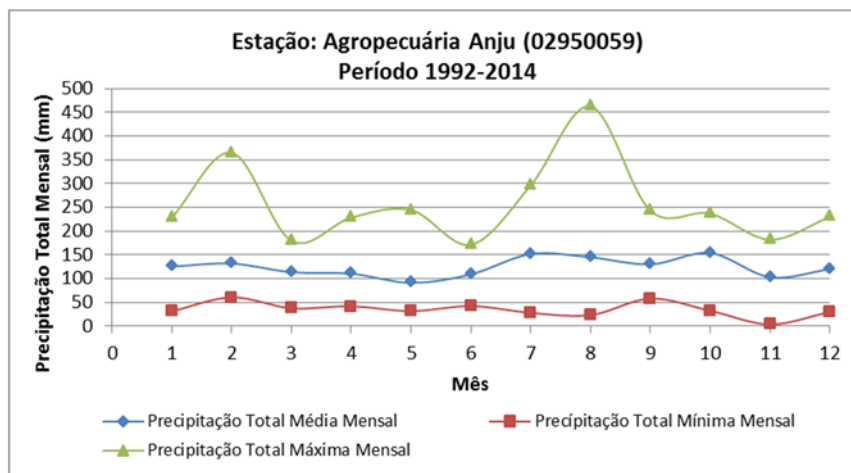
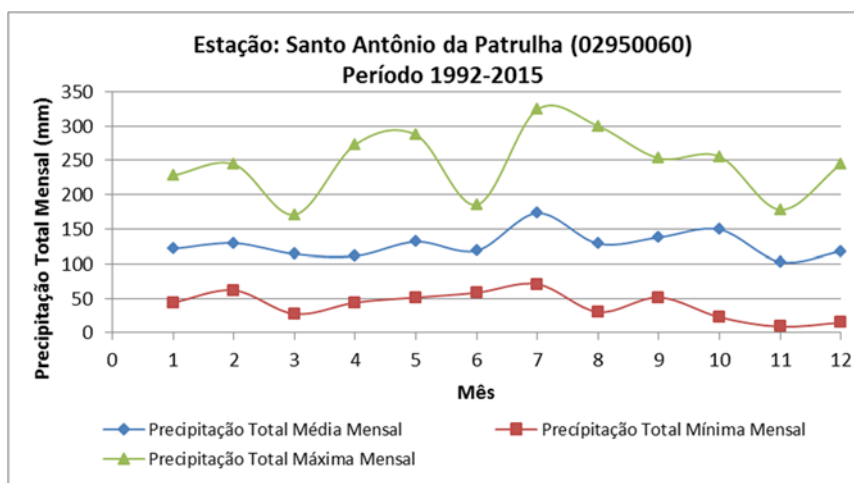
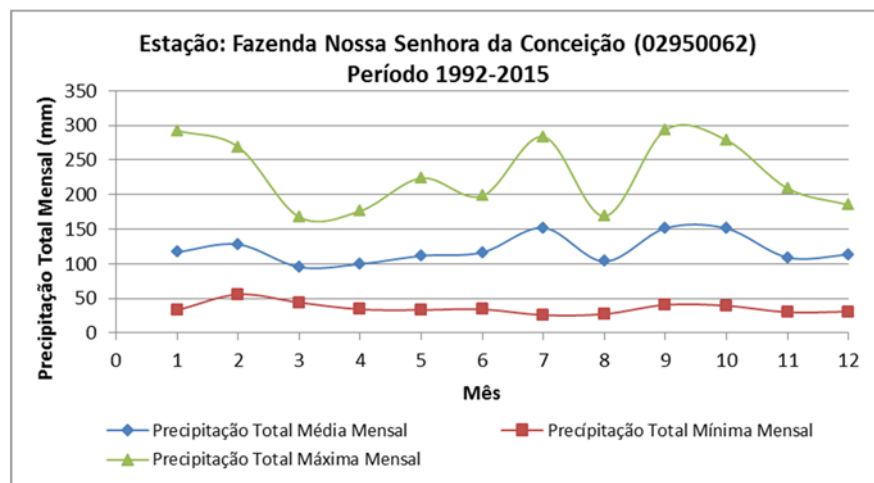


Figura 32 - Precipitação Total Mensal (II)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

As precipitações também foram avaliadas de forma trimestral e anual, conforme apresentado no Quadro 33 a seguir:

Quadro 33 - Precipitação Total Trimestral e Anual

CÓDIGO	NOME	Anual	1° Trimestre	2° Trimestre	3° Trimestre	4° Trimestre
2950059	AGROPECUÁRIA ANJÚ	1485,4	123,7	103,5	142,3	125,6
2950062	FAZ. N. S. DA CONCEIÇÃO	1446,9	113,3	109,1	135,5	124,3
2950016	GLORINHA	1399,7	102,9	105,2	136,8	121,7
3050008	LOMBAS	1432,4	107,8	106,8	142,3	120,6
3051011	PORTO ALEGRE	1404,5	107,0	109,5	138,5	113,3
2951028	SAPUCAIA DO SUL	1522,9	116,2	116,2	148,4	126,9
2950031	STO ANTÔNIO	1390,7	113	106	132	112,1
2950060	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	1536,0	121,6	120,5	146,5	123,4

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

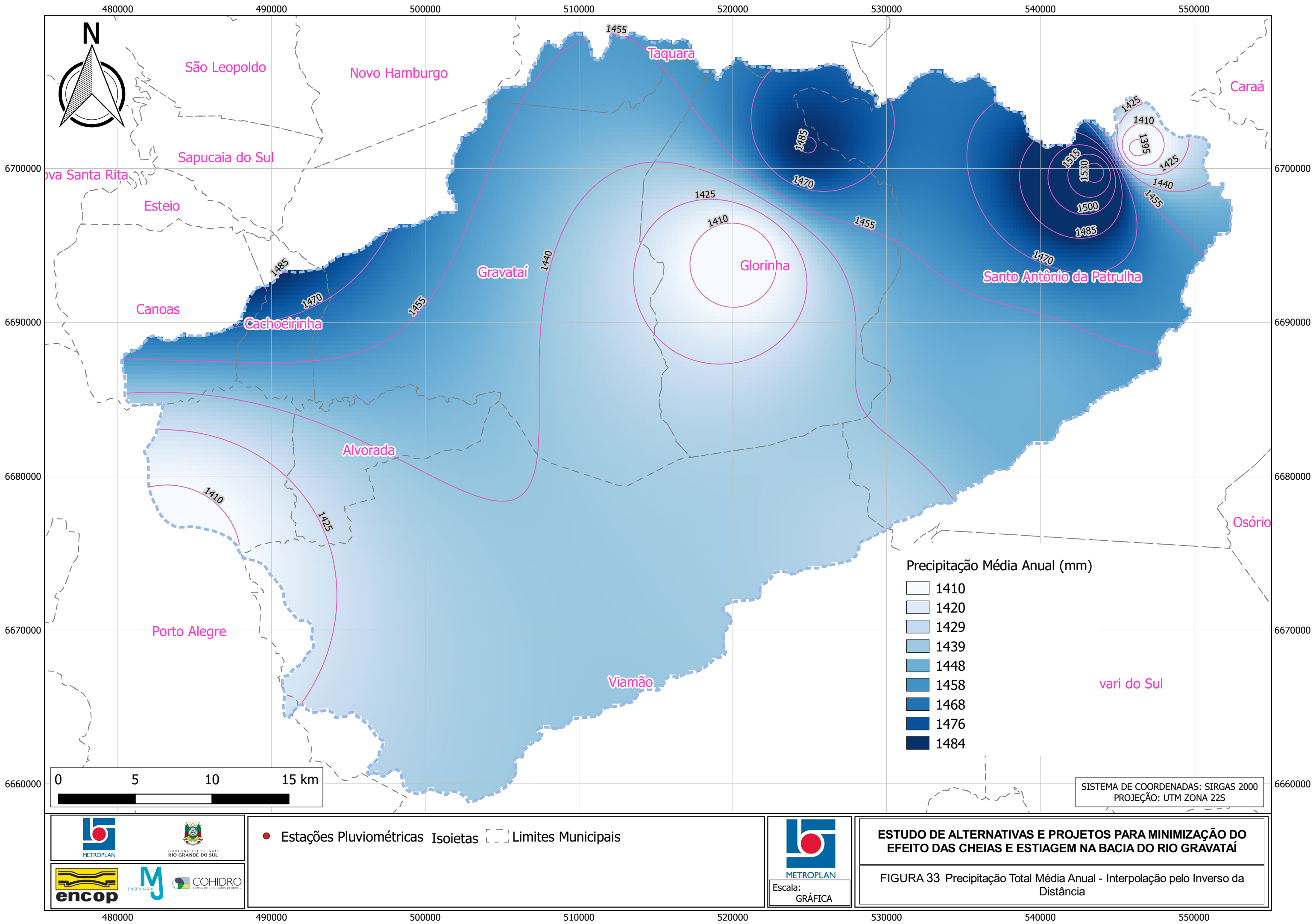
Em relação às precipitações anuais, percebe-se que a estação 2951028, localizada no município de Sapucaia do Sul, e a estação 2950060, localizada no município de Santo Antônio da Patrulha, apresentaram os maiores valores anuais, com 1522,9 mm e 1536,0 mm, respectivamente.

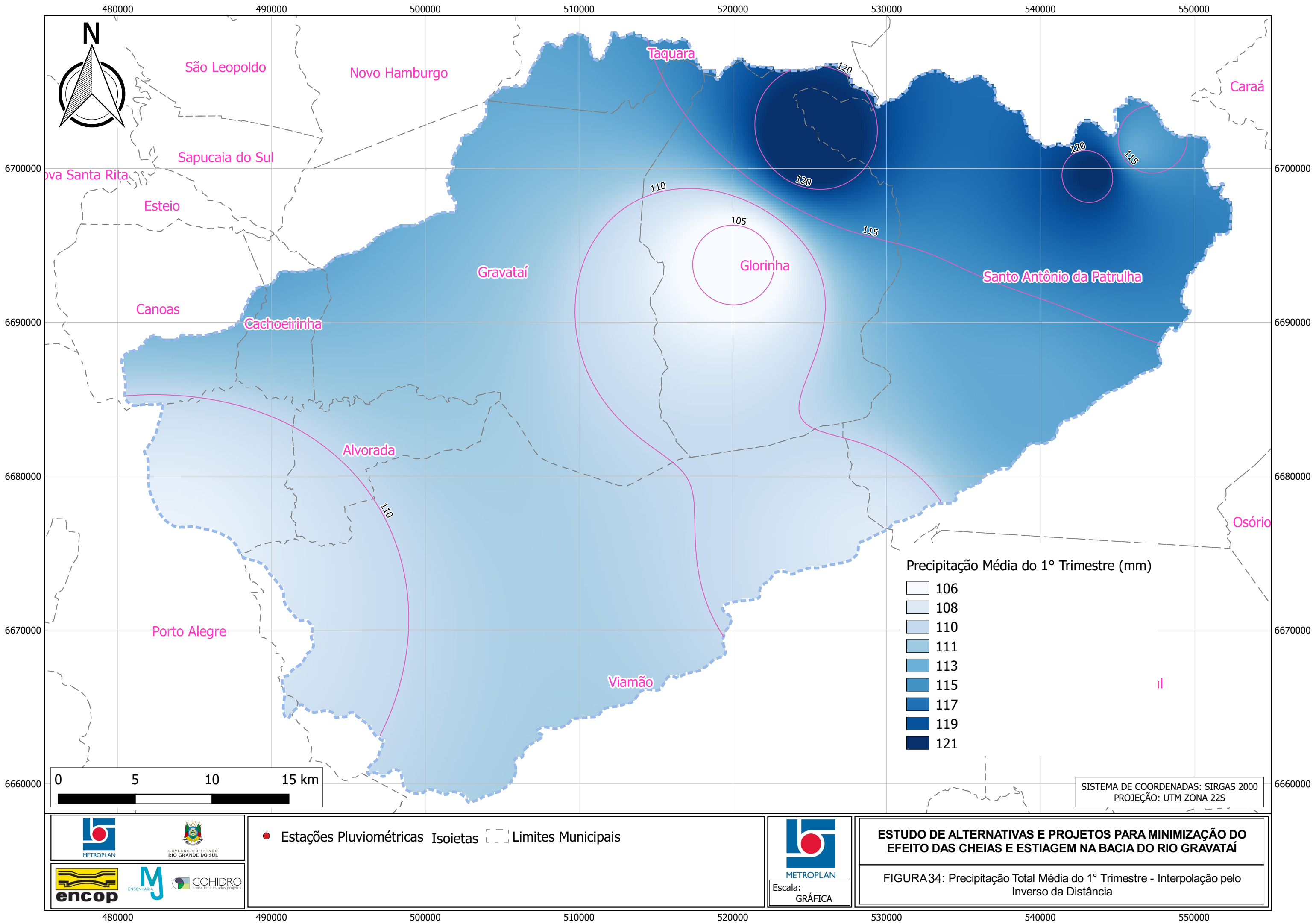
Enquanto que os menores valores são verificados na estação 2950016, localizada no município de Glorinha, e na estação 2950031, localizada no município de Santo Antônio da Patrulha, com 1399,7 mm e 1390,7 mm, respectivamente.

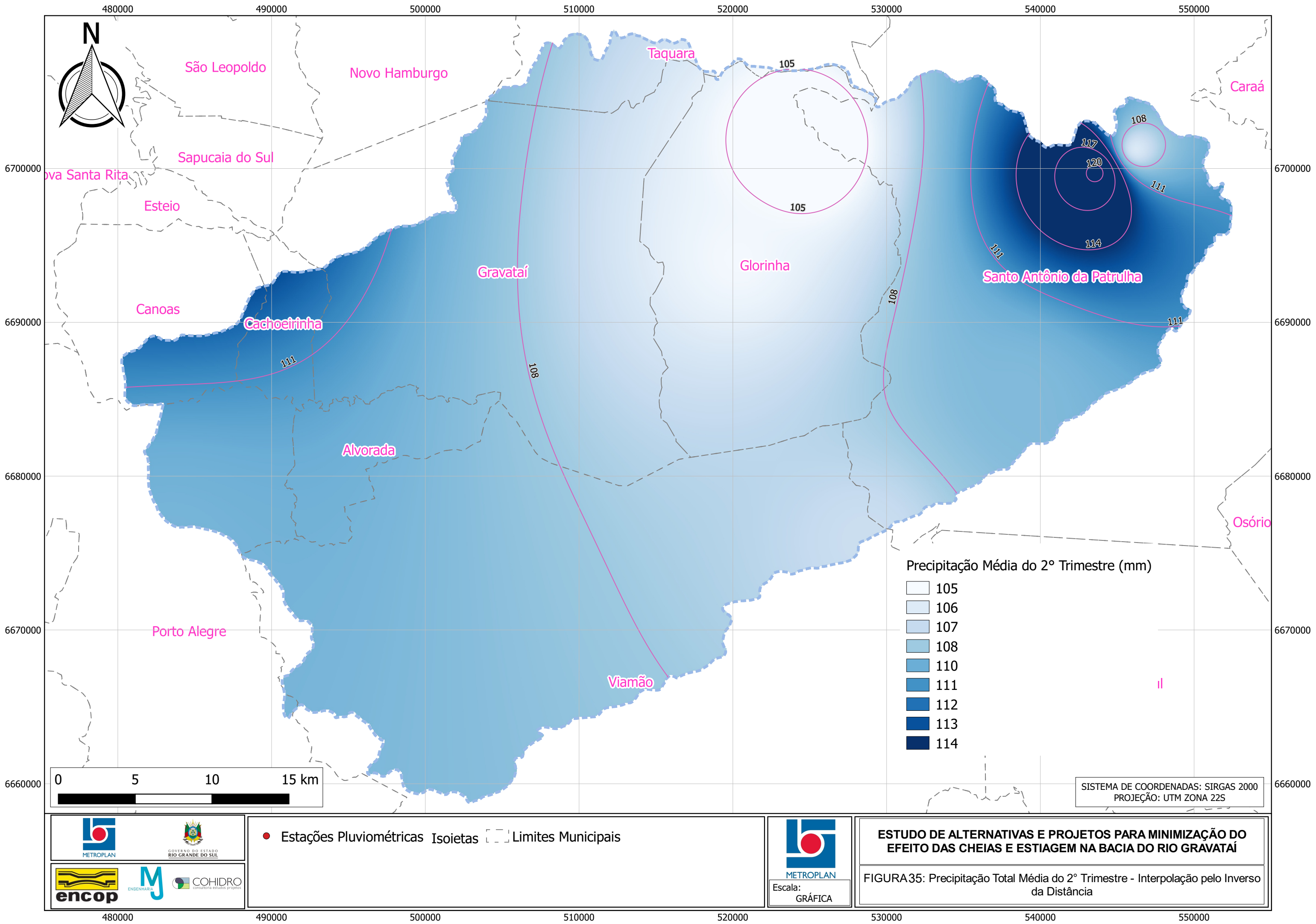
Avaliando-se as precipitações trimestrais, percebe-se o terceiro trimestre apresenta os maiores resultados, sendo que as estações 2951029 e 2950060 tiveram os maiores valores, com 148,4mm e 146,5mm, respectivamente.

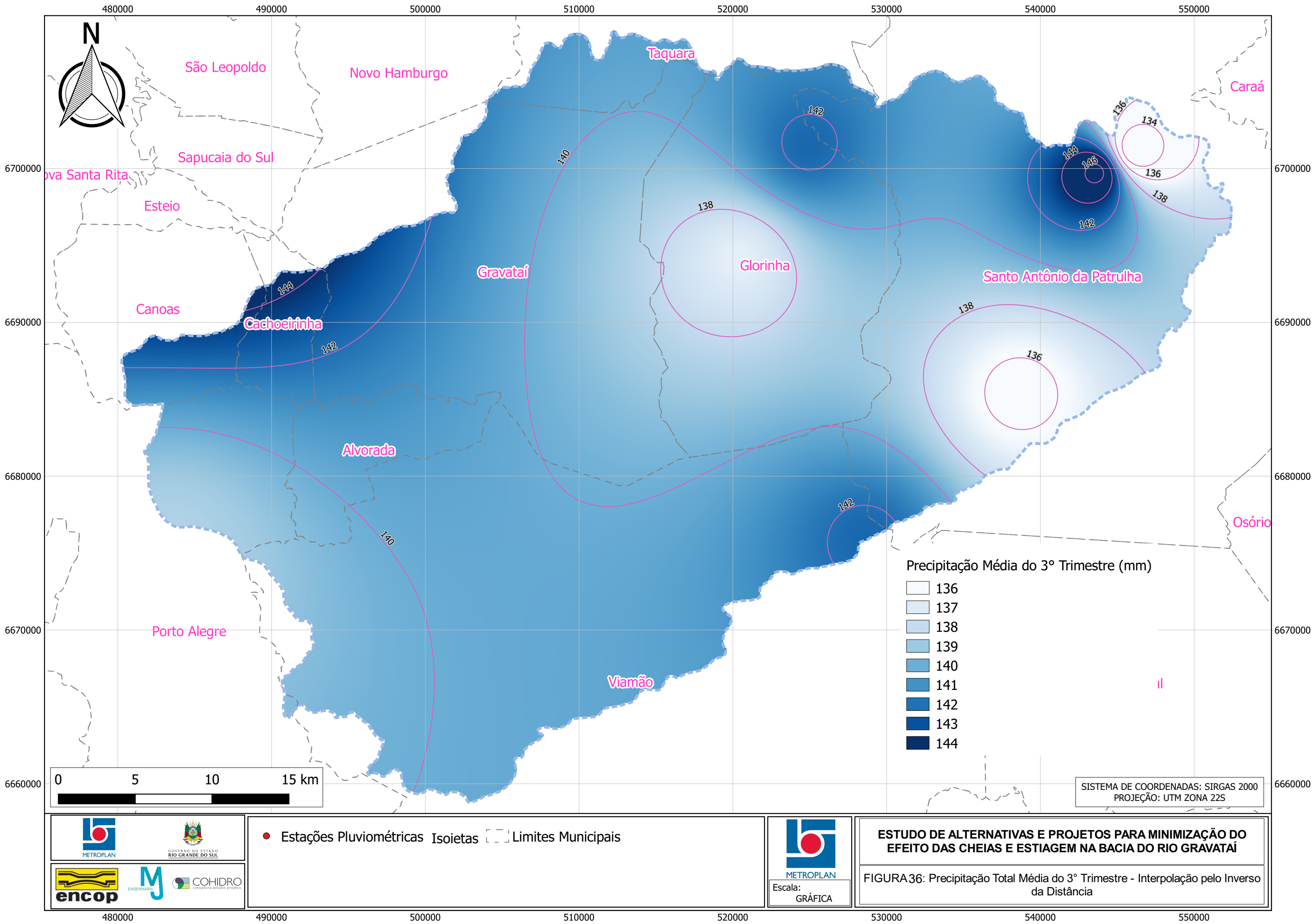
As menores precipitações trimestrais foram verificadas no primeiro e segundo semestres.

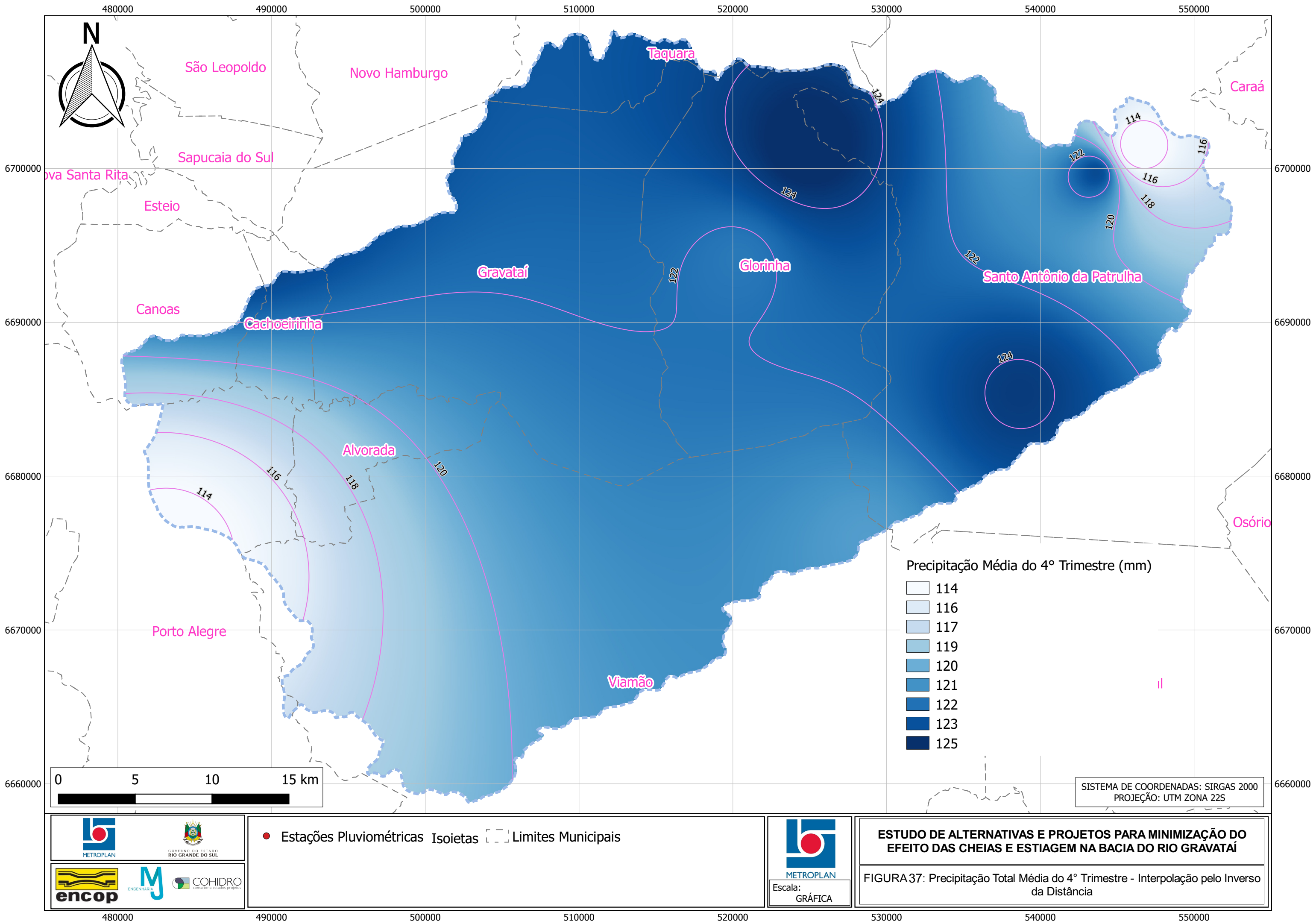
As Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36 e Figura 37 a seguir apresentam a distribuição espacial das precipitações totais médias anuais e trimestrais na Bacia do Rio Gravataí











5.6.3 Umidade Relativa do Ar - Média Mensal

A maior umidade relativa média registrada foi 82,5% no mês de junho e a mínima foi 70,7% no mês de dezembro. A umidade relativa do ar média anual é de 76,5%. A Figura 38 apresenta a evolução da umidade relativa média mensal ao longo do ano.

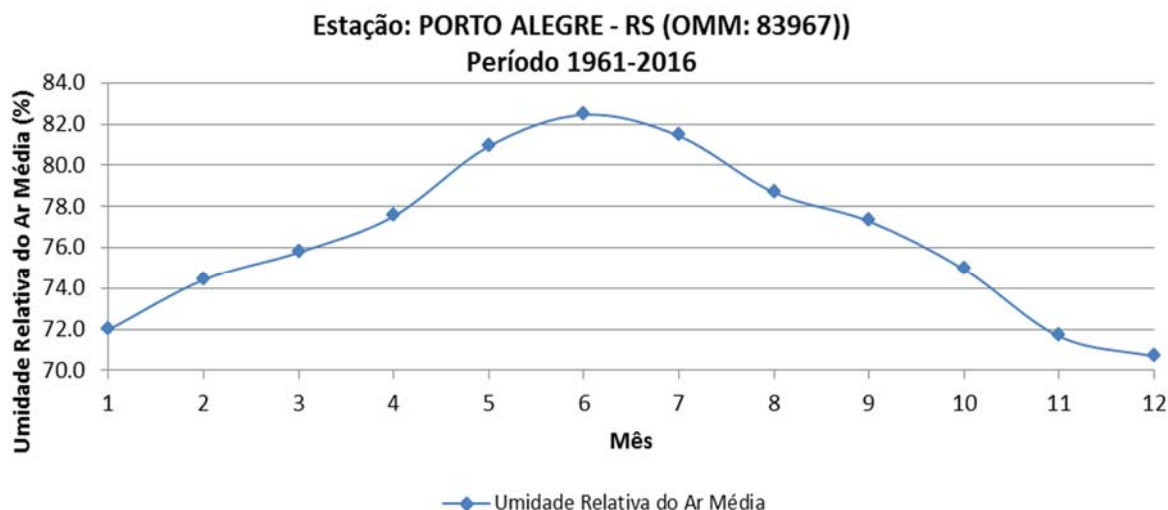


Figura 38 - Umidade Relativa Média do Ar.
(Fonte: INMET)

5.6.4 Insolação

A insolação média da estação foi de 2198,1 horas/ano. O menor valor de insolação média mensal foi de 126,0 horas (junho) e o maior valor foi de 242 horas (dezembro). A Figura 39 a seguir ilustra a insolação média mensal no decorrer do ano.

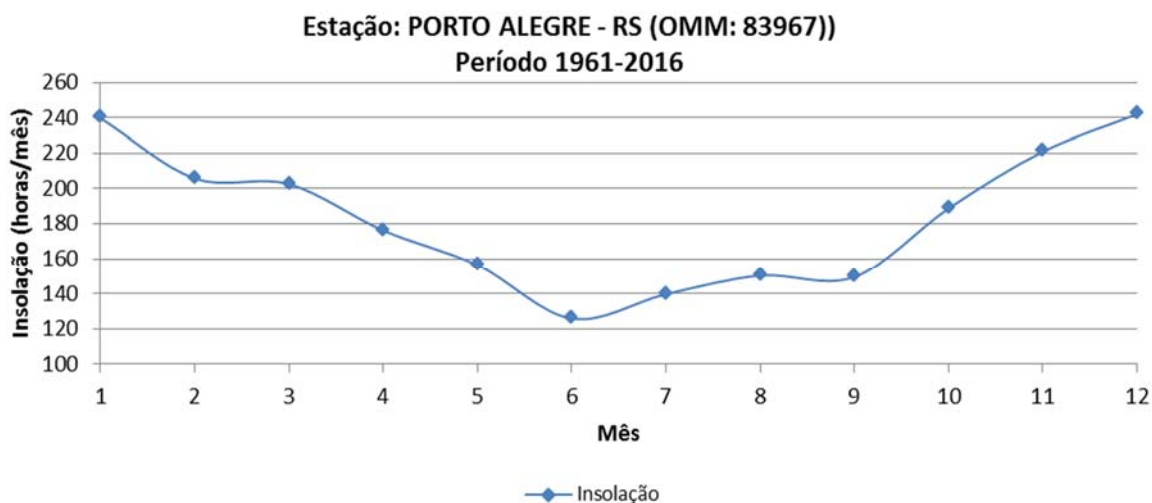


Figura 39 - Insolação Total.
(Fonte: INMET)

5.6.5 Nebulosidade - Média Mensal

A nebulosidade média mensal apresenta pequena variação ao longo do ano. A nebulosidade máxima ocorre no mês de setembro (5,2 décimas partes) e a mínima em abril (4,3 décimas partes).

A média anual da nebulosidade fica em torno de 4,8 décimas partes, como pode ser observado na Figura 40.

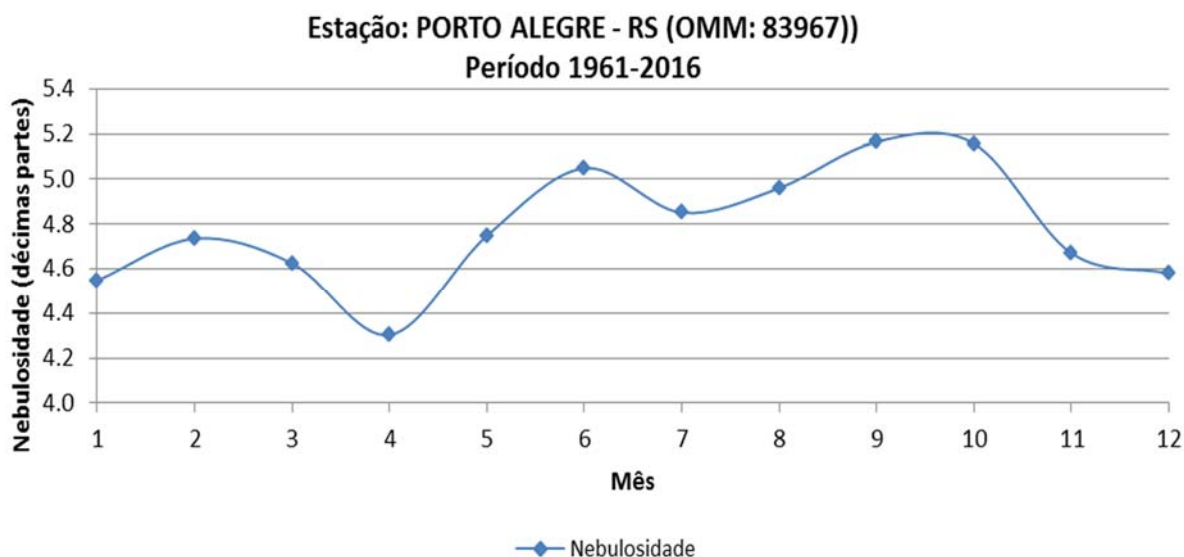


Figura 40 - Nebulosidade Total.
(Fonte: INMET)

5.6.6 Temperatura - Média Mensal

A temperatura média anual na região em estudo é de 19,6°C. As temperaturas médias mensais na região variam entre 15,6°C e 25,1°C, sendo os meses mais frios, junho e julho, e os mais quentes, janeiro e fevereiro.

Observa-se nitidamente a sazonalidade bem marcada da temperatura ao longo do ano, com períodos de inverno e verão bem definidos, o que é característica intrínseca da região sul do Brasil.

O período de inverno (meses mais frios) ocorre de maio a setembro, enquanto que o período de verão (meses mais quentes), de dezembro a março.

Este comportamento temporal está apresentado na Figura 41.

As temperaturas médias máximas mensais giram em torno de 25,1 °C e as médias mínimas mensais em torno de 15,6°C.

As maiores temperaturas médias máximas observadas foram de 29,5°C, 30,5°C e 30,3°C e ocorreram nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente.

A temperatura mínima média mensal atingiu seu menor valor nos meses de junho e julho, chegando a 10,5°C.

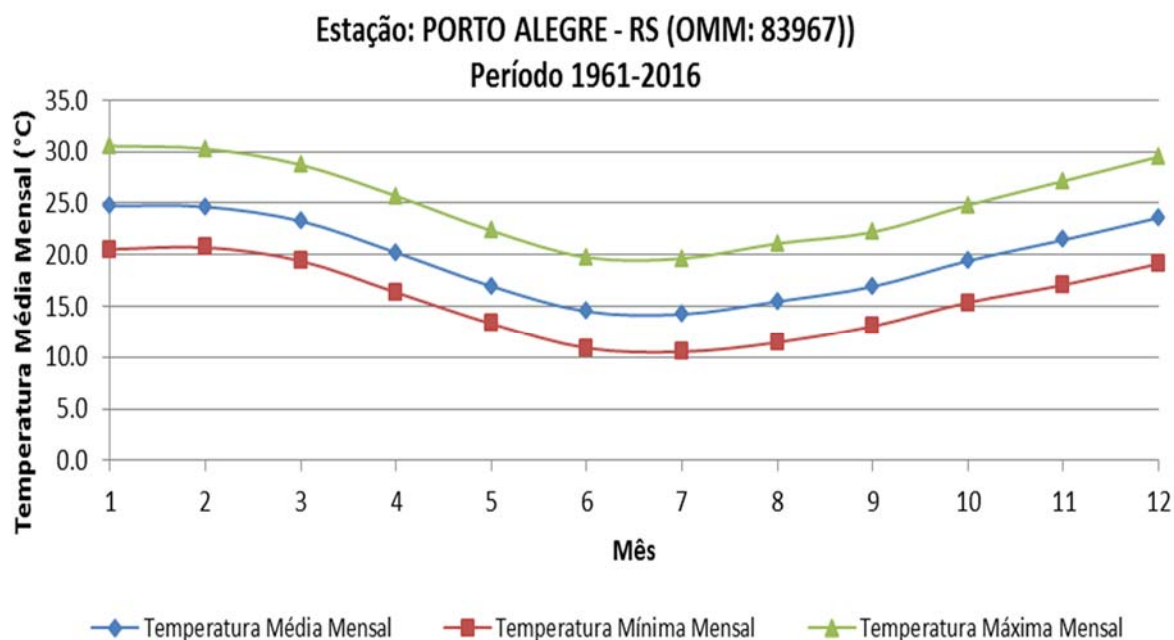


Figura 41 - Temperatura Média Mínima e Máxima Mensal
(Fonte: INMET)

5.6.7 Pressão Atmosférica - Média Mensal

A pressão atmosférica média mensal alcança seu máximo valor no mês de agosto (1015hPa) e valor mínimo no mês de março (1001hPa) perfazendo uma amplitude de apenas 14hPa (Figura 42).

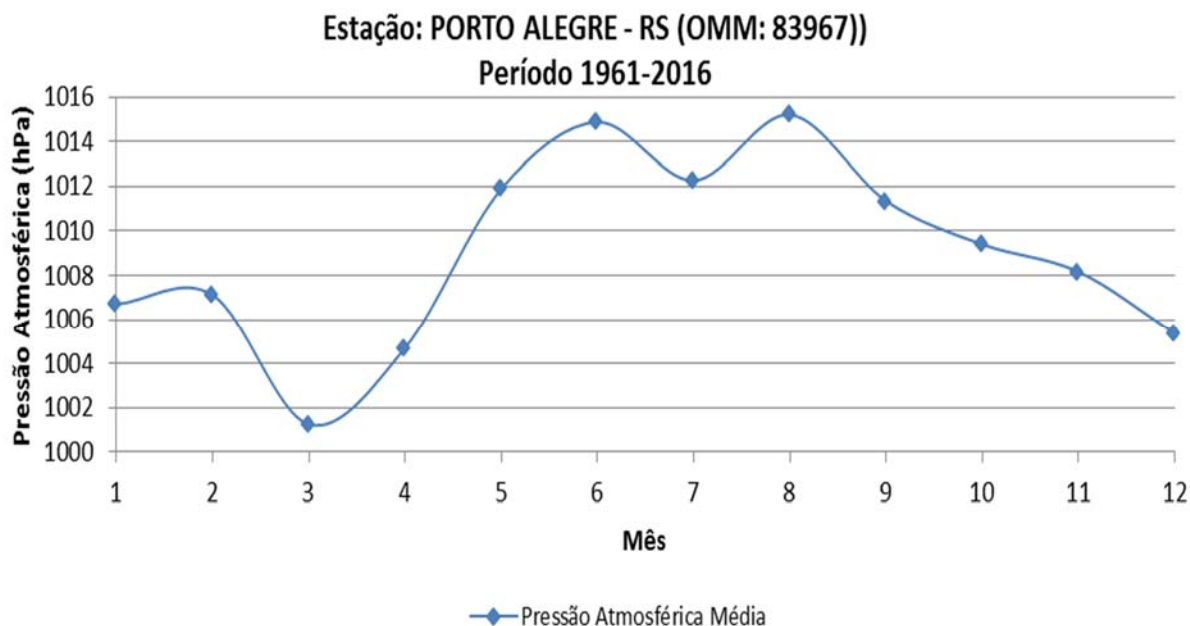


Figura 42 - Pressão Atmosférica Média Mensal.
(Fonte: INMET)

5.6.8 Evaporação - Média Mensal

A evaporação média anual na região do estudo é de 867,2 mm/ano. No mês de dezembro é registrada a maior evaporação, onde ocorrem déficits da ordem de 109,6 mm, enquanto que no mês de junho se registra a evaporação mínima que é de apenas 39,9.

A Figura 43 mostra o desenvolvimento da evaporação média mensal no decorrer do ano.

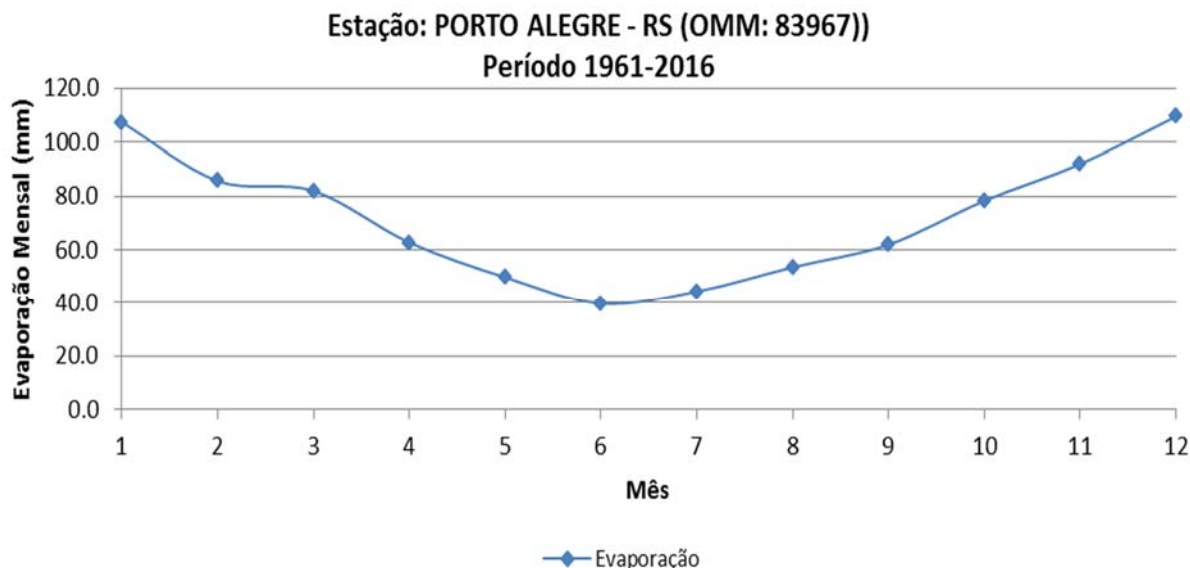


Figura 43 - Evaporação Mensal.
(Fonte: INMET)

5.6.9 Evapotranspiração Potencial e Real (MOD16)

A seguir estão apresentados os dados de evapotranspiração potencial e real médios obtidos por meio do MOD16 para a Bacia, no período compreendido entre 2000 e 2014.

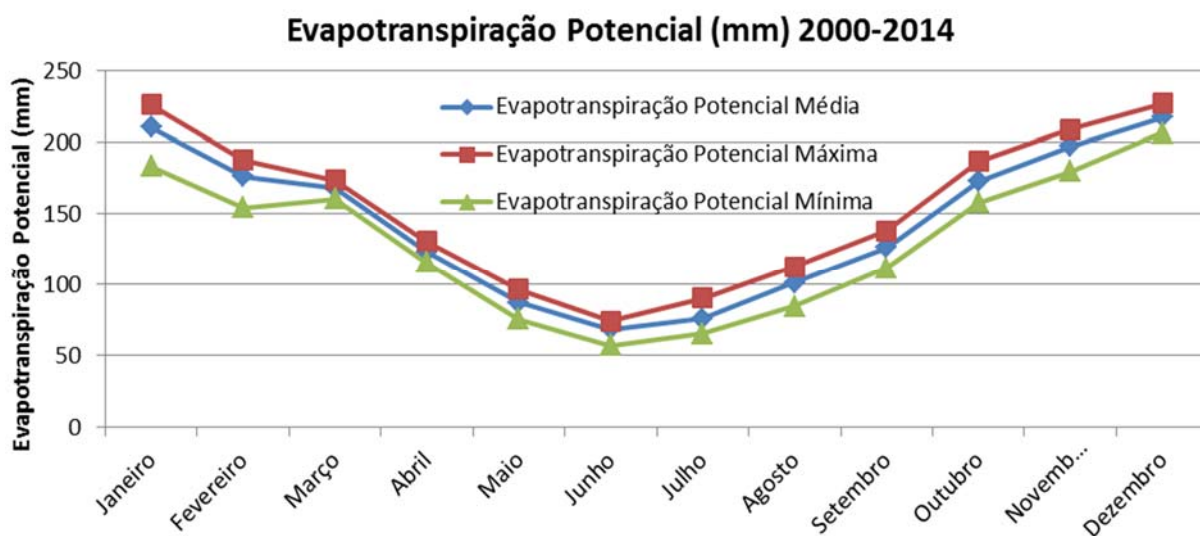


Figura 44 - Evapotranspiração Potencial Média Mensal - MOD 16
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Em relação à evapotranspiração potencial média, conforme observado na Figura 44, verifica-se que os meses de verão apresentam os maiores valores, enquanto que os meses mais frios mostraram uma grande redução na evapotranspiração.

No Quadro 34, estão apresentados os dados obtidos.

Quadro 34 - Evapotranspiração Potencial Mensal (2000 a 2014).

Mês	Evapotranspiração Potencial Média	Evapotranspiração Potencial Máxima	Evapotranspiração Potencial Mínima
Janeiro	210,6	226,5	183,3
Fevereiro	176,3	187,7	154,5
Março	168,3	173,7	160,7
Abril	123,4	131	115,9
Mai	87,6	96,7	75,7
Junho	68,6	74,1	57,1
Julho	76,2	90,7	65,4
Agosto	101,4	113	85
Setembro	126,4	138,4	112,2
Outubro	172,8	187,1	157,9
Novembro	197,4	209,5	179,8
Dezembro	217,7	227,4	206,7

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Observando-se os dados mensalmente, tem-se no mês de dezembro a maior média histórica, com 217,7mm, na qual o maior valor anual registrado na série nesse mês foi de 227,4mm. Enquanto que o mês de junho apresentou a menor média histórica, com 68,6mm, o menor valor anual registrado para a série no mês foi de 57,1mm.

Evapotranspiração Real (mm) 2000-2014

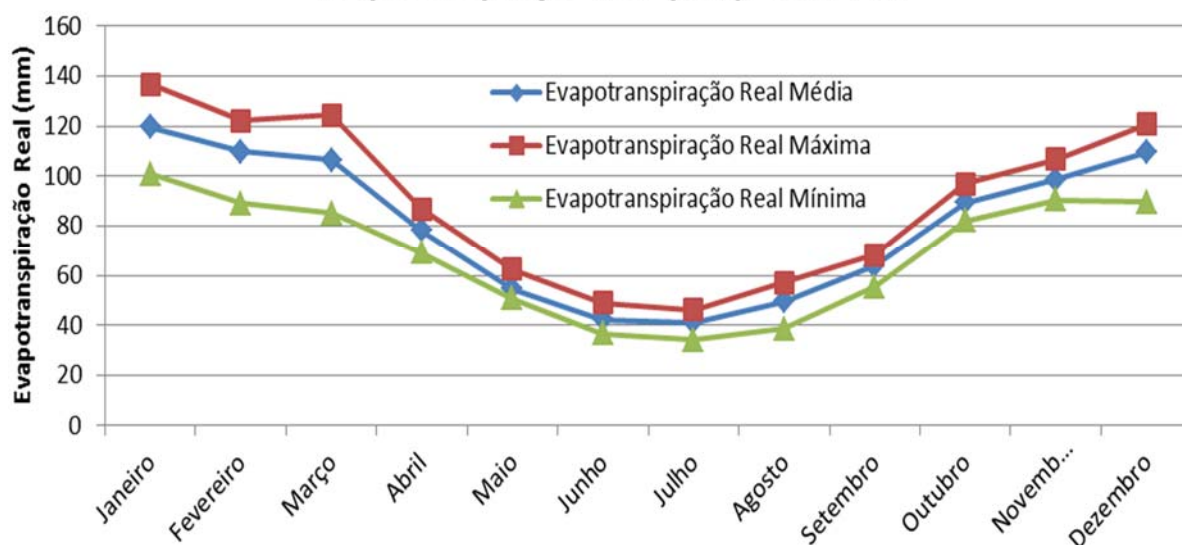


Figura 45 - Evapotranspiração Real Média Mensal - MOD 16
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Em relação à evapotranspiração real média, conforme observado na Figura 45, verifica-se que os meses de verão apresentam os maiores valores, enquanto que os meses mais frios mostraram uma grande redução na evapotranspiração, assim como observado na evapotranspiração potencial.

No Quadro 35, estão apresentados os dados obtidos.

Quadro 35 - Evapotranspiração Real Mensal (Média, Mínima e Máxima) (2000 a 2014).

Mês	Evapotranspiração Real Média	Evapotranspiração Real Máxima	Evapotranspiração Real Mínima
Janeiro	119,6	136,8	100,8
Fevereiro	109,8	122,3	89
Março	106,6	124,5	85,2
Abril	78,2	86,8	69
Mai	54,6	62,5	50,7
Junho	42,3	48,9	36,6
Julho	41	46	34
Agosto	49,4	57,1	38,6
Setembro	63,8	68,4	55,4
Outubro	89,3	97,1	82
Novembro	98,7	106,8	90,4
Dezembro	109,5	120,8	89,7

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Avaliando-se a mensalmente, tem-se no mês de janeiro a maior média histórica, com 119,6mm, na qual o maior valor anual registrado na série para esse mês foi de 136,8mm. Enquanto que o mês de julho apresentou a menor média histórica, com 41,0mm, o menor valor anual registrado para a série no mês foi de 34,0mm.

Os valores obtidos para a Evapotranspiração Real anual (962 mm) são bastante próximos da média anual obtida através da estação climatológica Porto Alegre (INMET 83967) de 932 mm.

Os valores levantados pela EMBRAPA no Banco de Dados Climáticos foram de 911 mm de evapotranspiração real anual. Ver “link” abaixo.

(<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/balanco/resultados/rs/225/balanco.html>).

5.6.10 Balanço Hídrico das Estações Pluviométricas

A Figura 46 mostra o balanço hídrico para as diversas estações pluviométricas utilizadas na bacia. O comportamento é bastante semelhante para todas as regiões com os déficits mais significativos ocorrendo entre dezembro e abril.

O balanço hídrico da forma apresentada é uma caracterização geral da bacia hidrográfica, o estudo detalhado da disponibilidade será apresentado ao longo deste trabalho.

Bacia do Gravataí - Balanço Hídrico

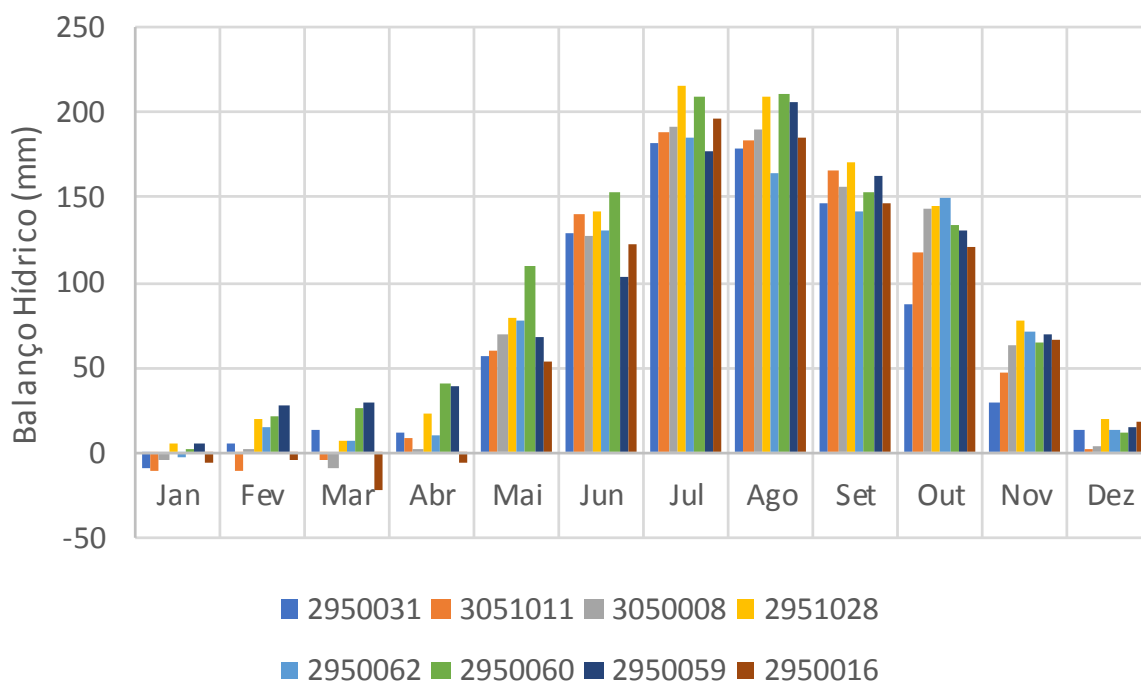


Figura 46 - Balanço Hídrico Mensal (por Estação)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

5.6.11 Balanço Hídrico das Estações Fluviométricas

Ver Quadro 36 a seguir apresentando o balanço hídrico das estações:

Quadro 36 - Balanço Hídrico das Estações Fluviométricas

Ano	Passo Grande				Cerâmica Cherubini				Passo das Canoas Auxiliar			
	Precipitação (mm)	Vazão (m³/s)	ETR (mm)	ETR MOD16 (mm)	Precipitação (mm)	Vazão (m³/s)	ETR (mm)	ETR MOD16 (mm)	Precipitação (mm)	Vazão (m³/s)	ETR (mm)	ETR MOD16 (mm)
2000	-	-	-	-	1535,4	4,9	751,7	-	1494,1	23,7	964,9	-
2001	-	-	-	-	1491,6	2,4	1108,6	-	1477,4	25,9	899,5	-
2002	-	-	-	-	1701,6	4,6	970,3	-	1685,0	33,2	945,0	-
2003	-	-	-	-	1363,1	2,9	906,2	-	1405,0	20,5	947,1	-
2004	-	-	-	-	1146,4	3,0	671,6	-	1185,2	17,6	793,5	-
2005	-	-	-	-	1243,8	2,9	787,6	-	1320,7	18,0	919,5	-
2006	-	-	-	-	1096,5	1,0	942,6	-	1199,4	7,0	1044,1	-
2007	-	-	-	-	1392,6	2,7	970,1	-	1536,6	29,0	889,2	-
2008	-	-	-	-	1352,8	2,2	1003,5	-	1434,4	27,2	828,6	-
2009	-	-	-	-	1338,8	2,2	988,6	-	1469,2	31,7	761,6	-
2010	1232,0	2,3	629,8	-	969,3	2,6	550,0	-	1279,4	26,9	679,8	-
2011	1496,9	2,6	803,9	-	1395,6	2,8	947,2	-	1491,3	26,5	899,6	-
2012	1358,5	1,5	954,8	-	1267,7	2,0	953,3	-	1340,1	17,8	942,5	-
2013	1689,3	3,0	891,5	-	1568,3	3,4	1028,3	-	1482,8	31,6	778,4	-
2014	1866,1	3,3	1005,5	-	1733,7	2,8	1293,2	-	1699,8	31,1	1005,9	-
Média			857,1	962,8 (+12%)			954,4	962,8 (0,8%)			861,2	962,8 (+11%)

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

6 USOS DA ÁGUA

A presente seção visa caracterizar os usos de água no Gravataí, sua variação sazonal e distribuição espacial.

A partir destas informações e, na sequência, com a obtenção dos resultados do modelo hidrológico será avaliada a garantia de atendimento para a situação atual da bacia.

6.1 Usos e Conflitos

Segundo o PRH do Rio Gravataí, os principais usos da água são abastecimento público, indústria, pecuária, irrigação agrícola e diluição de esgotos domésticos e efluentes industriais.

O Rio Gravataí é a principal alavanca para o desenvolvimento de toda a região. Deste manancial hídrico é realizada a captação de água para o abastecimento público de quase um milhão de pessoas.

A água que abastece as indústrias dos mais diversos ramos é retirada do Rio Gravataí, assim como as lavouras de toda a região da bacia, a criação de gado, as atividades de lazer e recreação são abastecidas pelas águas deste manancial hídrico.

As seguintes normativas do Conselho Estadual de Recursos Hídricos dão previsão de limitação das captações para compatibilização dos usos e priorização do abastecimento humano. Tais normativas apontam níveis de alerta e críticos de acordo com o nível do Guaíba e da captação da CORSAN em Alvorada e respectivos procedimentos.

- Resolução CRH nº 92/2011 - Aprova o acordo para retirada de água na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 76 /2010 - Aprova o Acordo sobre as retiradas de água na Bacia do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 66/2009 - Aprova Acordo sobre as retiradas de água na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 58/2009 - Aprova o Enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Gravataí.
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 51/2008 - Altera o artigo 5º da Resolução nº 49/2008, que aprova acordo sobre as retiradas de água na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 49/2008 - Aprova Acordo sobre as retiradas de água na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 42/2007 - Aprova o acordo sobre as retiradas de água na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 29/2006 - Aprova acordo sobre as retiradas de água na bacia do Rio Gravataí.

- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 19/2006 - Aprova o acordo sobre as retiradas de água na bacia do Rio Gravataí
- Resolução do Conselho de Recursos Hídricos Nº 177/2015 - Aprova o acordo sobre as retiradas de água na bacia do Rio Gravataí

A normativa mais recente define um nível de alerta de 2,65 m na régua georreferenciada da captação da CORSAN em Alvorada, 4,10 m em relação ao nível do mar, 100 cm acima do crivo da bomba de captação deste local.

Abaixo deste nível a permissão de captação por bombeamento do Rio Gravataí ocorre de forma intermitente, com 2 dias sem bombeamento e 3 com bombeamento. Abaixo do nível 3,60 (em relação ao nível do mar) a captação será suspensa e só poderá retomada após decisão do Departamento de Recursos Hídricos (DRH).

Desta forma o controle da garantia de abastecimento é reativo a condições hidrológicas críticas apresentadas no Rio Gravataí. O controle em ponto único também não estimula a autorregulação individual dos grandes consumidores, tornado a responsabilidade difusa e não atribuível.

Além disto deve-se ponderar a influência dos níveis no Lago Guaíba na régua em questão e como tal pode mascarar às condições hidrológicas reais a montante do ponto.

Outro problema é o descarte irregular de sedimentos da produção rizícola. O incremento de partículas suspensas incrementa a turbidez e dificulta ou impossibilita a captação para o abastecimento público.

Segundo a CORSAN mesmo com a possibilidade de incremento de demanda de outros sistemas que não dependem do Rio Gravataí, a suspensão da captação no trecho impossibilita o abastecimento pleno das áreas dos municípios que dependem de tal (Diário de Cachoeirinha 14/10/2016 <http://bit.ly/2lyDHkN>).

A seguir são apresentadas as metodologias de estimativas de consumos dentro do contexto da bacia do Rio Gravataí.

6.1.1 Outorgas

A outorga de direito de uso da água representa um instrumento, através do qual o Poder Público autoriza, concede ou ainda permite ao usuário fazer o uso deste bem público. É através deste que o Estado exerce, efetivamente, o domínio das águas preconizado pela Constituição Federal, regulando o compartilhamento entre os diversos usuários.

A Lei Estadual 10.350, de 30 de dezembro de 1994, em seu artigo 29, explica que qualquer empreendimento ou atividade que alterar as condições quantitativas e/ou qualitativas das águas, superficiais ou subterrâneas, observando o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica, dependerá de outorga.

Caberá ao Departamento de Recursos Hídricos a emissão de outorga para os usos que alterem as condições quantitativas das águas

O Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT-RS) tem intuito de aperfeiçoar o gerenciamento das concessões e administração de atos inerentes às outorgas de uso de água, por meio de ferramentas que explorem as informações relativas aos recursos hídricos de forma eletrônica.

O cadastro dos usuários e respectivas outorgas podem ser obtidos em:

<http://www.siout.rs.gov.br>.

Através da coleta destes dados para a bacia do Gravataí foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 37 e Quadro 38.

Exceto pelo valor de outorga para abastecimento público, os valores constantes no sistema são relativamente baixos e podem não representar corretamente à realidade, especialmente o dado referente às demandas industriais.

Quadro 37 - Outorga Superficial para a bacia do Gravataí

Tipo	Vazão média [l/s]	Vazão máxima [l/s]
Abastecimento industrial	1,94	1,94
Abastecimento público	1.514,0	1.514,0
Consumo agroindustrial	0,23	0,27
Consumo humano	1,00	1,00
Irrigação	5.665,00	5.824,45
Turismo/lazer/balneário/recreação	83,33	83,33
TOTAL [l/s]	7.266,0	7.425,0

(Fonte: SIOUT-RS / junho 2017)

Quadro 38 - Outorga Subterrânea para a bacia do Gravataí

Tipo	Vazão média [m³/dia]	Vazão máxima [m³/dia]
Abastecimento público	13	40
Atividades comerciais	78	295
Consumo humano	291	629
Irrigação	0,015	0,72
Processo industrial	64,16	192,48
Total [m³/dia]	446,0	1.158,0
Total [l/s]	5,2	13,4

(Fonte: SIOUT-RS / junho 2017)

6.1.2 Irrigação

Devido à falta de informações sobre a localização espacial das outorgas, principalmente referente às demandas de arroz, foram coletadas informações para subsidiar a análise de demandas.

Para tal foram utilizados os seguintes estudos:

- Plano Estadual de Recursos Hídricos (2006);
- Plano de Bacia do Rio Gravataí (2011);
- Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) - Boletins de Safras (2013 a 2016)
- Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia UFRGS – classificação de vegetação (2002);
- EMATER – séries históricas (2006 – 2015);
- BASTOS, M. A. (2014) - Estimativa de Vegetação para o Mapeamento de Lavouras de Arroz Irrigado na Bacia do Rio Gravataí no Estado do Rio Grande do Sul – Dissertação de Mestrado;
- GUASSELLI L. A. (2013) - Os impactos do cultivo de arroz irrigado sobre as áreas úmidas da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande do Rio Gravataí – RS – XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil;

A partir dos trabalhos listado pode-se realizar uma estimativa da produção de arroz nos municípios contidos na Bacia do Rio Gravataí.

Os dados não apresentam a localização espacial das áreas de plantio, desta forma, foi necessário a utilização da classificação vegetal do LABGEO/UFRGS para análise das áreas de lavoura realmente inseridas na bacia.

A partir desta análise pode-se apresentar uma estimativa ano a ano das áreas de cultivo, conforme Quadro 39 e Figura 47 a seguir:

Quadro 39 - Estimativa das Áreas de Plantio de Arroz (1998 a 2016)

ANO	Área (ha)	ANO	Área (ha)	ANO	Área (ha)
1999	16089	2005	18557	2011	21026
2000	16500	2006	18969	2012	21437
2001	16911	2007	19380	2013	21848
2002	17323	2008	19791	2014	22260
2003	17734	2009	20203	2015	22671
2004	18146	2010	20614	2016	23083

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Estimativa de Área Plantada de Arroz

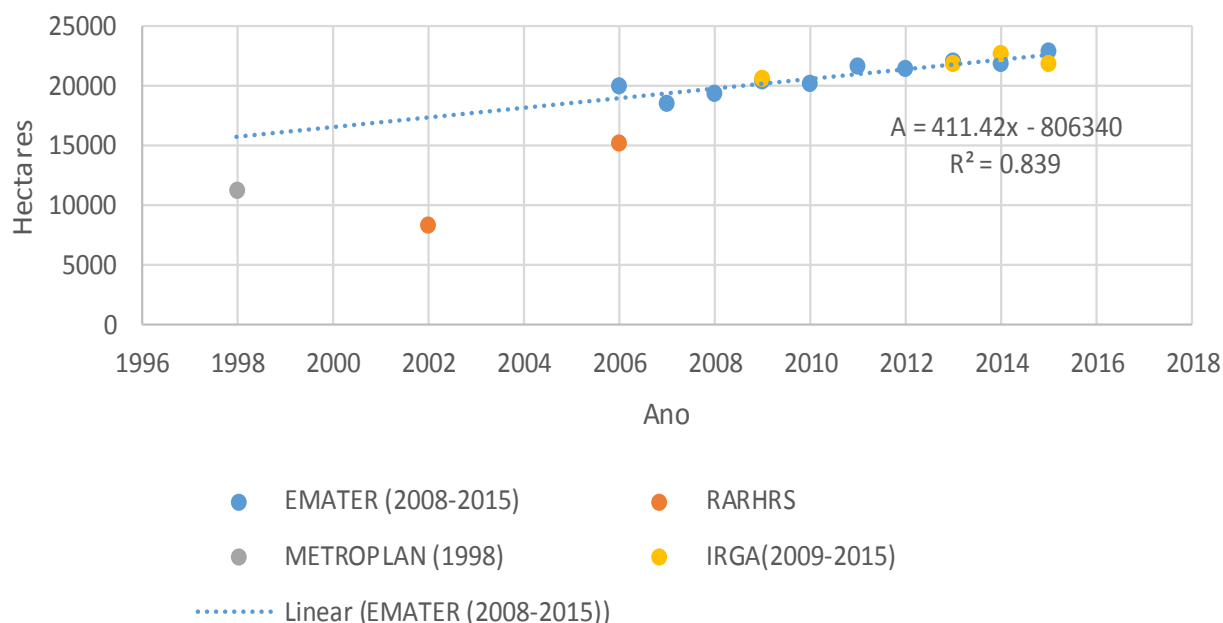


Figura 47 - Área real de plantio de arroz na Bacia e estimativa para os demais anos
 (Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A partir das áreas parciais de lavoura atribuídas a cada município as superfícies cultivadas por trecho da bacia foram alocadas de acordo com o Quadro 40. O detalhamento do cálculo das demandas foi realizado a nível de sub-bacia do modelo hidrológico.

A partir das áreas de cultivo de cada uma delas foi estimada uma série de demandas com variação quinzenal que representaram os períodos de início de plantio, inundação e término da safra (Figura 48).

A demanda do arroz considerou uma taxa de infiltração diária de 10mm/dia ou seja, 1,16 l/s/Ha.

Quadro 40 - Alocação das áreas de cultivo por trecho da bacia.

Município	Percentual da Área de Plantio Total	Localização
ALVORADA	0,53%	No Baixo Gravataí
GLORINHA	7,33%	No trecho mais a montante do Médio Gravataí 100%
GRAVATAÍ	2,79%	No Médio Gravataí até o Passo dos Negros
PORTO ALEGRE	1,83%	No Baixo Gravataí
SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA	48,14%	No Alto Gravataí
VIAMÃO	39,38%	No Médio Gravataí até o Passo dos Negros

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 49 apresenta as demandas agrícolas ao longo de uma safra. Parte destas demandas são supridas pelos açudes e reservatórios contidos nas propriedades rurais.

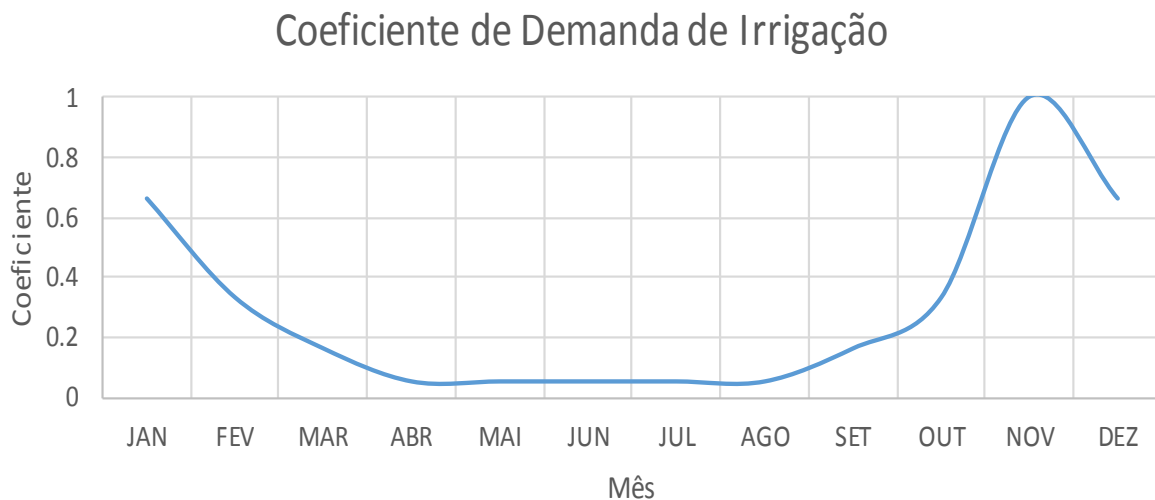


Figura 48 - Coeficiente de Demanda de Irrigação por Safra
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

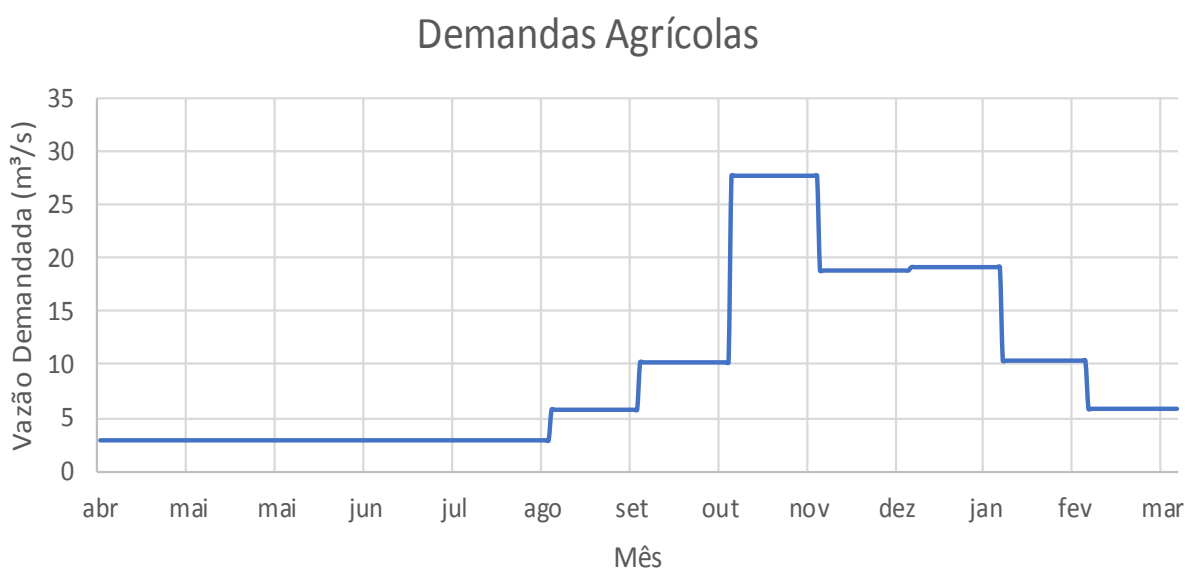


Figura 49 - Demandas Agrícolas
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

6.1.3 Abastecimento Público

Com exceção de Porto Alegre, o abastecimento de água e o esgotamento sanitário são de responsabilidade da CORSAN na Bacia do Rio Gravataí.

Nessa Bacia ocorrem os principais sistemas integrados operados pela CORSAN: SIAV (Alvorada e Viamão), SIGRAC (Gravataí e Cachoeirinha) e parte do SICES (Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul).

A partir da análise dos Planos Municipais de Saneamento e do Atlas do Abastecimento de Água as demandas hídricas por sistema foram quantificadas e localizadas no contexto da bacia do Gravataí.

Foram observadas várias incongruências entre os dados fornecidos pelo Atlas do Abastecimento de Água e os Planos de Saneamento. Onde tais existiram, a informação dos planos de saneamento foi considerada superior.

✓ **Sistema Integrado Alvorada-Viamão (SIAV)**

Segundo o Plano de Saneamento Básico de Alvorada (2013) o SIAV possui 2 captações no contexto da bacia do Rio Gravataí:

- Uma captação em uma barragem a fio d'água em um afluente do Arroio Fiúza com capacidade de abastecer a ETA Viamão com 110 l/s.

Com dados operacionais da CORSAN estima-se que a adução abastece a ETA 21 horas/dia, gerando uma demanda média diária de 24 horas de 96,2 l/s.. Sua operação se iniciou em 1940.

- Uma captação em derivação do Rio Gravataí, em trecho a 29 km acima do exutório da bacia e com capacidade de adução para a ETA Alvorada é de 1.350 l/s.. Em 2014 a ETA funcionou em média 19,8 horas/dia. Isto significa uma demanda média de 24 horas de 1.113,7 l/s.. Sua operação se iniciou em 1975.

✓ **Sistema Integrado Canoas-Esteio-Sapucaia do Sul (SICES)**

O SICES não se utiliza de mananciais no contexto da Bacia do Rio Gravataí.

✓ **SAA Isolado de Glorinha**

A captação do SAA de Glorinha localiza-se no Arroio Passo do Portão, localizado ao norte do centro urbano e consiste de uma capacidade de bombeamento de 12 l/s.

✓ **SAA Isolado de Santo Antônio da Patrulha**

O SAA de Santo Antônio da Patrulha não se utiliza de mananciais no contexto da Bacia do Rio Gravataí.

✓ **SAA Isolado de Porto Alegre**

Até 2012 o SAA de Porto Alegre possuía um único manancial de captação no contexto da Bacia do Rio Gravataí, consistindo da represa Lomba do Sabão, sendo este desativado a partir desta data.

Todos demais mananciais do município de Porto Alegre pertencem ao Lago Guaíba ou Bacia do Rio Jacuí.

✓ **Resumo do Sistema Atual**

A análise integrada dos sistemas de abastecimento público inseridos na Bacia do Gravataí, isto é, aqueles que apresentam captação na bacia resulta em uma demanda média de 1.564 l/s.

Tais demandas estão distribuídas ao longo da bacia do Gravataí, mas se concentram principalmente no trecho baixo e médio-baixo da bacia.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do RS (2006) estima as demandas de consumo público na Bacia do Rio Gravataí em torno de 4.170 l/s, mas nenhuma consideração é feita pelo manancial originário.

Como as captações dos municípios inseridos no contexto da Bacia do Rio Gravataí apresentam significativa transposição de bacias, principalmente em relação à Bacia do Rio dos Sinos e Lago Guaíba é esperado que tal valor seja menor que o apresentado no PERH (2006).

Por outro lado, o Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul (2002) indica a vazão efetivamente captada na bacia e apresenta um resultado de vazão média de 1.427 l/s, muito mais próximo do valor estimado neste trabalho.

Na calibração, onde as demandas existentes na bacia são lançadas no modelo com o intuito de comparação com os dados observados os valores de vazão demandada para o abastecimento público foram considerados fixos ao longo de todo período (2000 a 2015).

De fato, estes valores foram incrementados com o aumento populacional no período, mas ao mesmo tempo houve um incremento de eficiência no uso d'água com a redução de perdas d'água dos sistemas de abastecimento.

Segundo o Atlas Socioeconômico do RS todos os municípios consumidores de água do Gravataí apresentaram crescimento populacional entre 2010 e 2015 igual ou menor que 1%.

Isto gera uma estimativa de crescimento de demanda de abastecimento público de no máximo 16% no período.

Considerando-se os dois efeitos (crescimento e redução de perdas) estima-se que a variação entre o valor proposto e o valor real dentro do período apresente uma variabilidade de 10% para mais ou para menos.

6.1.4 Criação Animal

O consumo de água para a criação animal está diretamente associado ao efetivo dos rebanhos existentes na Bacia, representando o consumo propriamente dito dos animais e também toda a demanda de água associada ao seu manejo.

As demandas para a criação animal foram estimadas sobre o consumo per capita para cada tipo de rebanho, considerando dessedentação e manejo dos animais, conforme Quadro 41.

Os rebanhos por tipo e município estão indicados no (Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 42 a partir de informações do IBGE para o ano de 2015, com informações proporcionais à área do município pertencente à bacia. A demanda setorial total para a bacia é 52 l/s.

Quadro 41 - Demanda per capita para criação animal (l/cab/dia)

Bovinos	Suínos	Aves
40	100	0,4

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 42 - Demanda para Criação Animal por Município (l/s)

Município	BOVINOS	SUÍNOS	AVES	DEMANDA TOTAL [l/s]	RETORNO [l/s]
Alvorada	1.482	238	130	0,96	0,192
Cachoeirinha	330	123	336	0,30	0,06
Canoas	2	2	2	0,00	0
Glorinha	25.929	718	8.700	12,88	2,576
Gravataí	16.677	3.485	29.750	11,89	2,378
Porto Alegre	1.119	543	1.594	1,15	0,23
Santo Antônio da Patrulha	2.1515	585	8.481	10,68	2,136
Taquara	1.694	83	1.163	0,89	0,178
Viamão	26.766	857	85.434	13,78	2,756

(Fonte: IBGE)

6.1.5 Usos Industriais

A demanda industrial é a mais difícil de ser obtida pela falta de informações adequadas que permitam relacionar parâmetros como tipologia da indústria, produção industrial e consumo de água para cada localidade.

O problema é minimizado porque, em média, a demanda industrial não se constitui na parcela mais significativa do consumo de água no País, a qual corresponde a 18% da demanda total.

O Plano de Bacia do Rio Gravataí (2011) identificou uma demanda industrial de 235l/s e consumo de 70l/s a partir de dados da FEPAM e outorgas do DRH/SEMA. Enquanto isto o Plano Estadual de Recursos Hídricos (Relatório A - 2007) apontou uma demanda de 400l/s e um consumo de 120 l/s..

Conforme relatado anteriormente o Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT-RS) aponta uma vazão outorgada (Quadro 37 e (Fonte: SIOUT-RS / junho 2017)

Quadro 38) em torno de 2 l/s, embora este valor, possivelmente, não seja o correto..

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH - <http://portal1.snirh.gov.br>) não apresenta valores de demanda industrial na bacia.

Devido às informações existentes dispersas foi utilizada uma metodologia para determinação das demandas industriais utilizando-se dados econômicos conforme descrito nos trabalhos:

- Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consutivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2005) e;
- Caderno de Recursos Hídricos - Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil – (ANA, 2005)

A metodologia proposta considera uma estimativa de consumo de acordo com o tipo de atividade industrial e o retorno econômico (Quadro 43).

Quadro 43 - Coeficientes de retirada e retorno de acordo com setor industrial

	Volume (m³/ano/USD)		
	Captação	Retorno	Consumo
Material Elétrico de Comunicações	0,00001	0,00001	-
Produtos de Matérias Plásticas	0,00023	0,00018	0,00005
Borracha	0,00134	0,00107	0,00027
Transformação de não metálicos	0,00492	0,00394	0,00098
Material de Transporte	0,00551	0,0044	0,00111
Produtos Farmacêuticos e Veterinários	0,0056	0,00448	0,00112
Perfumaria	0,00753	0,00602	0,00151
Bebidas	0,00998	0,0087	0,00128
Metalúrgica	0,01013	0,00811	0,00202
Mecânica	0,01132	0,00905	0,00227
Couros e Peles	0,01474	0,01179	0,00295
Química	0,02304	0,01843	0,00461
Produtos Alimentares	0,02708	0,02166	0,00542
Genérica	0,02713	0,02176	0,00537
Vestuários	0,03052	0,02442	0,0061
Têxtil	0,03064	0,02451	0,00613
Madeira	0,05039	0,04031	0,01008
Papel e Papelão	0,08545	0,06836	0,01709
Mobiliário	0,12274	0,09838	0,02436
Extrativa Mineral	0,13233	0,10586	0,02647

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A partir de dados do IBGE/IPEA foram obtidos os valores de PIB relativos à atividade industrial em cada município Quadro 44.

Quadro 44 - PIB Industrial por município na bacia do Gravataí.

Município	PIB Industrial (2013)
Alvorada	R\$ 126.377.138,51
Cachoeirinha	R\$ 436.900.706,75
Canoas	R\$ 2.381.189.192,57
Glorinha	R\$ 52.848.008,16
Gravataí	R\$ 1.497.733.704,40
Porto Alegre	R\$ 2.497.123.314,87
Santo Antônio da Patrulha	R\$ 75.695.531,70
Viamão	R\$ 229.389.963,04

*Taquara não apresenta área urbana na bacia e não será considerada a análise.

(Fonte: IBGE/IPEA)

A partir de dados do cadastro de indústrias da FIERGS foram identificadas as empresas localizadas na bacia, seu número de funcionários e tipologia (Quadro 45).

Quadro 45 - Caracterização do setor industrial na bacia do Gravataí.

Município	Número de Empresas	Número de Empregos	R\$/Emprego
Alvorada	80	3.951	R\$ 31.986,11
Cachoeirinha	246	12.790	R\$ 34.159,55
Canoas	301	14.528	R\$ 163.903,44
Glorinha	8	1.568	R\$ 48.275,21
Gravataí	231	20.456	R\$ 73.217,33
Porto Alegre	1268	69.967	R\$ 35.689,83
Santo Antônio da Patrulha	30	1.805	R\$ 13.839,07
Viamão	62	2411	R\$ 95.143,08

(Fonte: FIERGS)

A grande maioria das indústrias instaladas na bacia são de pequeno porte, desta forma, a probabilidade de existência de um sistema de captação independente da rede pública é muito baixo.

Como critério de avaliação foram consideradas que apenas as empresas com 100 ou mais funcionários são potencialmente consumidoras fora do sistema de abastecimento público.

A partir destas considerações pode-se avaliar as demandas, retorno e consumo do setor industrial da bacia Quadro 46.

Quadro 46 - Estimativa de Demanda Industrial na bacia do Gravataí.

Município	Demanda	Retorno	Consumo
Alvorada	19,2	15,4	3,8
Cachoeirinha	63,7	51,0	12,7
Canoas	122,2	97,8	24,4
Glorinha	0,6	0,5	0,1
Gravataí	36,3	29,1	7,2
Porto Alegre	94,9	75,9	19
Santo Antônio da Patrulha	1,6	1,3	0,3
Viamão	12,1	9,7	2,4

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A demanda e consumo adotados serão os estimados a partir da metodologia relatada no presente trabalho, totalizando Q=350 l/s e 70l/s, respectivamente, para a totalidade da bacia do Gravataí.

A estimativa de demandas realizadas em diferentes trabalhos está apresentada no Quadro 47.

Quadro 47 - Estimativas de demandas de diferentes trabalhos.

Demanda	Ano	Demanda [l/s]
Plano de Bacia do Gravataí	2011	253
Plano Estadual de Recursos Hídricos	2007	400
SIOUT	2017	2
SNIRH	2017	Sem registro
Estimativa do presente trabalho	2017	350

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

6.1.6 Vazão de Retorno

✓ **Abastecimento Público**

As demandas de abastecimento público da bacia retornam para o manancial na forma de efluentes lançados na rede de esgotamento sanitário, quando existente, e finalmente em um corpo hídrico.

O Plano de Bacia do Rio Gravataí preconizou que fosse utilizada a relação entre demandas e produção de esgoto de 0,8. Desta forma a demanda considerada foi de apenas 20% da demanda real.

Embora esta seja a recomendação da NBR 9649 (Projetos Coletoras de Rede de Esgoto), ela não representa adequadamente a situação do sistema de esgotamento sanitário dos municípios da bacia.

A metodologia proposta considera que após o consumidor existem diversas formas para o destino final do recurso hídrico.

O atendimento de serviços de esgoto nos municípios da bacia do Gravataí é bastante deficitário existindo problemas quanto à baixa taxa de coleta, pouca adesão quanto à ligação residencial à rede e baixo percentual de tratamento final.

Tais peculiaridades demandam que se considere um percentual menor da vazão de retorno à bacia.

A seguir são descritas as etapas da metodologia de determinação de vazão de retorno:

- 1) **Perda Inicial:** um percentual do volume demandado não recebe uma disposição final, sendo agregado a bens (ex: produção de alimentos), infiltrado ou evaporado localmente (ex: irrigação domiciliar). Considera-se que existe uma perda de 20% do volume inicial demandado.

- 2) **Disposição:** a partir do consumo inicial o efluente é disposto conforme a realidade local do sistema de esgotamento sanitário existente. Boa parte da bacia do Gravataí não é contemplada por serviços regulares de saneamento.
- Os domicílios em geral têm soluções do tipo: fossa/sumidouro, disposição diretamente em valas ou, quando próximo a corpo d'água lançamento direto no corpo d'água. Onde existem serviços regulares de esgotamento o mesmo é coletado e pode ou não ser tratado antes da disposição final. Onde a disposição dos efluentes é feita de forma irregular ou sem coleta, mas não lançado diretamente em corpo hídrico, ele poderá ser conduzido por escoamento subsuperficial total ou parcialmente até rios e arroios. A parte não transportada subsuperficialmente será considerada como indisponível no balanço hídrico. Será considerado que a parcela de esgoto escoada de forma subsuperficial será 25% do efluente não coletado.
- 3) **Destino Final:** o esgoto coletado pode ou não ser conduzido a uma estação de tratamento, mas de toda forma terá seu destino final em um corpo hídrico. Assim, ele poderá estar inserido ou não no contexto da bacia do Gravataí.
- O SES Canoas é um exemplo onde o esgoto (coletado) produzido na bacia do Gravataí não tem seu destino final em nenhum corpo d'água da mesma.

A Figura 50 representa de forma esquemática a relação entre fornecimento, produção de esgoto e destino final no corpo hídrico.

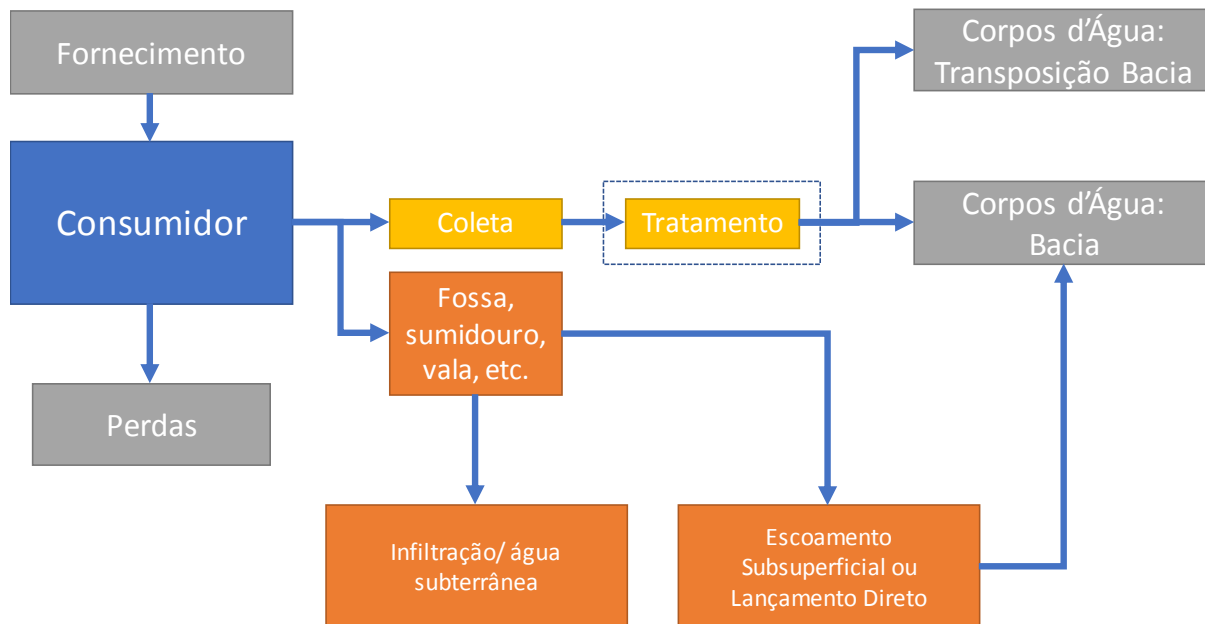


Figura 50 - Vazões de Retorno do Abastecimento Público
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Exceto por pontos lançamento específicos como ETE's, o retorno da vazão aos cursos d'água se dá de forma difusa e muitas vezes não permite que esta vazão esteja disponível de forma praticável às captações de água bruta existentes.

A distribuição espacial do retorno de vazões também é importante para que não seja superestimado o seu impacto na disponibilidade.

O Quadro 48 apresenta o cálculo das vazões de retorno para os diversos municípios da bacia e a Figura 51 mostra as vazões de retorno à bacia.

Como pode-se observar no mapa, as vazões de retorno estão localizadas nas áreas mais urbanizadas que, por próprio conceito de um sistema de captação, ficam a jusante de onde ocorrem os bombeamentos. Desta forma, se observa que o impacto das vazões de retorno, embora existente, não será significativo na avaliação da disponibilidade.

Ao se considerar cenários futuros e potenciais locais de novas captações deve-se lembrar que o Rio Gravataí é um dos cursos d'água mais poluídos do Brasil o que limita severamente o posicionamento de elevatórias em posições mais a jusante das existentes.

Ressalta-se que demais consumidores significativos existentes se localizam em trechos muito mais a montante do trecho que recebe a maior parte das vazões de retorno.

✓ **Criação Animal**

Diferentemente do abastecimento público não existe uma grande translação do local de demanda e local de retorno das vazões. De tal forma se pode considerar o consumo efetivo igual à demanda subtraída do retorno.

A demanda e retorno foram apresentadas anteriormente e estão distribuídas nas zonas rurais da bacia.

✓ **Usos Industriais**

Os usos industriais serão considerados de forma a ocorrem as demandas e retornos no mesmo trecho de curso d'água. De tal forma se pode considerar o consumo efetivo igual à demanda subtraída do retorno.

A demanda e retorno foram apresentadas anteriormente e estão distribuídas nas zonas urbanas da bacia.

Quadro 48 - Cálculo das Vazões de Retorno à Bacia do Gravataí.

	[1]	[2]		[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
Município	Consumo (l/hab/dia)	Pop. Urbana	Pop. Rural	Demanda Média [l/s]	Vazão Disposta	Percentual Coleta	Vazão Coletada	Vazão Não Coletada	Retorno Infiltração	Vazão Lançada por ETES
Alvorada	131,3	202.481	-	308	246	67%	140	106	26	24
Cachoeirinha	188	124.181	-	270	216	73%	134	82	21	29
Canoas	147	92.579	-	158	126	80%	86	40	10	0
Glorinha	193,2	2.557	4.905	17	13	0%	0	13	3	0
Gravataí	166	262.700	6.299	517	413	56%	197	217	54	22
Porto Alegre	224	414.989	-	1076	861	80%	651	210	52	66
Santo Antônio da Patrulha	160	31.017	10.207	76	61	12%	6	55	14	0
Viamão	138	232.855	13.500	393	315	47%	126	189	47	0

[1] – Consumo de l/hab/dia [SNIS]

[2] – Projeção populacional da CORSAN para 2016

[3] – Coluna [1] x Coluna [2]

[4] – 80% Coluna [3]

[5] – Percentual de atendimento de serviços de coleta [CORSAN]

[6] – Vazão coletada pelos serviços regulares, parte desta vazão pode ser direcionada para fora da bacia. Foi considerada uma taxa de infiltração de 15% devido a análise da relação de comprimento de rede existente e parâmetros da NBR 9649.

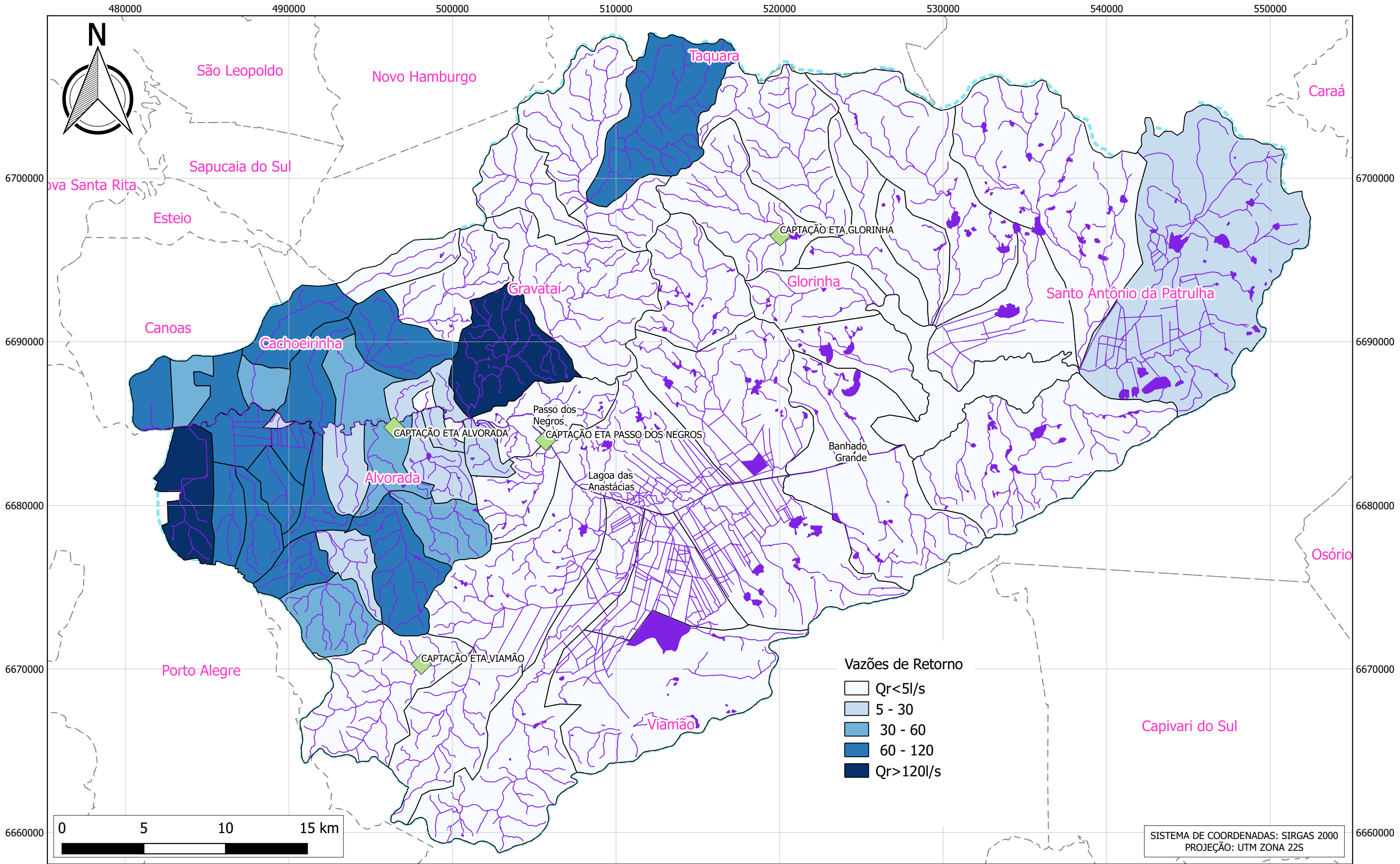
[7] – Vazão Disposta não Coletada – Coluna [4] – Coluna [5]

[8] – Percentual da vazão disposta não coletada que retorna aos cursos d'água por lançamento direto ou escoamento subsuperficial.

[9] – Vazão Lançada por ETES [Plano Regional de Saneamento da Bacia do Gravataí (2011)].

*Taquara possui uma área muito pequena dentro e sua sede fora do contexto da bacia

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)



6.1.7 Efeito das Demandas

Os autores da modelagem hidrológica contida no Plano de Bacia do Rio Gravataí (2011) apresentaram como uma das dificuldades para obtenção das séries de vazão natural a existência de demandas de consumo ao longo da bacia.

Tais demandas, devido a sua significativa magnitude refletem nas vazões observadas nas estações a jusante destas, notadamente Passo das Canoas e Passo das Canoas Auxiliar, ou seja; as duas estações com mais importância na aferição do modelo hidrológico.

O resultado disto é que as vazões observadas foram menores do que a capacidade real de produção da bacia.

Para minimizar tais efeitos, as vazões outorgadas foram distribuídas em trechos de rio ao longo do curso do Médio Gravataí, onde se encontram os maiores consumos provenientes da demanda agrícola e captação da CORSAN. Esta ação teve como objetivo a estimativa de vazões mais próximas à capacidade de produção hídrica da bacia.

De toda forma, não há conhecimento se tais vazões outorgadas estão de acordo com as reais captações existentes ou mesmo a localização exata destas. Tais informações podem gerar um modelo hidrológico mais fidedigno à realidade da bacia.

A calibração do modelo hídrico considerou as demandas e sua variação ao longo do tempo. A simulação de longo período foi realizada em uma condição sem retiradas diretas do curso d'água (sem demandas) pois tais tem por objetivo o conhecimento das vazões naturais.

A Figura 52 apresenta a distribuição dos consumos na bacia do Gravataí e a Figura 53 apresenta a localização destes consumos.

Distribuição dos Consumos

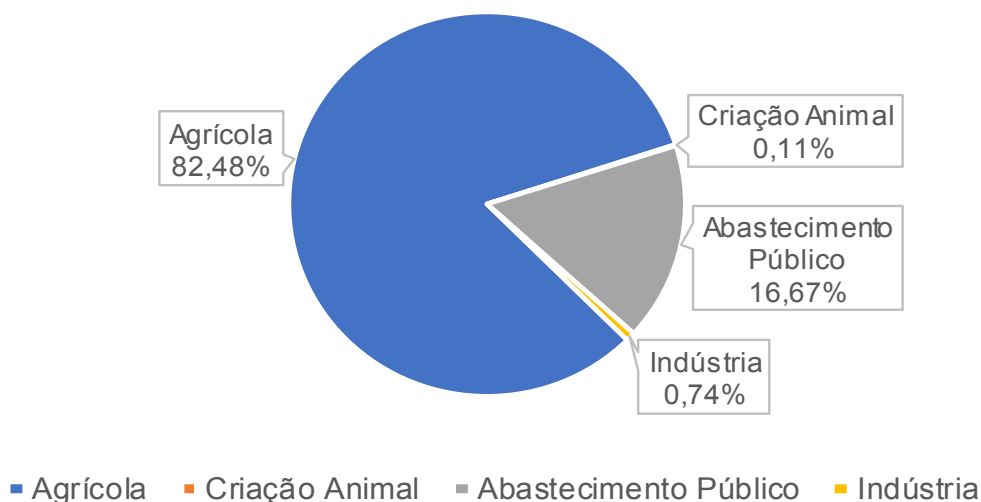


Figura 52 - Distribuição dos Consumos Anuais na bacia do Gravataí
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

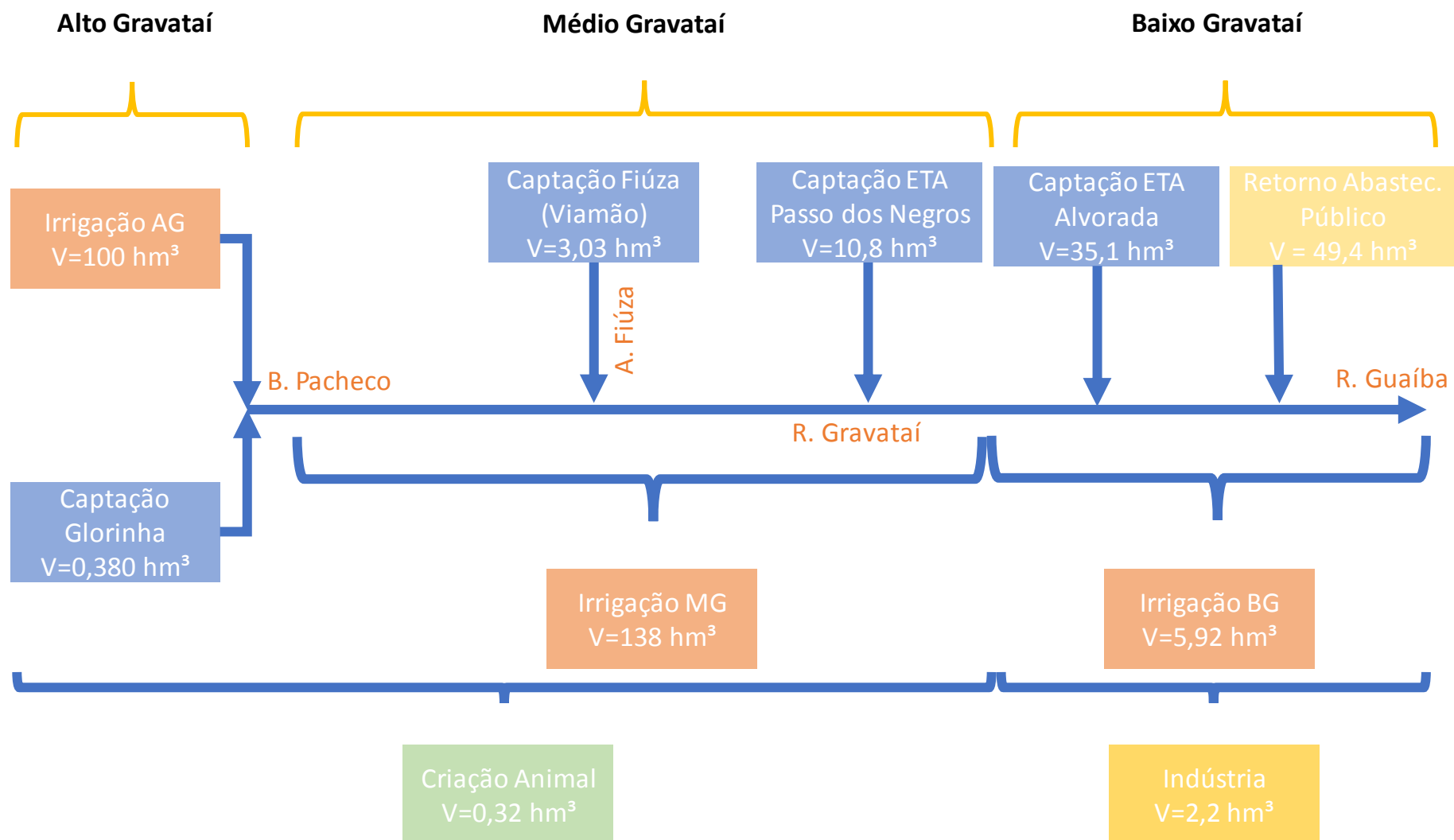


Figura 53 - Distribuição das Demandas na Bacia Safra 2015-2016) – Volumes Anuais
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

7 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA E AJUSTE DO MODELO HIDROLÓGICO

7.1 Conceito

A utilização de modelos é usual, em diversas áreas do conhecimento onde é necessário representar fenômenos de grande escala (temporal e/ou espacial), de grande perigo, na avaliação de cenários futuros ou quando o custo financeiro é proibitivo.

Estudos hidrológicos em sua maioria fazem uso de modelagem para obter os resultados necessários por meio de uma representação simplificada e conceitual dos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica

Desta forma, modelos hidrológicos computacionais representam por meio de equações os componentes, superficial, subsuperficial e subterrâneo do escoamento, assim como os processos de evapotranspiração, interceptação e armazenamento.

Por meio da modelagem é possível espacializar as informações fluviométricas na bacia, ou seja, obter as vazões nos pontos de interesse, locais que não dispunham de estações fluviométricas.

No presente estudo faz-se necessário o uso da modelagem hidrológica computacional para quantificar os efeitos das cheias e estiagens na Bacia do Rio Gravataí.

Para tanto o modelo adotado é que atende adequadamente os requisitos de representação destes fenômenos é o modelo desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica (*Hydrologic Engineer Center*) do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers*) disponibilizado em uma plataforma computacional não comercial de uso livre e que vem sendo atualizado continuamente.

Os aspectos gerais de concepção da modelagem são distintos para cada resultado almejado.

No Quadro 49 são apresentados estes aspectos gerais os quais serão contemplados pelo modelo adotado.

Quadro 49 - Concepção do modelo hidrológico para o estudo de cheias e estiagens na Bacia

Aspectos Gerais da Concepção do Modelo Hidrológico			
Interesse	Tipo de Modelo	Calibração	Resultados
Cheias	Chuva-Vazão + Hidrodinâmico (por Evento)	Eventos de cheia (registrados)	Mancha de Inundação para Hidrograma de Projeto
Disponibilidade	Chuva-Vazão + Hidrodinâmico (contínuo)	Série histórica de precipitação e as vazões correspondentes	Vazões para períodos de estiagem

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Para a modelagem da bacia em questão foi preconizado o uso do modelo HEC-HMS na versão 4.2.

A metodologia utilizada será distinta para a caracterização da estiagem e eventos de cheias. Nos pontos onde os métodos divergem são apresentados os dois processos utilizados.

A descrição do modelo adotado e os parâmetros de controle adotados são apresentados a seguir.

7.2 Descrição dos Módulos do Modelo

A plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*), desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers*), dispõe de módulos hidráulicos e hidrológicos para simulação, entre os quais os mais importantes são o módulo HEC-RAS – hidráulico e o módulo HEC-HMS – hidrológico.

O módulo de propagação de escoamento simula tanto escoamento permanente quanto não permanente, por meio da resolução das equações de continuidade e de quantidade de movimento, representando desta forma efeitos de jusante (remanso).

Descrição completa e detalhada é disponível em USACE –HEC-RAS (2010).

O módulo HMS (*Hydrologic Modeling System*) simula vários processos hidrológicos, dentre eles, destaca-se o processo de transformação chuva-vazão em sistemas de bacias hidrográficas urbanas e rurais.

Esta transformação é elaborada por meio da técnica do hidrograma unitário sendo possível optar pelo método de Clark, Snyder ou SCS.

Já a representação do escoamento de base tem como alternativas; dentro do modelo vazão de base constante por mês, recessão exponencial e reservatório linear.

Os hidrogramas produzidos pelo modelo podem ser usados em estudos de disponibilidade de água, drenagem urbana, previsão de vazão, avaliação de impactos de urbanização, projeto de barramentos, regularização de vazões, hidrologia de banhados, entre outros.

O modelo assume que uma bacia hidrográfica é reproduzida como um grupo interligado de áreas, e os processos hidrológicos podem ser representados pelos parâmetros que refletem as condições médias dentro da área.

7.2.1 Componentes do Modelo Chuva-Vazão

O processamento do modelo hidrológico no HEC-HMS requer inicialmente a entrada de dados da bacia hidrográfica, bem como dados meteorológicos.

As especificações de controle definem os períodos e passo de tempo da simulação. Os dados de entrada consistem nas séries hidrológicas e climatológicas (precipitação, vazão, evaporação, etc.) que são parâmetros ou condições de contorno dos modelos de bacia e meteorológicos.

Posteriormente, são escolhidos os métodos para o cálculo das perdas, de transformação chuva-vazão, de composição do escoamento de base, de propagação em rios; considerando parâmetros relacionados a tais métodos, como a área das sub-bacias, tempo de concentração, fatores de perda por infiltração, evapotranspiração, e perdas em sumidouros.

A Figura 54 apresenta um fluxograma básico de construção do modelo.

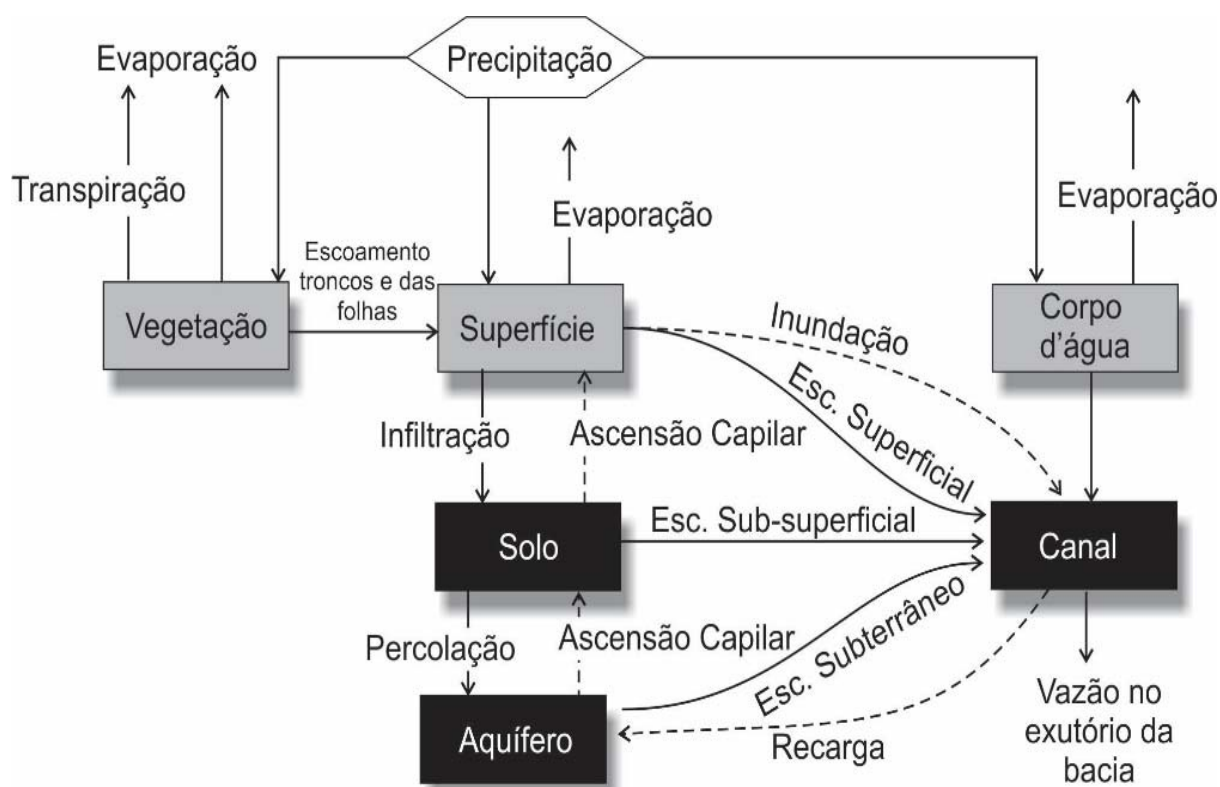


Figura 54 - Fluxograma do processo de modelagem hidrológica.
(Fonte: USACE-HEC-HMS, 2000)

7.2.2 Componente Modelo da Bacia

O modelo da bacia representa o componente físico da bacia hidrográfica.

Nesta categoria são inseridos e manipulados os dados referentes à geometria da bacia hidrográfica, sendo representado o esquema hidrológico da área, com as sub-bacias, os trechos de rios, possíveis reservatórios, junções e divisões dos canais.

Inclui, neste componente, a definição dos métodos e respectivos parâmetros referentes a perda por infiltração, evaporação, interceptação, os métodos de transformação chuva-vazão, de cálculo do escoamento de base e propagação em rios.

Este modelo é construído pela adição e conexão destes elementos hidrológicos. Estes elementos usam modelos matemáticos para descrever os processos físico da bacia (ver Quadro 50).

Quadro 50 - Componentes do Modelo Hidrológico

Elemento Hidrológico	Descrição
Sub-bacia	Representa os processos hidrológicos das sub-bacias do modelo. Agrupa as funções matemáticas de conversão em chuva-vazão (infiltração, escoamento direto, interceptação, etc.)
Trecho	Representa os canais de adução do escoamento das sub-bacias. O parâmetro de entrada é a vazão nos exutórios destas. A vazão de saída é calculada através de uma função de propagação, atenuação e perda do hidrograma de entrada.
Junção	Representa a soma de escoamento de um ou mais exutórios de sub-bacias. A vazão de saída consiste apenas na soma simples sem armazenamento.
Fonte	Representa um elemento que introduz uma vazão no modelo da bacia. Esta vazão é manualmente definida pelo usuário. Pode ser usado para determinar a vazão bombeada de outra bacia, por exemplo.
Sumidouro	Representa o exutório de uma bacia. Recebe o escoamento de outros elementos do componente hidrológico. Consiste no fim lógico do modelo.
Reservatório	Representa um reservatório e consiste em funções hidrológicas de armazenamento e atenuação do hidrograma. O escoamento de entrada pode ser proveniente de um ou mais componentes hidrológicos. O armazenamento pode ser representado por uma função de vazão-armazenamento, elevação-armazenamento-vazão ou elevação-área-vazão. Uma ou mais saídas podem ser específicas neste componente.
Derivação	Representa as retiradas de vazão do sistema. Pode estar conectada a um ou mais elementos hidrológicos. Suas funções podem ser consideradas como uma captação com bombeamento, um vertedouro lateral ou qualquer outra curva de descarga.

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Os limites de bacia foram definidos através de da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (Escala 1:50.000), elaborados pela Centro de Ecologia/Laboratório de Geoprocessamento-UFRGS através da digitalização de cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE).

Para esta etapa do trabalho (Estudos Hidrológicos) esta informação possui detalhe suficiente e condiz com o que foi utilizado no Plano de Bacia.

Para as etapas seguintes, onde são necessários detalhes maiores para a construção do modelo hidrológico foram utilizadas informações dos levantamentos aerofotogramétricos, levantamentos topobatimétricos, levantamentos topográficos e dados de satélite STRM.

Para cada um dos elementos do componente hidrológico uma série de diferentes funções (modelos) é disponível para representar o processo físico em questão. Cada uma destas diferentes funções pode ou não ser adequada para determinada condição específica.

A função utilizada para cada processo específico é apresentada nas seções seguintes.

7.2.3 Especificação de Controle

Refere-se aos períodos de tempo para os quais foram realizados os cálculos, incluindo data e horário de início e fim do determinado período, bem como o intervalo ou passo computacional.

A Figura 55 apresenta os componentes hidrológicos relacionados acima e sua composição no processo de determinação da saída do modelo hidrológico, isto é, o hidrograma simulado.

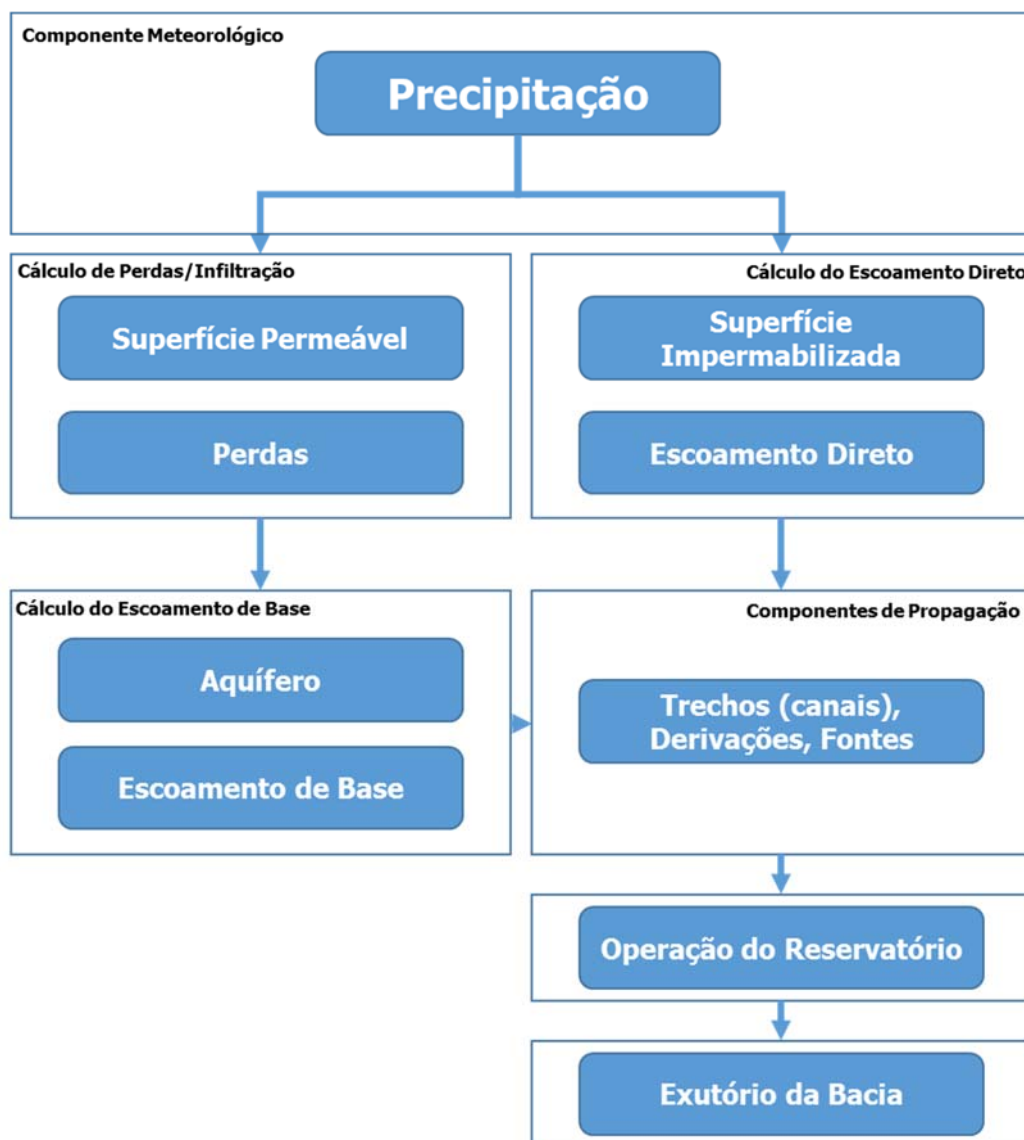


Figura 55 - Fluxograma Simplificado do Processo de Cálculo de Vazão.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

7.3 Divisão de Sub-Bacias

O Elemento “Sub-bacia” (*subbasin*) do modelo HEC-HMS representa os processos hidrológicos das sub-divisões da área da bacia (as sub-bacias do Gravataí) e, assim, agrupa as funções matemáticas de conversão em chuva-vazão (infiltração, escoamento direto, interceptação, etc.).

A divisão das sub-bacias para a construção do modelo hidrológico obedeceu aos seguintes critérios:

- Respeitando a divisão da caracterização Baixa, Médio, Alto Gravataí;
- Considerando áreas relativamente homogêneas quanto ao uso do solo e declividade;
- Considerando a maior necessidade de detalhamento na análise das áreas urbanizadas, principalmente o Baixo Gravataí;
- Considerando os pontos de controle importantes para a calibração do modelo como as Estações Fluviométricas existente;

A partir destes conceitos foram criadas 64 sub-bacias dentro do modelo hidrológico:

- 13 sub-bacias no Alto Gravataí;
- 20 sub-bacias no Médio Gravataí;
- 31 sub-bacias no Baixo Gravataí.

O método de denominação das sub-bacias consideradas no modelo indica a localização desta no conceito de Alto, Médio ou Baixo Gravataí; exemplo:

- MAG01 – sub-bacia 1 pertencente ao Alto Gravataí.
- MMG18 – sub-bacia 18 pertencente ao Médio Gravataí.
- MBG10 – sub-bacia 10 pertencente ao Baixo Gravataí.

A classificação em Alto, Médio e Baixo Gravataí é a mesma utilizada ao longo de todo este trabalho e no Plano de Bacia.

O Quadro 51 apresenta a nomenclatura das sub-bacias adotadas no modelo hidrológico e uma breve descrição naquelas com características notáveis.

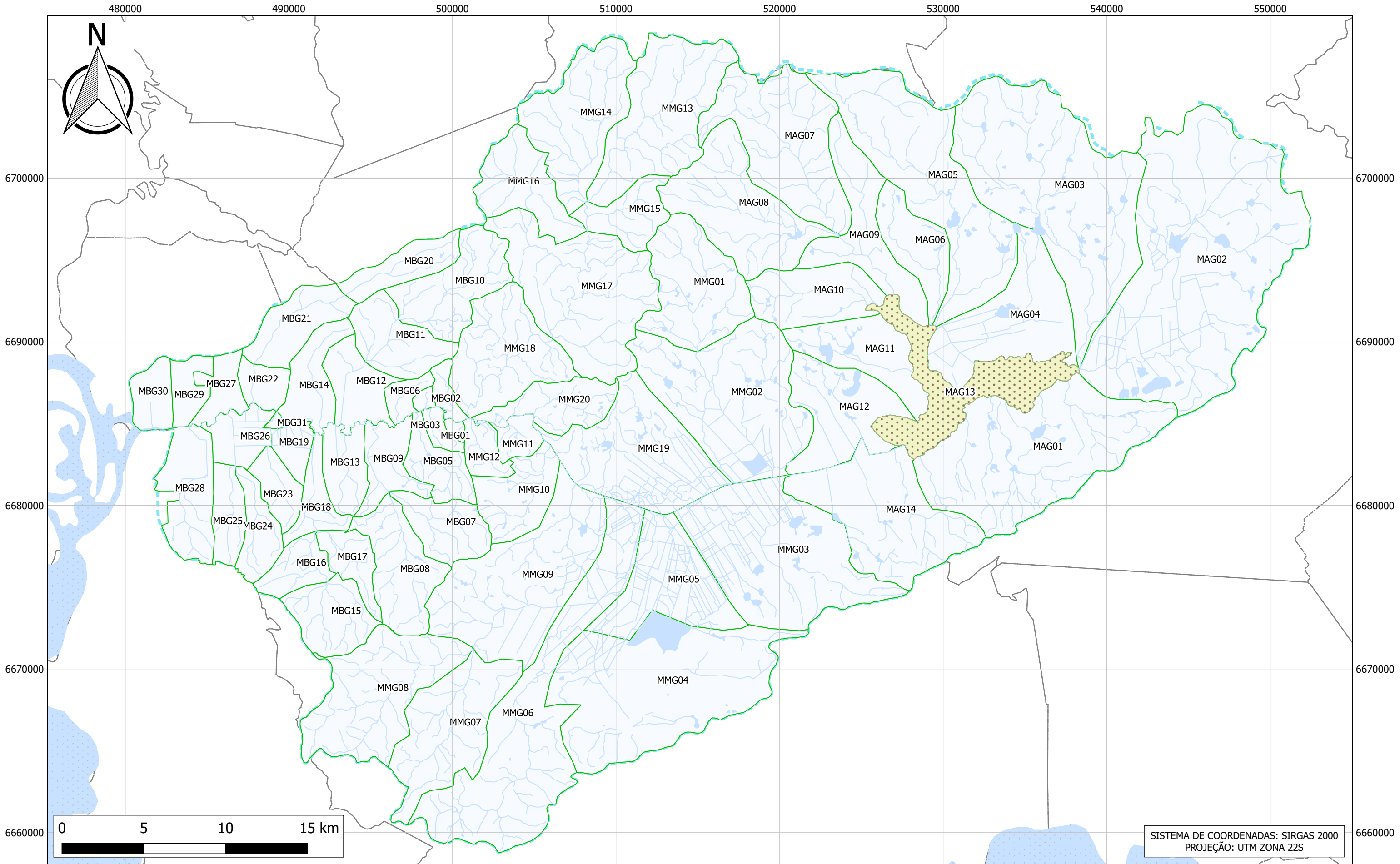
Quadro 51 - Nomenclatura das sub-bacias adotadas no modelo hidrológico.

Subbacia	Área (km²)	Localização	Descrição
MAG01	127,0	Alto Gravataí	Sanga da Rapadura e contribuintes menores
MAG02	155,6	Alto Gravataí	
MAG03	102,6	Alto Gravataí	
MAG04	37,4	Alto Gravataí	
MAG05	72,1	Alto Gravataí	
MAG06	19,0	Alto Gravataí	Arroio Grande
MAG07	45,4	Alto Gravataí	
MAG08	51,9	Alto Gravataí	
MAG09	30,4	Alto Gravataí	
MAG10	25,3	Alto Gravataí	
MAG11	24,6	Alto Gravataí	Representa a área alagada do Banhado Grande.
MAG12	25,6	Alto Gravataí	
MAG13	35,5	Alto Gravataí	
MAG14	53,6	Alto Gravataí	
MMG01	37,8	Médio Gravataí	Bacia de contribuição do Banhado dos Pachecos
MMG02	68,9	Médio Gravataí	
MMG03	73,1	Médio Gravataí	
MMG04	90,4	Médio Gravataí	
MMG05	35,8	Médio Gravataí	
MMG06	82,0	Médio Gravataí	

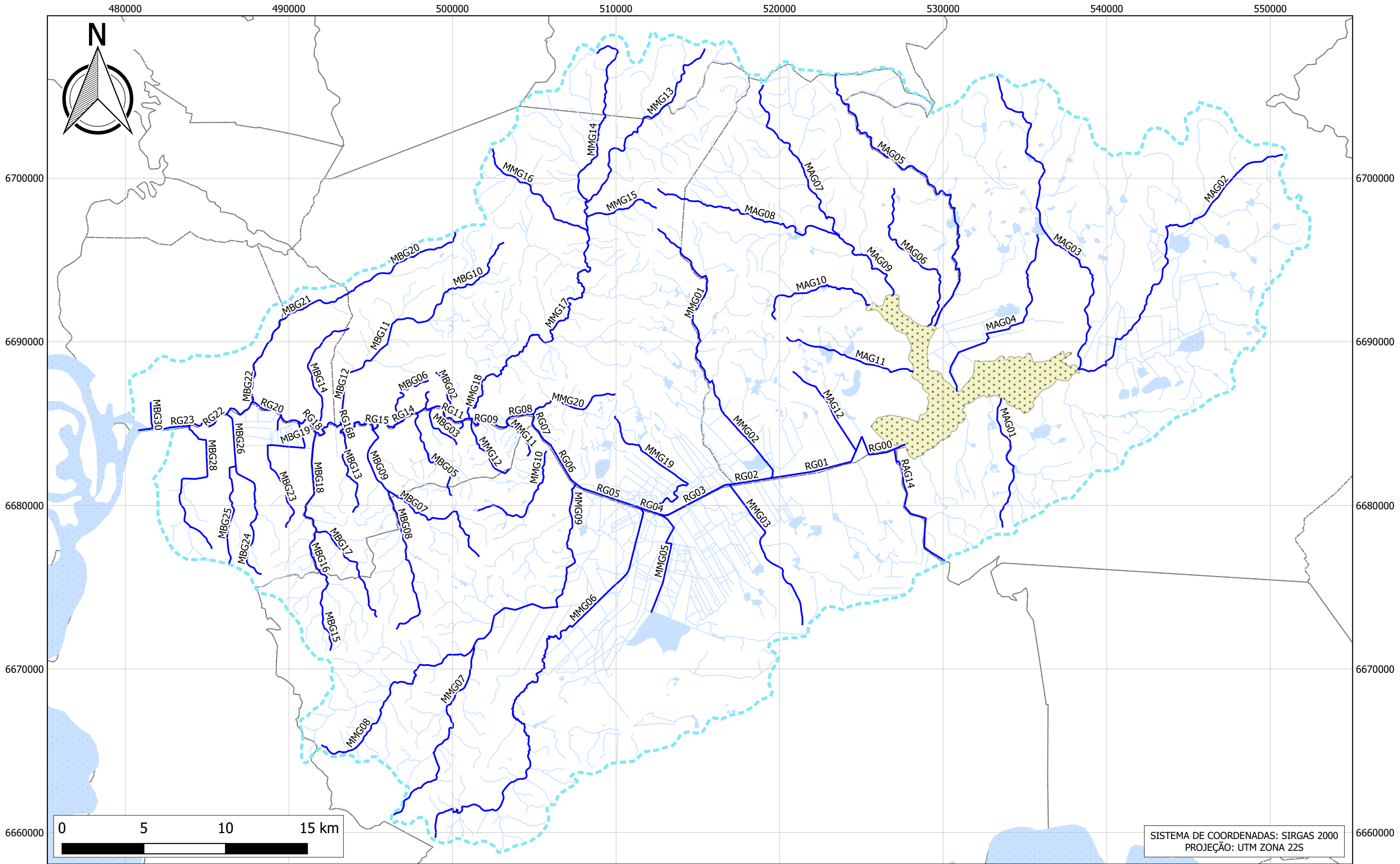
Subbacia	Área (km²)	Localização	Descrição
MMG07	41,1	Médio Gravataí	
MMG08	48,2	Médio Gravataí	Arroio Fiúza
MMG09	66,3	Médio Gravataí	
MMG10	19,9	Médio Gravataí	
MMG11	6,0	Médio Gravataí	
MMG12	7,4	Médio Gravataí	
MMG13	49,3	Médio Gravataí	Arroio Demétrio
MMG14	40,8	Médio Gravataí	
MMG15	14,9	Médio Gravataí	
MMG16	23,5	Médio Gravataí	
MMG17	61,7	Médio Gravataí	Arroio Demétrio
MMG18	37,3	Médio Gravataí	Arroio Demétrio
MMG19	50,8	Médio Gravataí	
MMG20	17,7	Médio Gravataí	
MBG01	1,2	Baixo Gravataí	
MBG02	4,2	Baixo Gravataí	Área Urbana de Gravataí
MBG03	3,7	Baixo Gravataí	Área Urbana de Alvorada
MBG04	1,5	Baixo Gravataí	
MBG05	12,7	Baixo Gravataí	Área Urbana de Alvorada
MBG06	5,0	Baixo Gravataí	Área Urbana de Gravataí
MBG07	16,9	Baixo Gravataí	
MBG08	26,4	Baixo Gravataí	
MBG09	14,0	Baixo Gravataí	Área Urbana de Alvorada
MBG10	27,0	Baixo Gravataí	
MBG11	20,0	Baixo Gravataí	Área Urbana de Gravataí
MBG12	15,6	Baixo Gravataí	Arroio Barnabé (Gravataí)
MBG13	12,9	Baixo Gravataí	Área Urbana de Alvorada
MBG14	15,8	Baixo Gravataí	Área Urbana de Cachoeirinha
MBG15	19,0	Baixo Gravataí	
MBG16	10,7	Baixo Gravataí	
MBG17	10,5	Baixo Gravataí	Área Urbana de Alvorada
MBG18	10,1	Baixo Gravataí	Arroio Feijó (Porto Alegre/Alvorada)
MBG19	6,5	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre
MBG20	14,0	Baixo Gravataí	
MBG21	18,0	Baixo Gravataí	Área Urbana de Cachoeirinha
MBG22	7,5	Baixo Gravataí	Arroio Brigadeiro (Cachoeirinha)
MBG23	9,4	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre
MBG24	11,9	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre
MBG25	10,8	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre
MBG26	11,2	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre
MBG27	8,9	Baixo Gravataí	Área Urbana de Canoas
MBG28	22,5	Baixo Gravataí	Arroio Areia (Porto Alegre)
MBG29	8,0	Baixo Gravataí	Área Urbana de Canoas
MBG30	9,5	Baixo Gravataí	Área Urbana de Canoas
MBG31	0,9	Baixo Gravataí	Área Urbana de Porto Alegre

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 56 mostra esta mesma informação espacializada no contexto da bacia. A Figura 57 mostra a nomenclatura dos trechos adotados no modelo para representação da rede de drenagem.



	Limite da Bacia Limites Municipais Hidrografia Sub-bacias Modeladas	Escala: GRÁFICA	ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ
	Nomeclatura: M = sub-bacia modelada AG/MG/BG = Alto, Médio e Baixo Gravataí XX = número sequencial		FIGURA 56: Nomenclatura dos componentes hidrológicos utilizados no modelo: sub-bacias.



SISTEMA DE COORDENADAS: SIRGAS 2000
PROJEÇÃO: UTM ZONA 22S



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL



COHIDRO
consultoria estudos projetos

 Limite da Bacia  Limites Municipais  Hidrografia

 Trechos Modelados



METROPLAN

Escala:

GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA 57: Nomenclatura dos componentes hidrológicos utilizados no modelo: trechos.

7.4 Determinação dos Parâmetros Hidrológicos

7.4.1 Coeficiente CN e impermeabilização

Para determinação dos parâmetros hidrológicos a serem considerados no modelo a ser utilizado deverá ser realizada uma classificação do uso do solo de acordo com a resposta hidrológica típica de cada região.

As classificações consideradas são correspondentes a tipos hidrológicos específicos da Bacia do Rio Gravataí, não necessariamente aplicáveis a qualquer outra bacia.

Considerando que a análise do presente estudo é regional e não pontual as classes hidrológicas apontadas indicam um comportamento hidrológico de grande escala, ou seja, as classes apontadas apresentam os parâmetros médios da sub-bacia analisada.

A seguir são apresentadas as 8 classes hidrológicas propostas distintas e características da região do estudo.

- **Área Urbanizada de Baixa Densidade:** composta principalmente de edificações unifamiliares, significativo percentual de área dos lotes não edificada, algumas pequenas praças/áreas esportivas e ruas pavimentadas ou não. Representa geralmente os subúrbios e frentes de expansão de urbanização dos municípios. Apresenta baixa a média capacidade de infiltração local direta e grande variabilidade na disponibilidade de serviços públicos de drenagem.
- **Área Urbanizada de Alta Densidade:** composta das áreas urbanas consolidadas, centros comerciais ou áreas mais antigas da cidade, apresentando edificações multifamiliares, estacionamentos, ruas pavimentadas e alto índice de ocupação dos lotes. Apresenta baixíssima capacidade de infiltração direta e alta disponibilidade de serviços de drenagem.
- **Área Industrial:** composta de indústrias que ocupam uma grande área, mas com índice de edificação baixo. O lote geralmente apresenta áreas para movimento de veículos/maquinário, buffers de segurança/ambientais e zonas de futura expansão. Apresenta baixa a média capacidade de infiltração local direta, projeto de drenagem intra-lote bem resolvido e boa disponibilidade de serviços de drenagem pública.
- **Mata/Reflorestamento:** representa as áreas com vegetação de grande porte com média a alta densidade vegetal e significativa cobertura. Somente são consideradas nesta classe áreas com tamanho significativo suficiente para impactar na resposta hidrológica. Apresentam valores característicos de interceptação e evapotranspiração.
- **Campo:** áreas com campo nativo ou lavoura não manejada diretamente. Apresentam características hidrológicas superficiais bastante uniformes se comparadas com as demais classes.
- **Lavoura:** áreas de cultivo manejado, na bacia do estudo principalmente arroz. Apresentam técnicas de manejo da drenagem e irrigação que tornam a resposta hidrológica em grande escala significativamente diferente dos “Campos”, mesmo se a cobertura vegetal e solo forem semelhantes.

- **Água:** todos os corpos hídricos consolidados com baixa variação de área alagada. Na bacia do Rio Gravataí consistem principalmente de açudes e reservatórios construídos.
- **Banhado/Campo Úmido:** os banhados apresentam características hidrológicas diferenciadas dos corpos hídricos consolidados e foram tratados a parte.
- **Solo:** solo exposto sem cobertura vegetal.
- **Mista:** algumas sub-bacias analisadas podem apresentar características que as fazem pertencer a 2 ou mais classes hidrológicas e assim os coeficientes hidrológicos foram ponderados entre o percentual de cada uma.

A partir da análise do mapa de solos do IBGE foram determinados que apenas as classes hidrológicas C e D existem no contexto desta bacia.

Baseados na classificação do uso do solo realizada no Plano de Bacia (2011) e dados de imagem aerofotogramétricos realizados neste estudo foram classificados os tipos de uso de solo para a bacia.

A partir do cruzamento destas duas informações foram determinados os coeficientes CN e a taxa de impermeabilização de cada sub-bacia de acordo com o Quadro 52.

Quadro 52 - Coeficiente CN e Impermeabilização para as diferentes classes de uso de solo

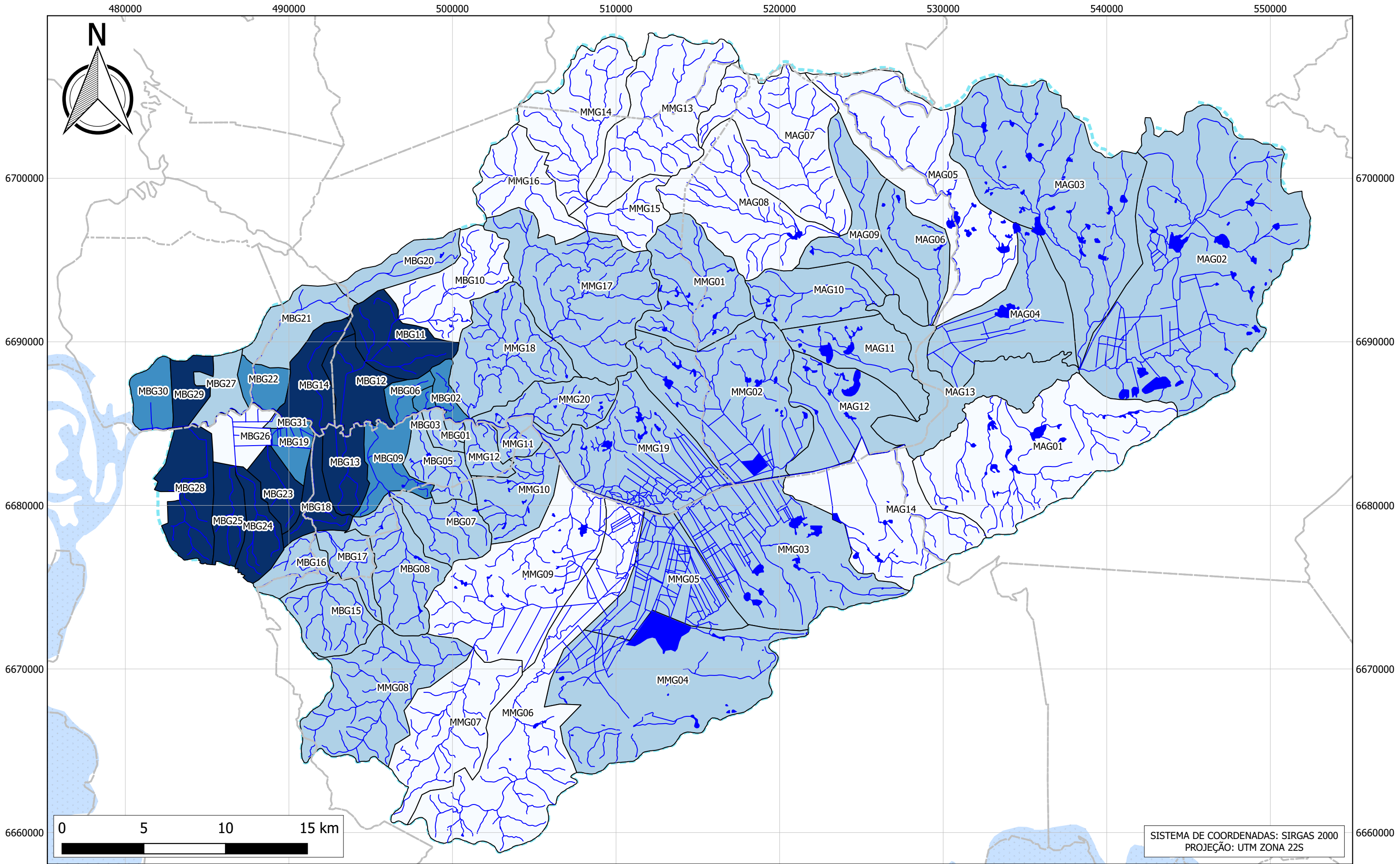
Classificação	CN		Impermeabilização
	C	D	
Área Urbanizada de Baixa Densidade	90	92	40%
Área Urbanizada de Alta Densidade	94	95	50%
Área Industrial	74	80	30%
Mata/Reflorestamento	70	77	0%
Campo	77	77	0%
Lavoura	70	77	2%
Solo	50	60	
Água	-	-	0%
Banhado/Campo Úmido	94	94	0%

Adaptado de Urban Hydrology for Small Watersheds (USDA, 1986).

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 58 mostra o coeficiente CN final adotado e a Figura 59 mostra impermeabilização adotada, respectivamente.

Nas áreas urbanas onde o Plano Diretor indica valores máximos estes serão adotados para representar as situações futuras e elaboração de cenários.







 Limite da Bacia

 Limites Municipais

 Hidrografia

Coefficiente CN

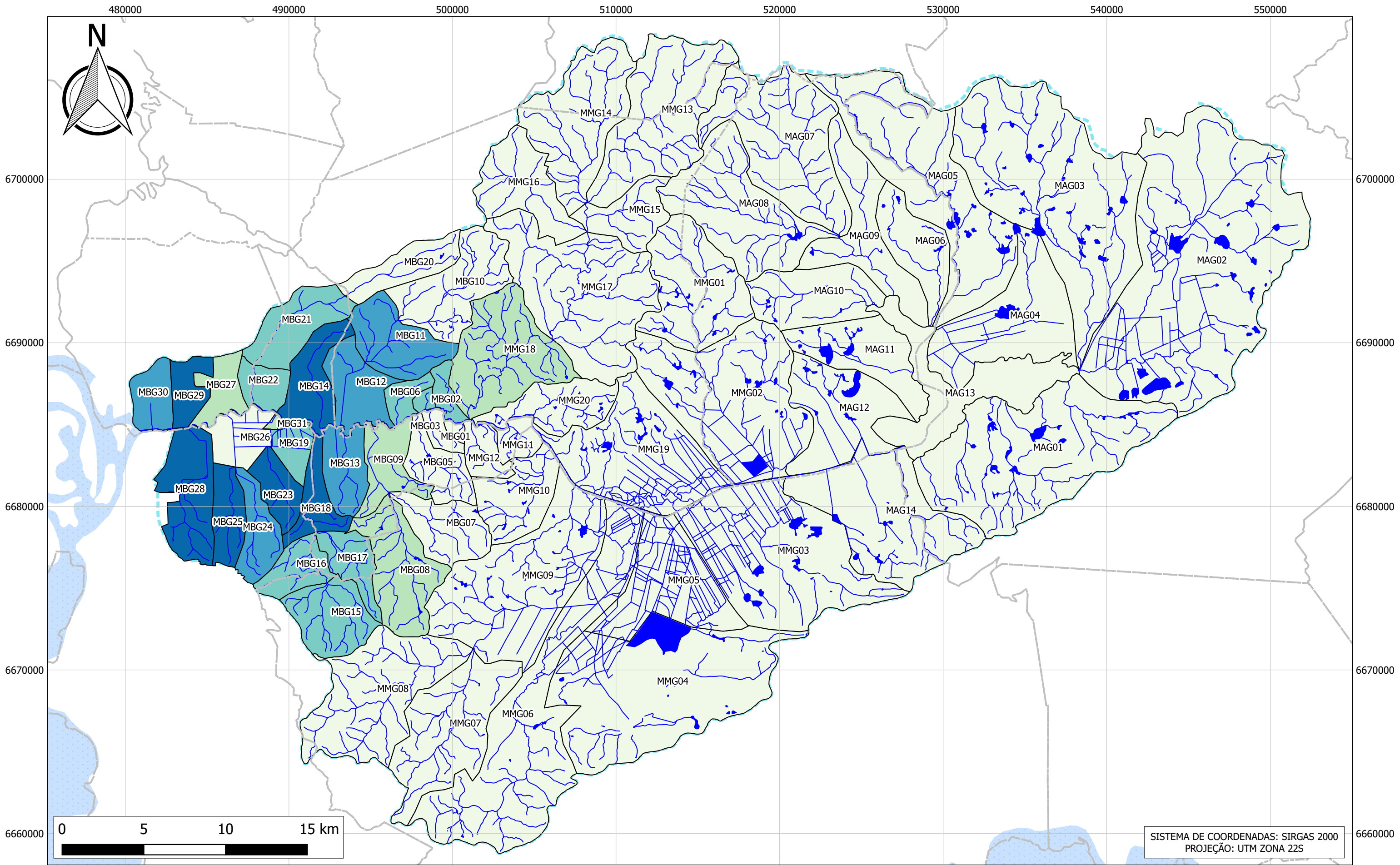
	<70
	70 - 80
	80 - 85
	>85



Escala:
GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA58: Classificação do coeficiente CN para as sub-bacias do modelo.







 Limite da Bacia  Limites Municipais  Hidrografia

Impermeabilização (%)
 <5%  5 - 10%  10 - 20%  20 - 30%  >30%



METROPLAN

Escala:
GRÁFICA

ESTUDO DE ALTERNATIVAS E PROJETOS PARA MINIMIZAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS E ESTIAGEM NA BACIA DO RIO GRAVATAÍ

FIGURA59: Percentual de impermeabilização na bacia do Gravataí.

7.4.2 Escoamento Superficial

Os modelos hidrológicos de simulação de eventos de cheia e contínuo de avaliação de períodos de estiagem utilizam métodos distintos para avaliação do escoamento superficial:

- Simulação de Eventos de Cheias: Método *SCS Curve Number*;
- Simulação Contínua para Avaliação de Estiagem: Método *Soil Moisture Accounting*

✓ Para o modelo de Eventos de Cheias (SCS Curve Number)

A função de geração de descarga líquida do modelo hidrológico HEC-HMS, adotada em toda a bacia do Rio Gravataí, e destinada à geração de chuvas efetivas foi a preconizada pelo Soil Conservation Service (SCS).

Essa função requer a calibração de um parâmetro CN (Curve Number), associado ao tipo e ao uso do solo, bem como ao estado inicial de umidade do solo, conforme o equacionamento subsequente:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

$$I_a = 0,2.S$$

$$P_e = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Onde:

Pe: precipitação efetiva ou escoamento Superficial (mm);

P: precipitação total (mm);

S: capacidade máxima de infiltração (mm);

Ia: abstrações iniciais (mm);

CN: parâmetro curve number.

Assim, para a determinação deste parâmetro distribuído em toda a bacia foram relacionados os mapas de uso e classificação dos solos.

✓ Para o modelo Contínuo (Soil Moisture Accounting – SMA)

O Método Soil Moisture Accounting usa 3 camadas para representar a dinâmica do movimento de água no solo. Este método permite a variação de mudança de umidade no solo durante períodos de precipitação através da extração hídrica preconizada no método de Cobertura Vegetal, explicitado a seguir:

A camada superficial armazena a precipitação e permite que tal infiltre no solo no período seguinte. As camadas representadas no solo consistem de armazenamento no solo, água subsuperficial superior e água subsuperficial inferior.

A camada de solo é dividida em 2 parcelas: armazenamento por tensão e por gravidade. Este método é apropriado para longos períodos de simulação contínua pois considera a variação de armazenamento no solo.

A Figura 60 apresenta um esquema simplificado do método Soil Moisture Accounting (SMA) e sua interação com os demais processos hidrológicos da bacia.

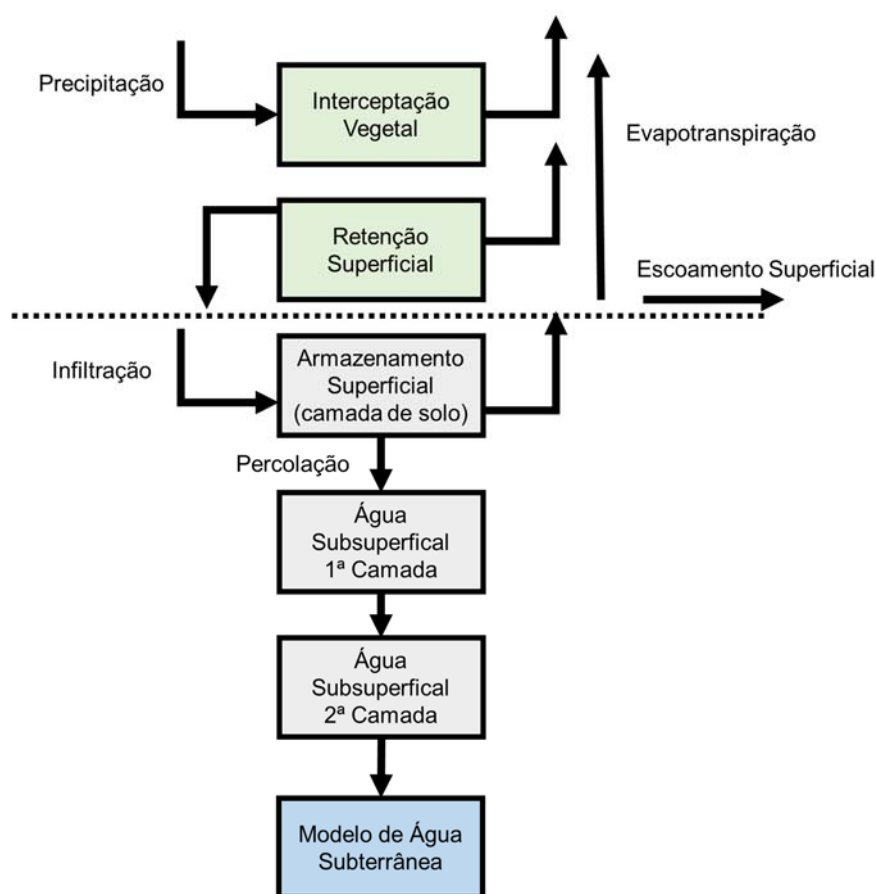


Figura 60 - Representação simplificada do Método SMA.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

7.4.3 Hidrogramas

O hidrograma unitário sintético utilizado neste estudo foi o estimado pelo Método de Snyder, na versão HEC-HMS, que depende do tempo de retardamento, da vazão de pico e da duração total do escoamento, ou seja, para a definição da base do hidrograma.

Com o módulo HEC-HMS foi possível espacializar as informações fluviométricas na bacia, ou seja, obter as vazões nos pontos de interesse.

Em locais que não dispunham de estações fluviométricas, por exemplo, foram obtidas as vazões de saída de cada sub-bacia.

O tempo de retardamento (t_p) é definido como o tempo entre o centro de massa da precipitação efetiva (escoamento superficial direto) e o pico do hidrograma e está representado na equação a seguir:

$$t_p = C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0,3}$$

Onde:

t_p : tempo de retardamento (h);

L : comprimento do rio principal (km);

L_c : distância do centro de gravidade da bacia (km), medido ao longo do curso principal, desde a seção considerada até a projeção do centro de gravidade sobre o rio;

C_t : coeficiente numérico, variável entre 1,8 e 2,2, sendo os menores valores para bacias com grandes inclinações.

7.4.4 Propagação de Vazões

O método selecionado para a propagação de vazões é o da onda cinemática. Este método resolve a equação da continuidade em conjunto com uma equação simplificada de conservação de quantidade de momento em cada trecho do modelo.

Este método também permite que a vazão e área hidráulica varie espacialmente e temporalmente no trecho modelado, possibilitando desta forma, a representação de hidrogramas com picos valores atenuados e retardos no tempo de ocorrência.

Neste modelo as equações de continuidade e quantidade de movimento são resolvidas na forma de equações diferenciais parciais: equação da continuidade ou de conservação de massa e equação da conservação de momento:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q \cdot V}{\partial x} + g \cdot A_T \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Onde:

Q é a vazão;

t é o tempo;

A_T é a área da seção;

q_1 é o aporte lateral de vazão;

z é a cota (ou nível);

V é a velocidade;

g é a aceleração da gravidade;

S_f é a declividade da linha de energia;

x é a distância ao longo do rio.

A resolução das equações exige que as condições do escoamento sejam conhecidas nos extremos do problema. Como condições de contorno de montante podem ser inseridas séries de vazão ou de nível na seção mais a montante.

As condições de contorno de jusante podem ser vazões, níveis, ou uma relação entre vazões e níveis tal como uma curva-chave ou a equação de Manning para uma dada declividade da linha d'água.

Em termos operacionais, apresenta-se, a seguir, o equacionamento e a metodologia deste modelo, sendo apresentadas as funcionalidades e rotinas utilizadas. Mais detalhes sobre o programa podem ser observados nos manuais do mesmo (HEC-RAS, 2010).

Considerando duas seções consecutivas em um canal, a expressão da conservação da energia utilizada no programa HEC-RAS é a representada pela Equação a seguir:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e$$

Onde:

Y₁ e **Y₂** são as profundidades da água nas seções transversais;

Z₁ e **Z₂** são as cotas de fundo no canal principal;

V₁ e **V₂** são as velocidades médias (vazão total / área total de escoamento);

α₁ e **α₂** são os coeficientes de ponderação da velocidade;

g é aceleração gravitacional;

h_e é a perda de energia.

A perda de energia é composta de uma perda linear e uma perda singular, que é calculada pelo comprimento do trecho ponderado pela vazão. A perda de carga ainda é calculada individualmente para o canal principal e as margens (planícies de inundação).

7.4.5 Evapotranspiração

A Evapotranspiração será computada para cada sub-bacia através de valores estimados pelo método de Penman (ver capítulo de Caracterização Climatológica).

7.4.6 Interceptação

A interceptação é a retenção de parcela da precipitação acima da superfície do solo, tal que esta não infiltra ou transforma-se em escoamento superficial.

A interceptação pode ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento.

Este volume é retido e, por evaporação, retorna à atmosfera. A interceptação funciona como um reservatório que pode reduzir ou retardar os picos de hidrograma de cheias.

Na interceptação vegetal o mecanismo de retenção da precipitação consiste no armazenamento de chuvas nas árvores, arbustos ou demais plantas com folhas de tamanho significativo.

A metodologia a ser usada para a representação da interceptação é a de Dynamic Canopy onde o volume acumulado nos reservatórios das folhas é preenchido ou deplecionado de acordo com a capacidade máxima, precipitação e evapotranspiração no período.

A cobertura vegetal considerou uma variação temporal da capacidade de retenção de acordo com as características principais de cada sub-bacia. Foram definidas 3 variações mensais de capacidade de retenção: lavoura, mata/floresta e urbana (sem variação e valor mínimo). Tais variações consideraram a forma de cultura e crescimento do arroz (principal cultura da região) e da variação da capacidade foliar da mata nativa.

7.4.7 Escoamento de base

O escoamento de base, isto é, aquele produzido pela drenagem do aquífero subterrâneo, é aquele que consiste na produção de água durante as estações secas, desta forma, é fundamental para a determinação da estiagem na bacia.

O método utilizado será o de Reservatório Linear (Linear Reservoir Baseflow). Em tal método a infiltração calculada é computada como uma vazão de entrada em um reservatório linear. Este método conserva massa no contexto da bacia.

7.5 Caracterização dos Reservatórios

Existem 2 elementos hidrológicos dentro do modelo que foram representados por um componente de reservatório:

- Banhado Grande;
- Banhado dos Pachecos.

Para caracterização destes componentes é necessário no mínimo o conhecimento sobre:

- Curvas cota x volume
- Relação de cota x descarga no exutório.

O Banhado Grande recebe toda a contribuição do escoamento superficial e subsuperficial da região do Alto Gravataí, perfazendo 13 sub-bacias modeladas. O Banhado dos Pachecos recebe apenas a contribuição de uma 1 sub-bacia no trecho alto do Médio Gravataí, dentro do município do Gravataí.

Em termos hidrológicos e quanto a contribuição de vazão à bacia do Gravataí o Banhado Grande é significativamente mais importante do que o Banhado dos Pachecos.

Segundo a análise de imagens realizada por Leite (2011), “Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação no Banhado Grande, Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS” a área deste varia entre 47,6 km² e 58,5 km².

Esta área contempla apenas a área considerada como reservatório para fins de modelagem hidráulica, não representando a área da APA Banhado Grande, que é significativamente maior (136 km²).

Sua profundidade foi estimada a partir da variação de níveis registrados na estação 87398700 (Banhado Grande) que apresentou níveis variando entre 0,51 m e 3,68 m (referência de nível desconhecida). A relação cota x área inserida no modelo contemplou estes 2 limites.

A área do Banhado dos Pachecos foi considerada, de acordo com os dados obtidos no Plano de Bacia do Rio Gravataí e análise de imagens de satélites de vários períodos, foi considerada entre 4,9 km² e 9,1 km². Esta área contempla somente a área considerada como reservatório, não a área do Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos; ou seja: 25 km².

A profundidade máxima da área alagável do Banhado dos Pachecos é desconhecida, mas através dos levantamentos topográficos existentes estima-se que seja de até 2 metros. Da mesma forma a relação cota x área inserida no modelo contemplou estes 2 limites.

O elemento “Reservatório” no modelo HEC-HMS demanda um extravasor que controla a forma de descarga do volume que não pode ser contido no reservatório ao restante do modelo.

O Banhado Grande e o Banhado dos Pachecos apresentam tipologias distintas de descarregador:

- Banhado Grande: um canal principal de largura suficiente para suportar maior parte das vazões e, no caso de cheias, uma seção hidráulica maior, representando a planície de inundação.
- Banhado dos Pachecos: extravasores de fundo que representam as tomadas d'água dos produtos a jusante do reservatório.

A determinação das características hidráulicas destes extravasores será apresentada na seção a seguir onde será tratada a calibração do modelo.

7.6 Espacialização da Precipitação nas Sub-bacias

A definição das áreas de influência de cada posto pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Gravataí foi realizada pelo método dos Polígonos de Thiessen no período com dados pluviométricos entre jan/1965 e maio/2016.

Atribuiu-se assim, para cada dia deste período e para cada sub-bacia, a precipitação correspondente do polígono do posto que contivesse o centroide da sub-bacia.

As falhas de dados de precipitação não foram preenchidas, isto foi contornado gerando-se para cada combinação de disponibilidade de dados uma disposição distinta dos polígonos.

Visto que a região apresenta grande homogeneidade de precipitações, principalmente para as mais intensas, que são geradas por eventos frontais com grande abrangência e uniformidade.

Ainda, devido às sub-bacias terem em média áreas de drenagem da ordem de 30 km² a variabilidade espacial internamente a elas é pouco significativa, sendo aceitável adotar o valor da precipitação do posto mais próximo.

De modo a avaliar a influência de cada posto na composição da série histórica espacializada na bacia do Rio Gravataí foi extraído o percentual da contribuição de cada posto pluviométrico ponderado pela área das sub-bacias (ver Quadro 53).

Estes índices expressam a influência espacial e temporal (disponibilidade de dados), e foram obtidos por meio da seguinte equação:

$$PTP_i = \sum_k^n \frac{A_k}{A} \cdot \frac{N_{k,i}}{N_T}$$

Onde:

PTP_i é o percentual de influência do posto i;

A_k é a área da sub-bacia k;

A é a área da Bacia do Rio Gravataí;

N_{k,i} é número de dias que a bacia k adotou a precipitação do posto i

N_T é o número total de registros na disponibilidade combinadas dos postos.

Quadro 53 - Influência de cada posto pluviométrico na geração da série espacializada

Código	Nome do Posto	Longitude UTM (m)	Latitude UTM (m)	% de influência do posto
2950059	AGROPECUÁRIA ANJÚ	524881	6701501	5,3%
2950062	FAZ. N. S. DA CONCEIÇÃO	538648	6685487	3,6%
2950016	GLORINHA	520385	6694185	25,1%
3050008	LOMBAS	528733	6676006	6,5%
3051011	PORTO ALEGRE	483291	6675261	29,0%
2951028	SAPUCAIA DO SUL	484433	6701149	7,5%
2950031	STO ANTÔNIO	546245	6701310	0,0%
2950060	STO ANTÔNIO DA PATRULHA	543609	6699782	22,9%

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Nota-se que os postos Glorinha, Porto Alegre e Sto. Antônio da Patrulha foram os que mais influenciaram na geração das series de precipitação para as sub-bacias da Bacia do Rio Gravataí, demonstrando que estes postos são os que apresentam maior disponibilidade temporal de dados e que estão mais próximos na maior parte do tempo dos centroides das sub-bacias.

7.7 Calibração do Modelo

Para a realização da calibração do modelo hidrológico a resposta em pontos de controle específicos foi comparada com os dados fluviométricos observados.

O modelo é considerado calibrado quando a dispersão entre os resultados observados e os resultados simulados é a menor possível.

Metodologias distintas foram utilizadas para a calibração e aferição dos resultados quanto a o objetivo de se caracterizar os períodos de estiagem e eventos de cheias.

7.7.1 Calibração e Validação do Modelo para Estiagem

A definição do período de calibração e verificação do modelo hidrológico para avaliação da estiagem foi feita com base na disponibilidade de dados de vazão, que são bastante limitados.

Dessa forma, para cada uma das quatro estações fluviométricas utilizadas, definiu-se que a primeira metade dos dados observados fosse usada para a validação, e a segunda metade dos dados fosse usado para calibração.

Os procedimentos utilizados para calibração do modelo envolvem análises de ajuste dos hidrogramas observados e simulados em conjunto com medidas de desempenho quantitativas dos ajustes.

Para a avaliação quantitativa dos ajustes foi utilizado o indicador de eficiência Nash-Sutcliffe das vazões, o coeficiente representa o quanto os resultados obtidos com o modelo são melhores que um modelo alternativo representado pelas vazões médias de longo período observadas.

Os valores do coeficiente variam entre menos infinito e 1, valores próximos a 1 indicam que os resultados do modelo são muito superiores à média de longo período, valores próximos a zero indicam que os resultados são parecidos com a média, enquanto que valores negativos indicam que o modelo é pior do que a mesma.

O coeficiente NS apresenta um comportamento na qual é dado maior valor às vazões de pico, portanto, ajustar o modelo somente com base neste parâmetro pode representar de forma bastante equivocada as vazões de recessão do rio.

Assim, quando busca-se calibrar o modelo para os períodos de estiagem, o estimador pode ser utilizado com dados de vazão transformados por procedimentos como o logaritmo das vazões (NS Log), esse procedimento permite que o coeficiente analise de forma mais efetiva as vazões de recessão, sendo assim, menos sensível aos picos.

A equação a seguir apresenta o coeficiente.

$$NS\ Log = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\log(QC_i) - \log(QO_i))^2}{\sum_{i=1}^N (\log(QO_i) - \log(QO_{mLog}))^2}$$

A avaliação do ajuste foi feita por meio da curva de permanência das vazões, onde buscou-se ajustar as vazões mínimas de permanência Q99%, Q95%, Q90%, Q85%, representativas dos períodos de estiagem.

Os períodos de calibração e validação utilizados foram específicos a cada estação analisada e está indicado no texto a seguir. As simulações foram realizadas com um passo de tempo de 1 dia.

✓ Estação Passo das Canoas Auxiliar

A Estação Passo das Canoas Auxiliar está localizada no trecho baixo-médio da bacia, na calha do Rio Gravataí, sua área de contribuição corresponde a 70,5% da área da bacia. É o ponto de controle mais importante para a calibração, pois se encontra na calha principal do Gravataí e apresenta a maior área de drenagem.

A análise do estimador estatístico NSlog foi feita para o período de calibração e o período de validação, o período de calibração usado foi de 01/01/2000 até 31/12/2008, e o período de validação foi de 01/01/2009 até 31/03/2016.

O estimador obtido para a calibração foi de 0,74, e o estimador obtido para o período de validação foi de 0,67. Considerando ambos em conjunto o estimador foi de 0,72. Os resultados obtidos para esta estação foram considerados satisfatórios.

A Figura 61 apresenta as séries simuladas e observadas na estação e a Figura 62 apresenta a curva de permanência (trecho inferior) destas.

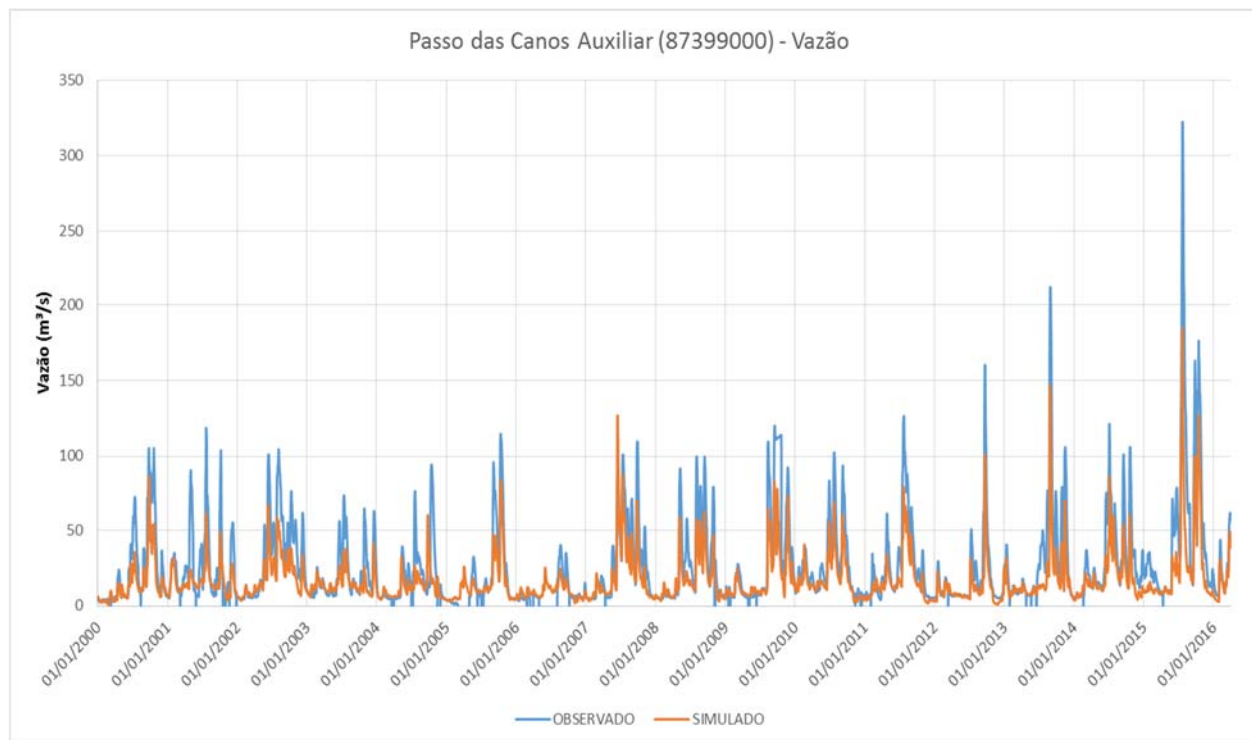


Figura 61 - Passo das Canoas Auxiliar – séries simuladas e observadas (2000 a 2016)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

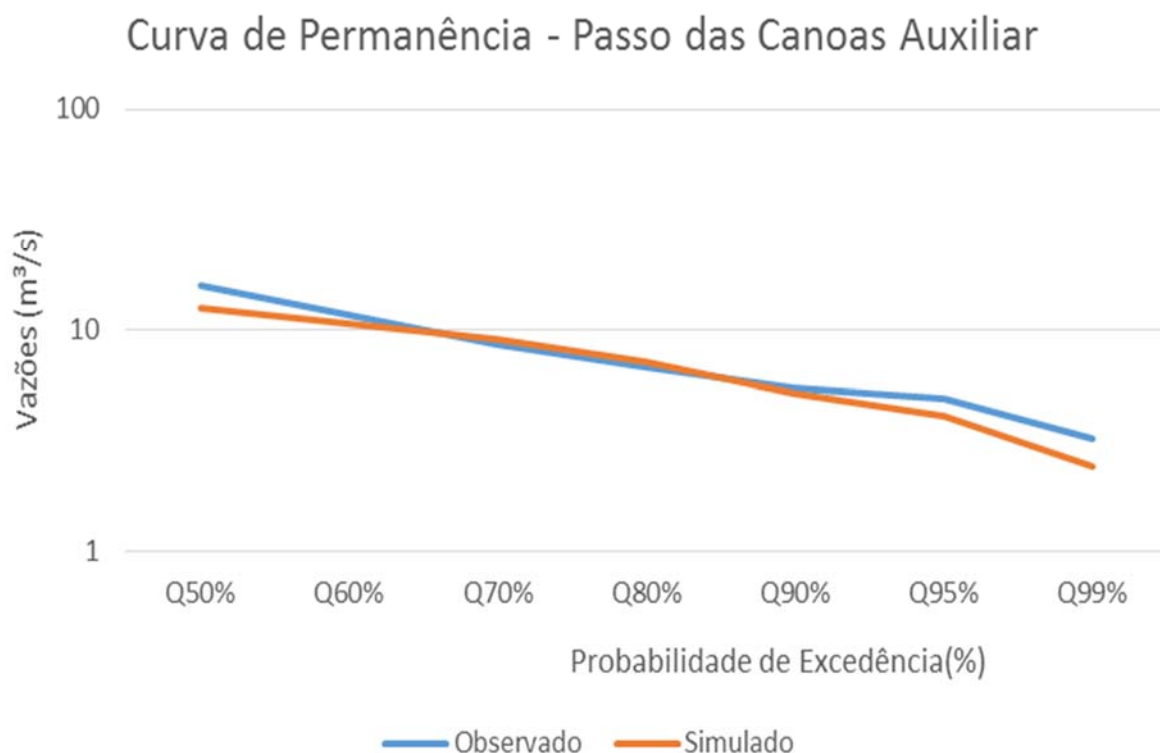


Figura 62 - Passo das Canoas Auxiliar – curva de permanência
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

✓ Estação Passo Grande

A Estação Passo Grande está localizada na parte alta do médio da bacia, em tributário do Rio Gravataí, sua área de contribuição corresponde apenas a 3,4% da bacia e, por estes motivos, possui importância secundária.

A análise do estimador estatístico NSlog foi feita para o período de calibração e o período de validação, o período de calibração usado foi de 16/05/2009 até 31/12/2013, e o período de validação foi de 01/01/2014 até 31/03/2016.

O estimador obtido para a calibração foi de 0,68, e o estimador obtido para o período de validação foi de 0,67.

Considerando ambos em conjunto o estimador foi de 0,69. Os resultados obtidos para esta estação foram considerados satisfatórios.

A Figura 63 apresenta as séries simuladas e observadas na estação e a Figura 64 apresenta a curva de permanência (trecho inferior) destas.

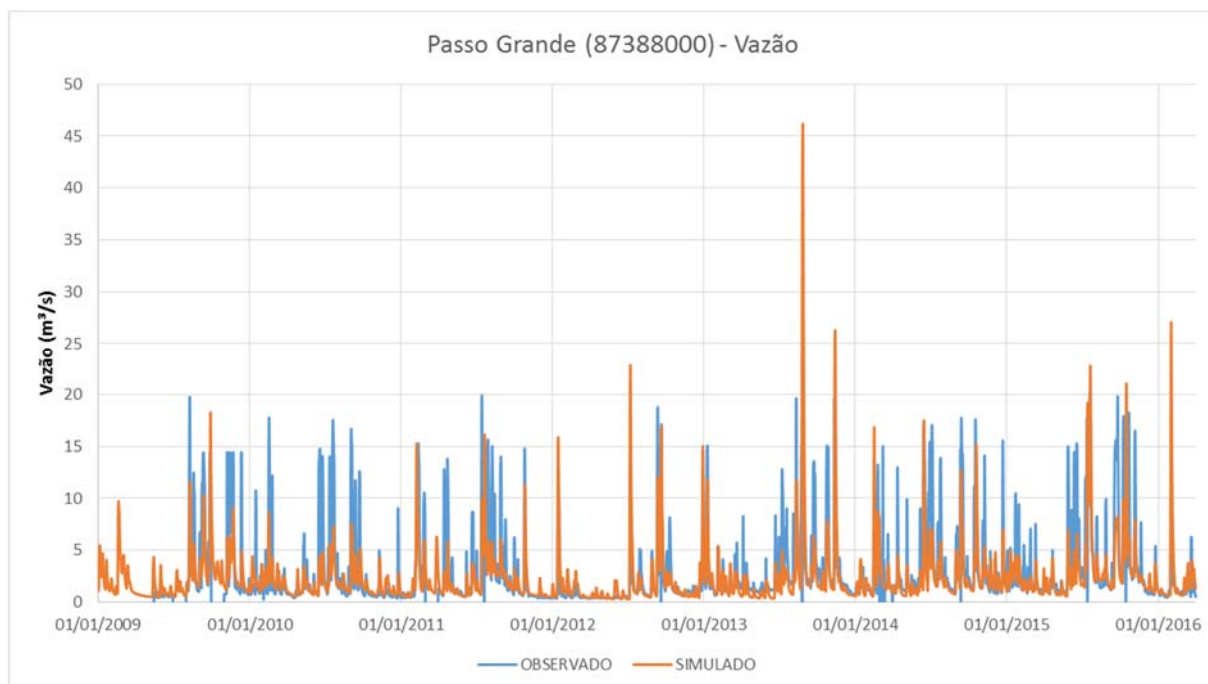


Figura 63 - Passo Grande – séries simuladas e observadas (2000 a 2016)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

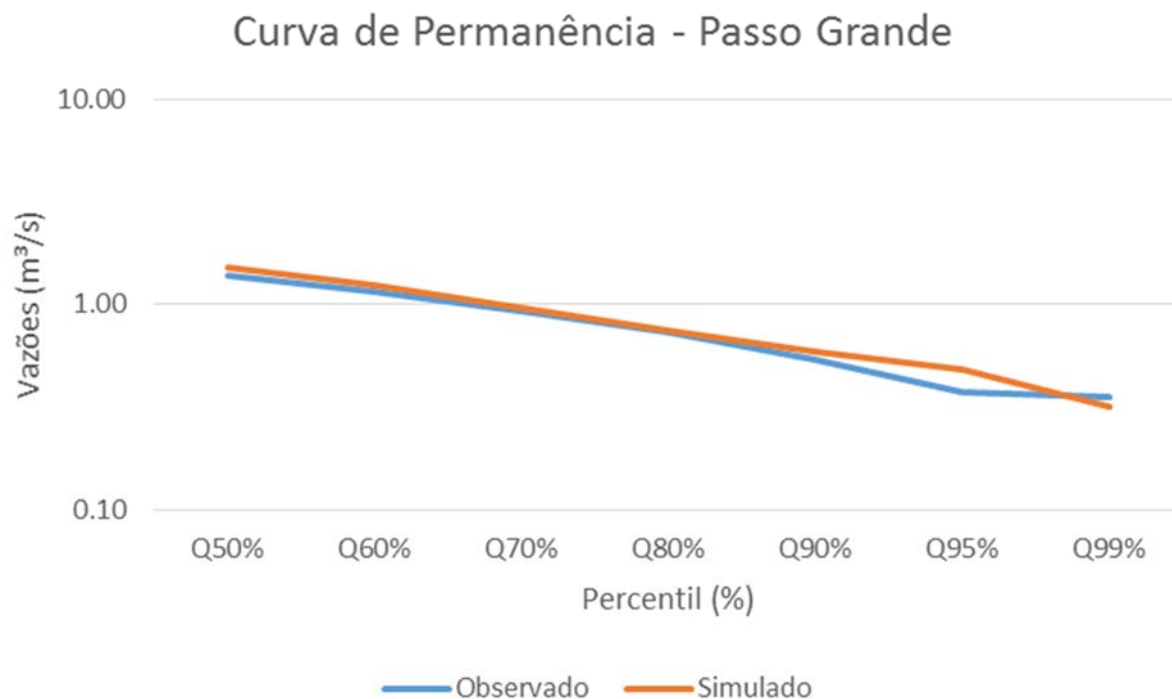


Figura 64 - Passo Grande – curva de permanência
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

✓ **Estação Cerâmica Cherubini**

A Estação Cerâmica Cherubini está localizada a jusante da Estação Passo Grande, em tributário do Rio Gravataí, sua área de contribuição corresponde apenas a 6,7% da bacia.

A análise do estimador estatístico NSlog foi feita somente para um pequeno período da série, uma vez que os dados observados possuem muitas falhas.

No período entre 26/05/2000 e 28/11/2003 o estimador obtido para a calibração foi de 0,62, que mostra que a calibração obteve resultados coerentes.

A Figura 65 apresenta as séries simuladas e observadas na estação e a Figura 66 apresenta a curva de permanência (trecho inferior) destas.

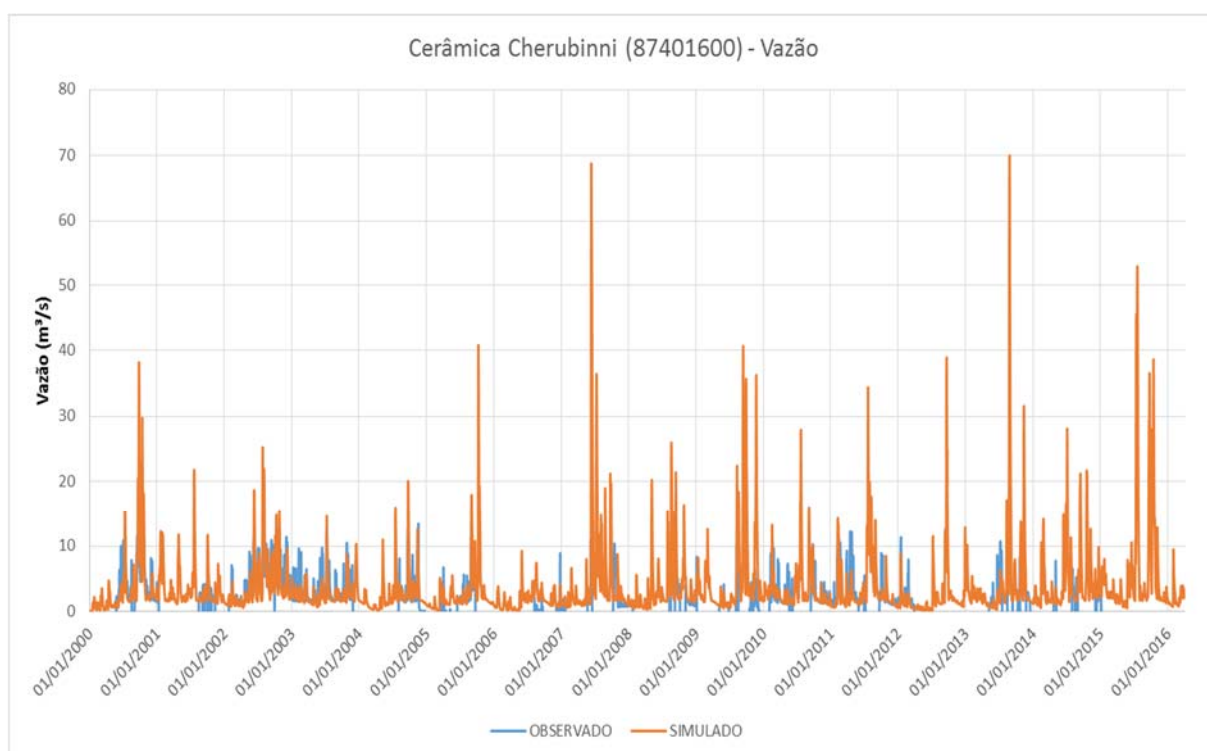


Figura 65 - Cerâmica Cherubini – séries simuladas e observadas (2000 a 2016)
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

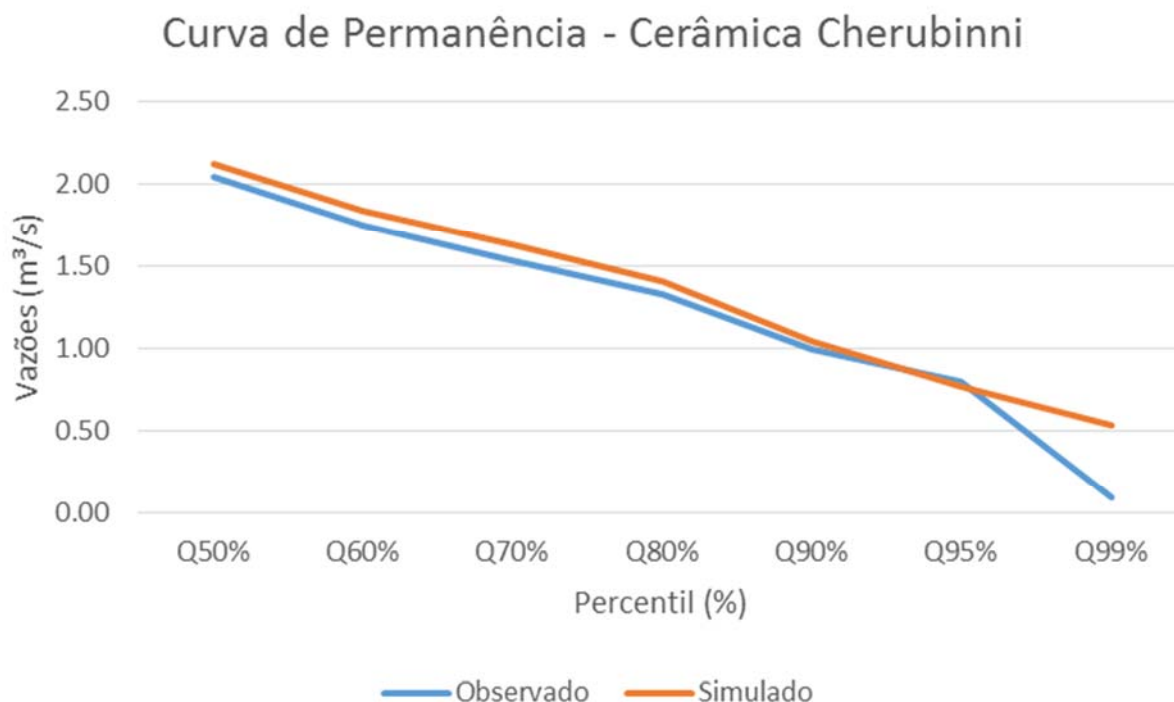


Figura 66 - Cerâmica Cherubini – curva de permanência
 (Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

7.7.1 Calibração e Validação do Modelo para as Eventos de Cheia

A calibração do modelo de cheia foi realizada através da seleção dos eventos de cheias mais importantes dentro do período de análise (2000 a 2016). Para cada uma das 3 estações fluviométricas analisadas foram selecionados 3 períodos onde tenham ocorrido os maiores deflúvios.

O período com a maior vazão de pico foi selecionado como série de calibração e os demais foram indicados como períodos de aferição. O passo de tempo utilizado no modelo foi de 1 dia.

Os seguintes períodos foram selecionados (o período em destaque indica a vazão de pico):

Passo das Canoas Auxiliar:

- **17/06/2015 a 31/08/2015** -
- 01/08/2013 a 01/09/2012 -
- 01/09/2012 a 01/11/2012 -

Passo Grande:

- **01/07/2011 a 21/07/2011** -
- 01/09/2014 a 26/09/2014 -
- 06/09/2012 a 17/09/2012 -

Cerâmica Cherubini

- **16/08/2013 a 13/09/2013** -
- 01/07/2002 a 01/09/2002 -
- 01/11/2004 a 21/11/2004 -

Os procedimentos utilizados para calibração do modelo envolvem análises de ajuste dos hidrogramas observados e simulados em conjunto com medidas de desempenho quantitativas dos ajustes.

Para a avaliação quantitativa dos ajustes foi utilizado o indicador de eficiência Nash-Sutcliffe das vazões, o coeficiente representa o quanto os resultados obtidos com o modelo são melhores que um modelo alternativo representado pelas vazões médias de longo período observadas.

Os valores do coeficiente variam entre menos infinito e 1(um), valores próximos a 1(um) indicam que os resultados do modelo são muito superiores a média de longo período, valores próximos a zero indicam que os resultados são parecidos com a média, enquanto que valores negativos indicam que o modelo é pior do que a média.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (QC_i - QO_i)^2}{\sum_{i=1}^N (QO_i - QO_m)^2}$$

Os Quadro 54, Quadro 55 e Quadro 56 apresentam a qualidade dos ajustes realizados para calibração do modelo de eventos de cheias, para as 3 estações analisadas.

Quadro 54 - Passo das Canoas Auxiliar - Qualidade do ajuste para eventos selecionados

Período	Máx (simulado)	Máx (observado)	ΔQ	%	NS
17/06/2015 a 31/08/2015	311	322	-10,6	-3%	0,90
01/08/2013 a 01/09/2012	251	211	39,8	19%	0,69
01/09/2012 a 01/11/2012	171	156	15,8	10%	-0,31

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 55 - Passo Grande - Qualidade do ajuste para eventos selecionados

Período	Máx (simulado)	Máx (observado)	ΔQ	%	NS
01/07/2011 a 21/07/2011	15,3	17,1	-1,8	-11%	0,66
01/09/2014 a 26/09/2014	16,8	16,4	0,4	2%	0,66
06/09/2012 a 17/09/2012	16,8	16,2	0,6	4%	0,91

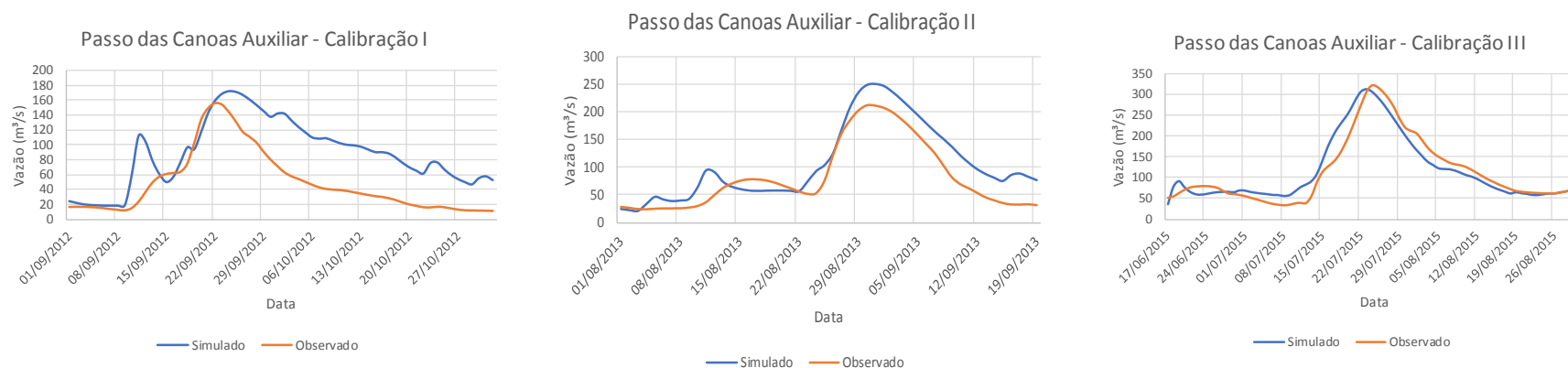
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 56 - Cerâmica Cherubini - Qualidade do ajuste para eventos selecionados

Período	Máx (simulado)	Máx (observado)	ΔQ	%	NS
16/08/2013 a 13/09/2013	18,7	15,7	3,0	19%	0,73
01/07/2002 a 01/09/2002	20,3	12,4	7,9	64%	0,25
01/11/2004 a 21/11/2004	19,1	11,8	7,3	62%	-0,37

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

As Figura 67, Figura 68 e Figura 69 apresentam os eventos de chuvas observados e simulados.



igura 67 - Passo das Canoas Auxiliar – Resultados da calibração.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

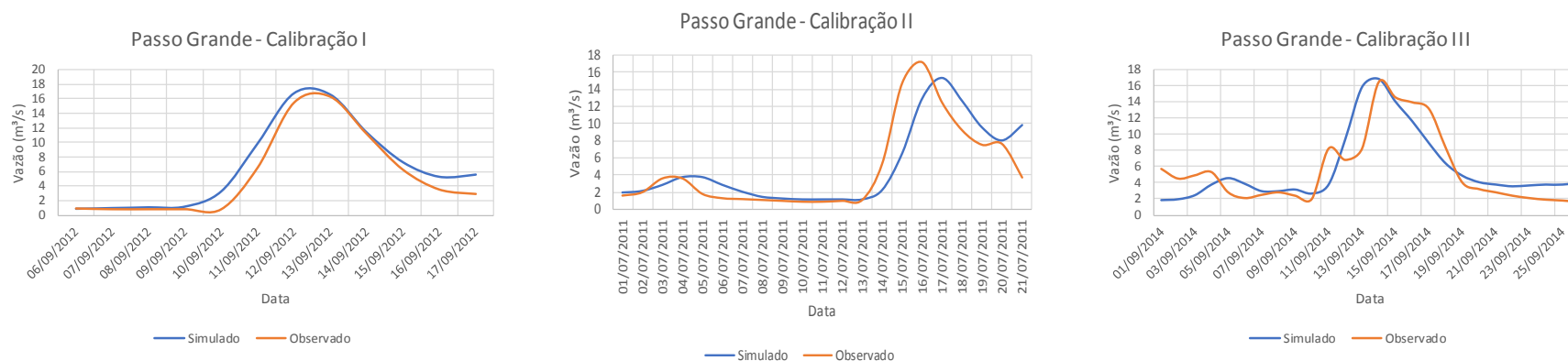
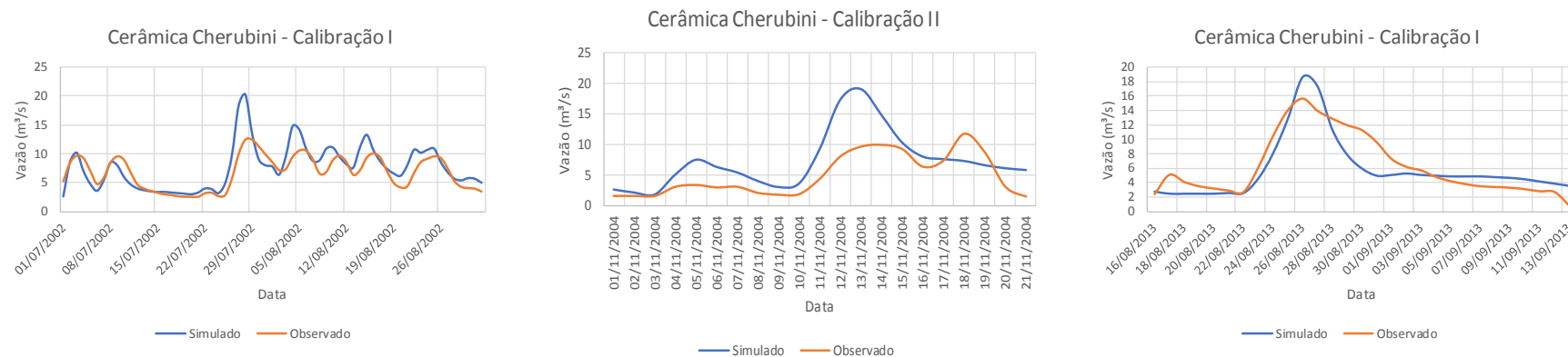


Figura 68 - Passo Grande – Resultados da calibração.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)



*Figura 69 - Cerâmica Cherubini – Resultados da calibração.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)*

8 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados dos estudos hidrológicos referente aos períodos de estiagem e eventos de cheias na Bacia do Rio Gravataí.

Conforme já citado anteriormente a mudança temporal das condições hidrológicas da bacia que ocorre devido as alterações do uso, urbanização, alteração das práticas agrícolas, alteração da ocupação urbanas, etc, remetem para que se deixe claro o que representam os resultados obtidos no trabalho.

Os resultados obtidos correspondem a resposta hidrológica da bacia no tempo e espaço (hidrogramas) para eventos de precipitação considerando as condições hidrológicas existentes atualmente na área.

De tal maneira que a distribuição de vazões observadas em longo período na bacia do Gravataí e em cada ponto de controle poderá ser distinta das vazões-resultado da simulação. Assim, os dados levantados e obtidos neste estudo são consistentes, mas deve-se levar em conta as observações levantadas acima.

O período de simulação utilizado para reprodução das séries fluviométricas (simulação contínua) foi de 01/01/1965 até 31/03/2016, consistindo de 50 anos de dados. Isto permite a extrapolação estatística com segurança até períodos de 100 anos de tempo de retorno.

8.1 Disponibilidade Hídrica

8.1.1 Vazões de Referência

Para caracterizar as condições de garantia de água em um certo manancial é comumente utilizado o instrumento de vazão de referência. As vazões mínimas aplicadas como vazões de referência são valores de elevada permanência no tempo, calculadas através de forma estatística a partir de séries de dados observados ou simulados.

Os critérios para determinação de vazões mínimas mais utilizados são as vazões Q_{90} ou Q_{95} que representam, respectivamente, as vazões que são superadas 90% ou 95% do tempo em certo trecho do manancial.

A definição da vazão de referência a ser aplicada depende da garantia de atendimento que se deseja considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia.

A resolução do CONAMA 357/2005 estabelece os critérios de classificação dos rios para enquadramento para uma vazão de referência. A partir desta vazão é definida a vazão máxima outorgável, ou seja, a máxima vazão que pode ser retirada de certo trecho de rio em um determinado instante.

Esta vazão é regida por leis estaduais ou de acordo com os Comitês de Bacias.

Para referência, o Quadro 57 apresenta os padrões estaduais utilizados para alguns estados Brasileiros.

Quadro 57 - Legislação referente a vazões máximas outorgáveis por estado

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável
SEM DEFINIÇÃO DE VAZÃO REFERENCIAL	
SEMA/RS	Não está definido; os planos de bacia o farão.
APAC/PE	Depende do risco que o requerente pode assumir
VAZÃO REFERENCIAL Q90 %	
NATURATINS/ TO	75% Q90% por bacia. Individualmente o máximo é 25% Q90%. Para barragens de regularização, 90% vazão regularizada com 90% de garantia. Em mananciais intermitentes até 95% Q90% nos meses de escoamento.
INEMA/BA	80% Q90%. 20% para cada usuário individual
SRH/CE	90% Q90%
AAGISA/PB	90% Q90. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.
SERHID/RN	90% Q90%
SEPLANTEC/ SE	100% Q90%. 30% Q90% para cada usuário individua
VAZÃO REFERENCIAL Q95 %	
ANA	70% Q95% podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual
SEMARH/GO	70% Q95%
SUDERHSA/ PR	50% Q95%
SEMAR/PI	80% Q95% (rios) e 80% Q90% (açudes)
VAZÃO REFERENCIAL Q7,10	
IGAM/MG	Captações a fio de água: 50% Q7,10, com vazão residual de 50% Q7,10. Captações em reservatórios: podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da Q7,10 durante todo o tempo
DAEE/SP	50% da Q7,10 por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% Q7,10
INEA/RJ	Definida nos Planos de Bacia Hidrográfica; para fins de cálculo de disponibilidade hídrica, de acordo com a Portaria SERLA n o . 567/2007, adota-se a Q7,10, sendo outorgado até 50% deste valor; a vazão ambiental mínima deve ser 50% da Q7,10

(Fonte: Seminário sobre outorga e alocação de água em bacias críticas - Lanna, 2015)

O Quadro 58 apresenta critérios definidos por alguns planos de bacia elaborados no estado do Rio Grande do Sul.

Os valores listados estão ordenados de acordo com a exigência sobre os recursos hídricos, de mais exigentes aos menos exigentes (menor vazão remanescente a maior vazão remanescente).

Quadro 58 - Critérios de vazão máxima outorgável no RS

Bacia Hidrográfica	Vazão máxima outorgável
GRAVATAÍ	Vazão de referência Q85
SINOS	70% da Q90
IBICUÍ	70% da Q90
CAMAQUÃ	60% da Q90
CAÍ	50% da Q90
SANTA MARIA	30 a 50% da Q90

(Fontes: Planos de Bacia do Rio Gravataí -2011, Rio dos Sinos -2014, Rio Ibicuí -2011, Camaquã-2016, Rio Caí -2011, Rio Santa Maria -2016)

A Resolução SEMA 91/2011 aprova critérios para o uso dos recursos hídricos e as vazões abaixo das quais a outorga será dispensada.

No caso do Rio Gravataí a outorga é dispensada enquanto não houver valores estabelecidos pelo Plano de Bacia ou em captações individuais até 0,1 l/s, onde não exista rede pública.

Embora não apontado no Plano de Bacia, segundo o DRH o valor de referência de vazão outorgável utilizado foi de 90% da Q90, um valor típico para uma bacia com alta demanda hídrica.

O valor máximo outorgável foi de 10.000 m³/ha (adequado às necessidades do arroz), com período máximo de 90 dias, ininterruptos. O Plano de Bacia preconiza a redução das áreas irrigadas em até 20%.

8.1.2 Demandas

O Capítulo 6 – Usos da Água apresentou as demandas hídricas no contexto da bacia do Gravataí, sua tipificação e distribuição temporal.

8.1.3 Disponibilidade

O Quadro 59 a seguir, apresenta as vazões médias diárias com probabilidade de excedência de 99%, 95%, 90%, 85%, 50% e a vazão específica para cada sub-bacia simulada.

Este quadro apresenta a capacidade de produção de vazão de cada uma das sub-bacias simuladas.

Quadro 59 - Probabilidade de excedência de vazões médias diárias, por sub-bacia do modelo.

Sub-bacia	Curva de Permanência				
	Qmed%	Q85%	Q90%	Q95%	Q99%
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
MAG01	0,388	0,009	0,005	0,002	0,000
MAG02	0,748	0,022	0,012	0,004	0,000
MAG03	0,488	0,009	0,005	0,002	0,000
MAG04	0,189	0,004	0,002	0,001	0,000
MAG05	0,332	0,005	0,002	0,000	0,000
MAG06	0,089	0,001	0,000	0,000	0,000
MAG07	0,724	0,150	0,129	0,105	0,068
MAG08	0,573	0,174	0,153	0,127	0,085
MAG09	0,380	0,110	0,096	0,079	0,051
MAG10	0,304	0,087	0,077	0,065	0,044
MAG11	0,093	0,002	0,001	0,000	0,000
MAG12	0,914	0,459	0,424	0,360	0,266
MAG13	1,571	0,747	0,685	0,589	0,452
MAG14	0,033	0,016	0,015	0,013	0,008
MBG01	0,116	0,056	0,051	0,044	0,029
MBG02	0,102	0,050	0,046	0,040	0,026
MBG03	0,041	0,020	0,018	0,016	0,010
MBG04	0,350	0,170	0,156	0,135	0,089
MBG05	0,138	0,071	0,065	0,056	0,037
MBG06	0,464	0,229	0,210	0,180	0,121
MBG07	0,728	0,353	0,323	0,279	0,185
MBG08	0,386	0,191	0,175	0,150	0,099
MBG09	0,679	0,352	0,323	0,285	0,221
MBG10	0,506	0,251	0,230	0,200	0,155
MBG11	0,430	0,202	0,183	0,160	0,107
MBG12	0,356	0,175	0,161	0,139	0,092
MBG13	0,436	0,209	0,191	0,165	0,111
MBG14	0,524	0,251	0,230	0,199	0,133
MBG15	0,295	0,145	0,133	0,115	0,075
MBG16	0,289	0,142	0,130	0,112	0,074
MBG17	0,278	0,137	0,126	0,108	0,071
MBG18	0,179	0,087	0,080	0,069	0,046
MBG19	0,352	0,180	0,165	0,144	0,112
MBG20	0,455	0,231	0,212	0,185	0,144
MBG21	0,207	0,102	0,093	0,080	0,053
MBG22	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066
MBG23	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066
MBG24	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066
MBG25	0,328	0,161	0,148	0,127	0,084
MBG26	0,298	0,147	0,134	0,116	0,076
MBG27	0,309	0,148	0,135	0,117	0,078
MBG28	0,620	0,321	0,294	0,252	0,167
MBG29	0,262	0,129	0,119	0,102	0,068
MBG30	0,025	0,013	0,012	0,010	0,007
MBG31	1,039	0,499	0,452	0,387	0,279
MMG01	1,978	0,975	0,893	0,762	0,561
MMG02	2,143	1,049	0,967	0,828	0,632
MMG03	1,036	0,505	0,467	0,400	0,299
MMG04	2,413	1,244	1,148	0,996	0,672
MMG05	1,212	0,589	0,544	0,475	0,321
MMG06	1,424	0,693	0,641	0,559	0,379
MMG07	1,941	0,960	0,886	0,775	0,526
MMG08	0,568	0,274	0,250	0,213	0,156
MMG09	0,171	0,081	0,075	0,064	0,047
MMG10	0,217	0,104	0,096	0,084	0,058
MMG11	1,079	0,212	0,156	0,091	0,018
MMG12	0,645	0,179	0,133	0,076	0,017
MMG13	0,236	0,065	0,048	0,028	0,006
MMG14	0,372	0,102	0,077	0,043	0,010
MMG15	0,978	0,270	0,200	0,114	0,025
MMG16	1,051	0,502	0,460	0,397	0,296
MMG17	1,424	0,751	0,695	0,593	0,430
MMG18	0,503	0,233	0,214	0,184	0,136
MMG19	0,388	0,009	0,005	0,002	0,000
MMG20	0,748	0,022	0,012	0,004	0,000

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O Quadro 60 apresenta as vazões médias diárias com probabilidade de excedência de 99%, 95%, 90%, 85%, e a vazão média para cada trecho simulado.

Tais valores são instrumento para implementação dos instrumentos de vazão de referência/vazão outorgável.

Os trechos com nomenclatura “RGXX” representam o Rio Gravataí, do exutório do Banhado Grande até o Exutório da bacia hidrográfica. Os trechos com nomenclatura “RAGXX”, “RMGXX”, “RBGXX” representam trechos simulados no Alto, Médio e Baixo Gravataí, respectivamente.

A vazão em um certo trecho é computada de acordo com todos os trechos e bacias contribuintes a montante e possíveis perdas de água no canal.

Quadro 60 - Probabilidade de excedência de vazões médias diárias, por trecho

Sub-bacia	Curva de Permanência					Descrição
	Qmed%	Q85%	Q90%	Q95%	Q99%	
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	
RAG01	0,388	0,009	0,005	0,002	0,001	Alto Gravataí
RAG02	0,748	0,022	0,012	0,004	0,001	Alto Gravataí
RAG03	0,488	0,009	0,005	0,002	0,001	Alto Gravataí
RAG04	0,189	0,004	0,002	0,001	0,001	Alto Gravataí
RAG05	0,332	0,005	0,002	0,001	0,001	Alto Gravataí
RAG06	0,089	0,001	0,001	0,001	0,001	Alto Gravataí
RAG07	0,724	0,150	0,129	0,105	0,068	Alto Gravataí
RAG08	0,573	0,174	0,153	0,127	0,085	Alto Gravataí
RAG09	0,380	0,110	0,096	0,079	0,051	Alto Gravataí
RAG10	0,304	0,087	0,077	0,065	0,044	Alto Gravataí
RAG11	0,093	0,002	0,001	0,001	0,001	Alto Gravataí
RAG12	0,914	0,459	0,424	0,360	0,266	Alto Gravataí
RAG14	1,571	0,747	0,685	0,589	0,452	Alto Gravataí
RBG01	0,033	0,016	0,015	0,013	0,008	Baixo Gravataí
RBG02	0,116	0,056	0,051	0,044	0,029	Baixo Gravataí
RBG03	0,102	0,050	0,046	0,040	0,026	Baixo Gravataí
RBG04	0,041	0,020	0,018	0,016	0,010	Baixo Gravataí
RBG05	0,350	0,170	0,156	0,135	0,089	Baixo Gravataí
RBG06	0,138	0,071	0,065	0,056	0,037	Baixo Gravataí
RBG07	0,464	0,229	0,210	0,180	0,121	Baixo Gravataí
RBG08	0,728	0,353	0,323	0,279	0,185	Baixo Gravataí
RBG09	0,386	0,191	0,175	0,150	0,099	Baixo Gravataí
RBG10	0,679	0,352	0,323	0,285	0,221	Baixo Gravataí
RBG11	0,506	0,251	0,230	0,200	0,155	Baixo Gravataí
RBG12	0,430	0,202	0,183	0,160	0,107	Baixo Gravataí
RBG13	0,356	0,175	0,161	0,139	0,092	Baixo Gravataí
RBG14	0,436	0,209	0,191	0,165	0,111	Baixo Gravataí
RBG15	0,524	0,251	0,230	0,199	0,133	Baixo Gravataí
RBG16	0,295	0,145	0,133	0,115	0,075	Baixo Gravataí
RBG17	0,289	0,142	0,130	0,112	0,074	Baixo Gravataí
RBG18	0,278	0,137	0,126	0,108	0,071	Baixo Gravataí
RBG19	0,179	0,087	0,080	0,069	0,046	Baixo Gravataí
RBG20	0,352	0,180	0,165	0,144	0,112	Baixo Gravataí
RBG21	0,455	0,231	0,212	0,185	0,144	Baixo Gravataí
RBG22	0,207	0,102	0,093	0,080	0,053	Baixo Gravataí
RBG23	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066	Baixo Gravataí
RBG23	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066	Baixo Gravataí
RBG23	0,259	0,124	0,114	0,098	0,066	Baixo Gravataí
RBG24	0,328	0,161	0,148	0,127	0,084	Baixo Gravataí
RBG25	0,298	0,147	0,134	0,116	0,076	Baixo Gravataí

Sub-bacia	Curva de Permanência					Descrição
	Qmed%	Q85%	Q90%	Q95%	Q99%	
	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	
RBG26	0,309	0,148	0,135	0,117	0,078	Baixo Gravataí
RBG28	0,620	0,321	0,294	0,252	0,167	Baixo Gravataí
RBG30	0,262	0,129	0,119	0,102	0,068	Baixo Gravataí
RBG31	0,025	0,013	0,012	0,010	0,007	Baixo Gravataí
RMG01	1,039	0,499	0,452	0,387	0,279	Médio Gravataí
RMG02	1,978	0,975	0,893	0,762	0,561	Médio Gravataí
RMG03	2,143	1,049	0,967	0,828	0,632	Médio Gravataí
RMG05	1,036	0,505	0,467	0,400	0,299	Médio Gravataí
RMG06	2,413	1,244	1,148	0,996	0,672	Médio Gravataí
RMG07	1,212	0,589	0,544	0,475	0,321	Médio Gravataí
RMG08	1,424	0,693	0,641	0,559	0,379	Médio Gravataí
RMG09	1,941	0,960	0,886	0,775	0,526	Médio Gravataí
RMG10	0,568	0,274	0,250	0,213	0,156	Médio Gravataí
RMG11	0,171	0,081	0,075	0,064	0,047	Médio Gravataí
RMG12	0,217	0,104	0,096	0,084	0,058	Médio Gravataí
RMG13	1,079	0,212	0,156	0,091	0,018	Médio Gravataí
RMG14	0,645	0,179	0,133	0,076	0,017	Médio Gravataí
RMG15	0,236	0,065	0,048	0,028	0,006	Médio Gravataí
RMG16	0,372	0,102	0,077	0,043	0,010	Médio Gravataí
RMG17	0,978	0,270	0,200	0,114	0,025	Médio Gravataí
RMG18	1,051	0,502	0,460	0,397	0,296	Médio Gravataí
RMG19	1,424	0,751	0,695	0,593	0,430	Médio Gravataí
RMG20	0,503	0,233	0,214	0,184	0,136	Médio Gravataí
RG00	5,354	2,314	2,030	1,655	0,990	Exutório do Banhado Grande
RG01	6,268	2,825	2,492	2,049	1,299	Rio Gravataí
RG02	8,388	3,827	3,408	2,809	1,926	Rio Gravataí
RG03	10,006	4,671	4,197	3,533	2,447	Rio Gravataí
RG04	12,854	6,286	5,668	4,851	3,442	Rio Gravataí
RG05	15,915	8,076	7,343	6,376	4,519	Rio Gravataí
RG06	19,365	9,852	8,954	7,850	5,458	Rio Gravataí
RG07	19,933	10,142	9,217	8,082	5,636	Rio Gravataí
RG08	20,437	10,398	9,457	8,296	5,784	Rio Gravataí
RG09	20,608	10,481	9,543	8,363	5,836	Rio Gravataí
RG10	25,187	12,204	11,002	9,533	6,739	Arroio Demétrio
RG11	25,221	12,217	11,018	9,546	6,752	Rio Gravataí
RG12	25,337	12,280	11,075	9,592	6,786	Rio Gravataí
RG13	25,481	12,356	11,143	9,656	6,827	Rio Gravataí
RG14	25,831	12,528	11,306	9,820	6,922	Rio Gravataí
RG15	25,970	12,606	11,372	9,879	6,962	Rio Gravataí
RG16	27,549	13,445	12,107	10,576	7,423	Arroio Água Belas
RG16B	27,905	13,621	12,273	10,730	7,518	Rio Gravataí
RG17	29,521	14,524	13,129	11,529	8,065	Arroio Barnabé
RG17B	29,956	14,749	13,330	11,712	8,177	Rio Gravataí
RG18	31,344	15,438	13,970	12,291	8,560	Arroio Feijó
RG19	31,783	15,665	14,174	12,474	8,698	Rio Gravataí
RG20	31,809	15,682	14,188	12,483	8,710	Rio Gravataí
RG21	32,823	16,240	14,722	12,968	9,036	Arroio Brigadeiro
RG22	34,005	16,850	15,286	13,450	9,359	Rio Gravataí
RG23	34,625	17,171	15,611	13,726	9,543	Rio Gravataí
RG24	34,846	17,272	15,711	13,824	9,598	Rio Gravataí
RG25	35,108	17,407	15,836	13,928	9,661	Exutório no R. Guaíba.

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 70, a Figura 71, a Figura 72 e a Figura 73 apresentam as vazões de permanência Q85%, Q90%, Q95% e Q99%.

A Figura 74 apresenta a vazão específica ao longo do Rio Gravataí em relação à área de drenagem proporcional à área de bacia total. A vazão específica ponderada em função da área contribuição é de 11,46 l/s/km².

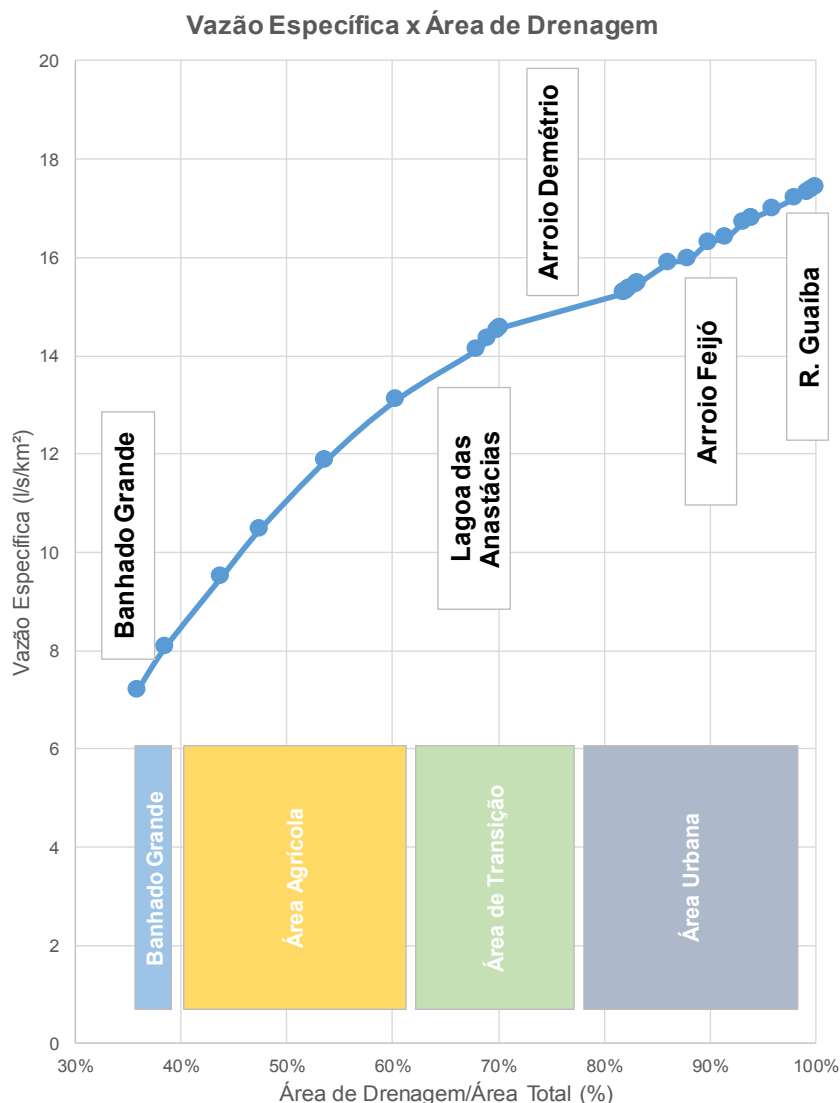


Figura 74 - Vazão Específica ao longo do Rio Gravataí x Área de Drenagem
 (Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O Quadro 61 apresenta as vazões características (Q99%, Q95%, Q90%, Q85%) para pontos notáveis dentro da bacia do Gravataí.

Quadro 61 - Pontos de Controle e vazões características (m³/s).

PONTO DE CONTROLE	Q85%	Q90%	Q95%	Q99%
Banhado Grande	3,827	3,408	2,809	1,925
Passo das Canoas Auxiliar	10,398	9,457	8,296	5,784
Passo das Canoas	12,217	11,018	9,546	6,752
Exutório Rio Gravataí	17,407	15,836	13,928	9,661

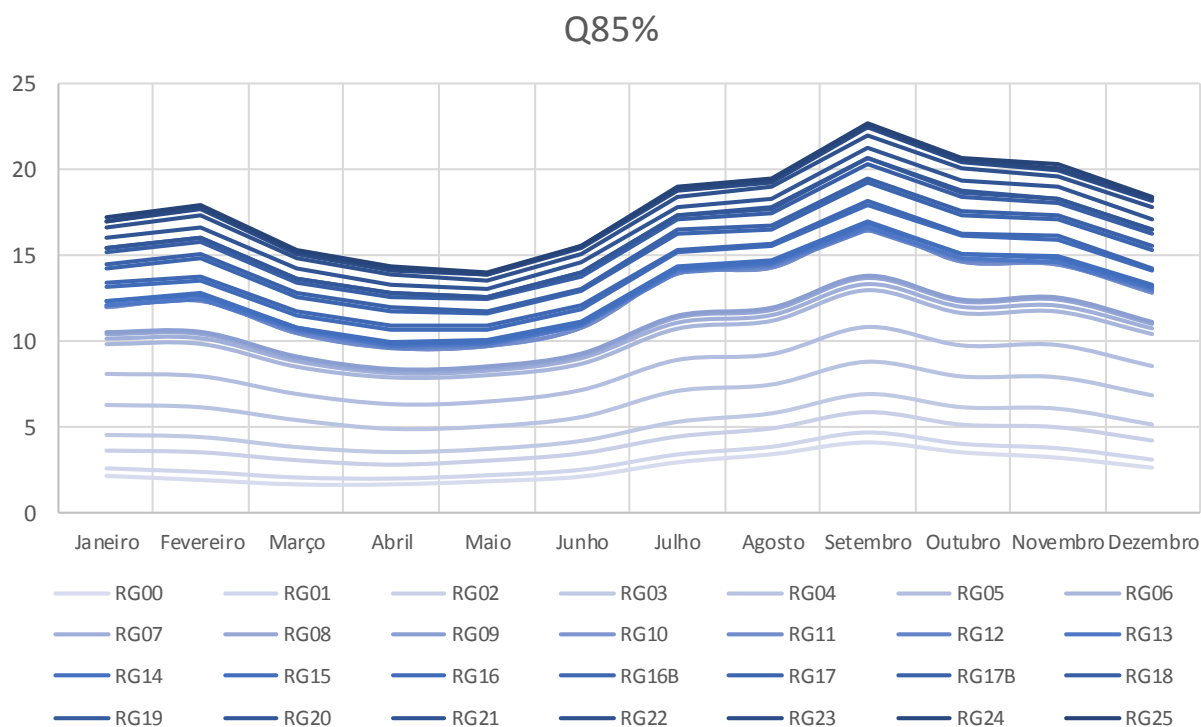
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

As vazões de permanência foram avaliadas de maneira mensal; no Quadro 62 e Figura 75 estão apresentadas as vazões de referência Q85% para todos os meses do ano nos principais trechos do Rio Gravataí.

Quadro 62 - Vazão de Permanência Q85% mensal para o trecho principal do Rio Gravataí (m³/s).

NOME	Área em Relação à Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
RG00	35,9%	2,2	1,9	1,7	1,7	1,9	2,1	3,0	3,4	4,1	3,5	3,2	2,7
RG01	38,5%	2,7	2,5	2,2	2,1	2,3	2,6	3,5	3,9	4,8	4,1	3,9	3,2
RG02	43,8%	3,6	3,5	3,1	2,8	3,0	3,5	4,5	5,0	5,9	5,2	5,0	4,3
RG03	47,4%	4,5	4,4	3,8	3,5	3,7	4,2	5,3	5,8	6,9	6,1	6,1	5,1
RG04	53,7%	6,3	6,1	5,4	4,9	5,0	5,6	7,1	7,5	8,8	7,9	7,9	6,8
RG05	60,3%	8,1	8,0	7,0	6,4	6,5	7,2	8,9	9,3	10,9	9,8	9,8	8,6
RG06	68,0%	9,9	9,9	8,5	7,9	8,0	8,7	10,8	11,2	13,0	11,7	11,8	10,4
RG07	69,0%	10,1	10,2	8,8	8,1	8,2	9,0	11,1	11,5	13,4	12,0	12,1	10,7
RG08	69,9%	10,4	10,4	9,0	8,3	8,5	9,2	11,4	11,8	13,6	12,3	12,4	11,0
RG09	70,2%	10,5	10,5	9,1	8,4	8,5	9,3	11,5	11,9	13,8	12,4	12,5	11,1
RG10	81,8%	12,0	12,4	10,5	9,6	9,7	10,8	13,9	14,3	16,5	14,6	14,5	12,8
RG11	81,9%	12,0	12,4	10,5	9,6	9,7	10,8	14,0	14,3	16,5	14,7	14,5	12,9
RG12	82,1%	12,1	12,4	10,6	9,7	9,8	10,9	14,0	14,4	16,6	14,7	14,6	12,9
RG13	82,3%	12,1	12,5	10,6	9,7	9,8	10,9	14,1	14,4	16,6	14,8	14,7	13,0
RG14	83,0%	12,3	12,7	10,8	9,9	10,0	11,1	14,2	14,6	16,9	15,0	14,9	13,2
RG15	83,2%	12,4	12,8	10,8	10,0	10,1	11,1	14,3	14,7	17,0	15,1	15,0	13,3
RG16	86,1%	13,2	13,6	11,5	10,7	10,7	11,9	15,2	15,5	17,9	16,1	15,9	14,1
RG17	87,9%	14,3	14,8	12,6	11,8	11,6	12,9	16,2	16,6	19,2	17,3	17,1	15,3
RG18	89,8%	15,2	15,8	13,5	12,6	12,4	13,8	17,1	17,5	20,3	18,4	18,1	16,3
RG19	91,5%	15,4	16,0	13,6	12,8	12,6	14,0	17,3	17,7	20,6	18,7	18,3	16,5
RG20	93,1%	15,5	16,1	13,7	12,8	12,6	14,0	17,3	17,8	20,6	18,7	18,3	16,5
RG21	93,9%	16,0	16,7	14,2	13,3	13,0	14,6	17,8	18,3	21,3	19,4	19,0	17,1
RG22	93,9%	16,6	17,3	14,8	13,8	13,5	15,1	18,4	19,0	22,0	20,0	19,6	17,8
RG23	95,9%	16,9	17,7	15,1	14,1	13,8	15,4	18,7	19,3	22,4	20,4	20,0	18,1
RG24	98,0%	17,0	17,8	15,2	14,2	13,9	15,5	18,9	19,4	22,5	20,5	20,1	18,2
RG25	100,0%	17,2	17,9	15,3	14,3	14,0	15,6	19,0	19,5	22,7	20,7	20,3	18,4

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)



*Figura 75 - Vazão de Referência Q85% ao longo do ano, ao longo do Rio Gravataí
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)*

As vazões de permanência foram avaliadas de maneira mensal, No Quadro 63 e Figura 76 estão apresentadas as vazões de referência Q90% para todos os meses do ano para os principais trechos do Rio Gravataí.

Percebe-se claramente que as vazões de referência variam ao longo do ano, onde os menores valores são verificados entre os meses de março e junho, e os maiores valores são verificados entre os meses de setembro e novembro.

Quadro 63 - Vazão de Permanência Q90% mensal para o trecho principal do Rio Gravataí (m³/s).

NOME	Área em Relação à Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
RG00	35,9%	2,02	1,78	1,50	1,32	1,57	1,89	2,61	3,07	3,66	3,24	2,95	2,45
RG01	38,5%	2,49	2,29	1,91	1,69	1,93	2,27	3,09	3,59	4,31	3,76	3,54	2,97
RG02	43,8%	3,41	3,25	2,77	2,42	2,53	3,02	4,08	4,51	5,47	4,79	4,74	3,96
RG03	47,4%	4,23	4,09	3,51	3,07	3,21	3,69	4,83	5,30	6,42	5,71	5,69	4,85
RG04	53,7%	5,84	5,71	4,96	4,34	4,46	5,01	6,51	6,76	8,08	7,37	7,42	6,47
RG05	60,3%	7,52	7,47	6,46	5,78	5,84	6,59	8,16	8,44	10,02	9,10	9,30	8,18
RG06	68,0%	9,05	9,30	7,87	7,10	7,20	8,16	9,72	10,14	12,11	10,97	11,19	9,91
RG07	69,0%	9,35	9,58	8,15	7,31	7,40	8,39	10,01	10,42	12,45	11,29	11,51	10,21
RG08	69,9%	9,57	9,82	8,37	7,50	7,60	8,60	10,26	10,66	12,81	11,54	11,81	10,46
RG09	70,2%	9,65	9,90	8,45	7,57	7,66	8,68	10,34	10,73	12,91	11,62	11,90	10,55
RG10	81,8%	10,95	11,34	9,64	8,56	8,78	9,93	12,49	12,95	15,33	13,74	13,72	12,14
RG11	81,9%	10,97	11,36	9,66	8,58	8,79	9,95	12,51	12,95	15,35	13,76	13,74	12,16
RG12	82,1%	11,02	11,43	9,71	8,63	8,83	10,00	12,57	13,00	15,42	13,81	13,81	12,22
RG13	82,3%	11,08	11,50	9,77	8,68	8,89	10,07	12,64	13,07	15,50	13,87	13,89	12,29
RG14	83,0%	11,30	11,69	9,93	8,83	9,02	10,23	12,79	13,23	15,69	14,08	14,08	12,48
RG15	83,2%	11,34	11,77	10,00	8,89	9,08	10,29	12,87	13,30	15,79	14,16	14,15	12,55
RG16	86,1%	12,12	12,60	10,68	9,54	9,71	10,97	13,63	14,00	16,75	15,02	15,00	13,34
RG17	87,9%	12,28	12,79	10,84	9,68	9,86	11,11	13,81	14,17	16,96	15,23	15,19	13,52
RG18	89,8%	13,15	13,78	11,68	10,45	10,53	11,88	14,63	14,98	17,96	16,17	16,16	14,43
RG19	91,5%	13,34	14,02	11,85	10,64	10,67	12,07	14,83	15,17	18,20	16,40	16,40	14,62
RG20	93,1%	13,98	14,73	12,47	11,19	11,24	12,66	15,49	15,85	18,96	17,11	17,12	15,38
RG21	93,9%	14,19	14,97	12,67	11,43	11,41	12,85	15,69	16,06	19,22	17,33	17,36	15,60
RG22	93,9%	14,21	14,98	12,68	11,45	11,43	12,86	15,71	16,07	19,24	17,35	17,37	15,61
RG23	95,9%	14,73	15,58	13,18	11,90	11,87	13,35	16,23	16,61	19,86	17,95	17,98	16,17
RG24	98,0%	15,32	16,20	13,67	12,40	12,38	13,83	16,81	17,12	20,53	18,61	18,61	16,76
RG25	100%	15,63	16,53	13,93	12,61	12,64	14,11	17,12	17,41	20,95	18,95	18,96	17,11

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

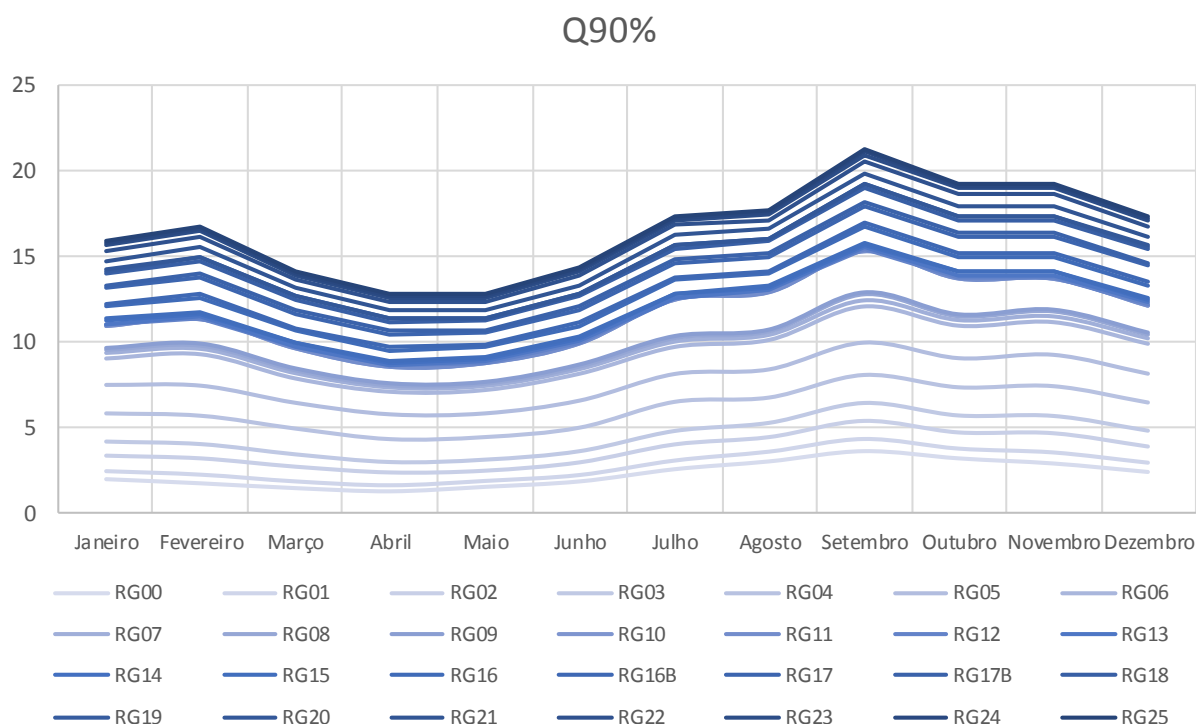


Figura 76 - Vazão de Referência Q90% ao longo do ano, ao longo do Rio Gravataí
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

8.1.4 Conceito Balanço Hídrico

A análise a ser feita para determinação do atendimento das demandas é a da vazão remanescente, onde a vazão no trecho consequente do curso d'água é uma função das vazões de contribuição de montante e tributários e das retiradas para as diversas demandas (Figura 77).

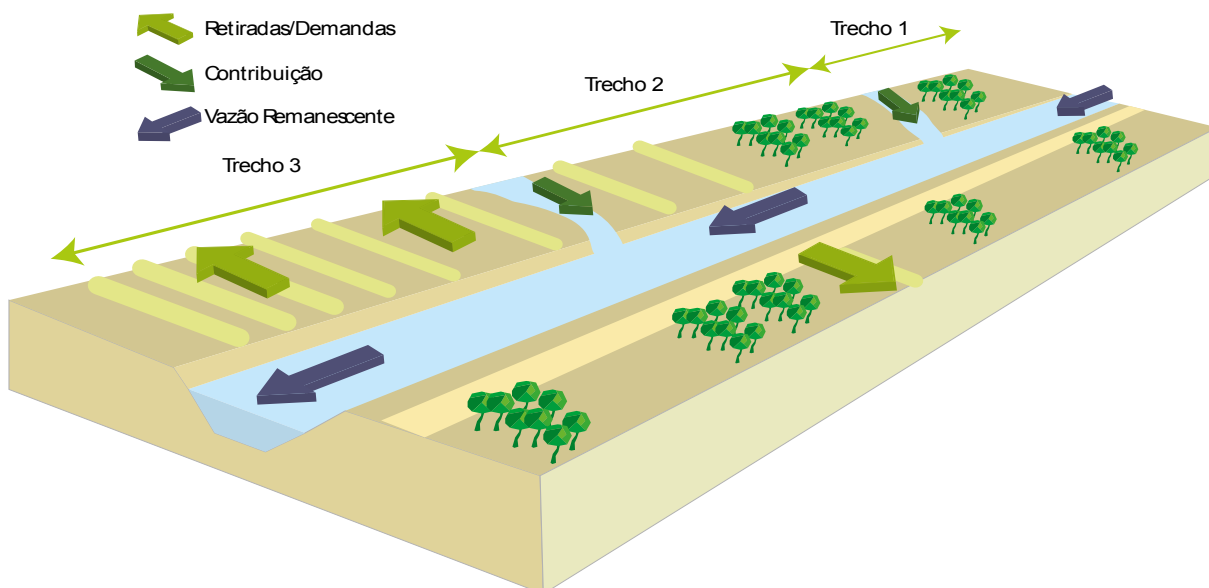


Figura 77 - Vazão Remanescente
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O conceito de atendimento de demandas por trecho levará em consideração uma vazão de referência e um percentual máximo outorgável. A vazão de referência máxima outorgável apontada no PRH Gravataí (2012) é a Q85.

Neste trabalho também foi analisada a vazão de referência Q90, que é mais restrigente do que a Q85. O coeficiente percentual de máximo outorgável considerado foi de [0,9].

O modelo matemático de balanço hídrico utilizado apresenta a seguinte formulação:

$$Q_{bal}(n; t) = cQ_{ref}(n; t) - \sum_{i=1}^n \text{Mínimo}(Q_{dem}(i; t) - Q_{res}(i; t); 0)$$

Onde:

n = trecho analisado;

i = índice que contabiliza as demandas de todas subbacias a montante de n;

Q_{bal} = balanço hídrico em relação a vazão máxima outorgável no trecho;

Q_{ref} = vazão de referência para a outorga (Q85, Q90) no trecho;

c = coeficiente de vazão máxima outorgável (90%);

Q_{res} = vazão de contribuição devido a reservatórios abastecendo demandas ao longo do trecho;

Q_{dem} = vazão demandada no trecho em questão.

A vazões máximas outorgáveis consideraram a vazões de referência mensais, um critério mais rigoroso e próximo da realidade operacional do sistema.

O modelo de análise considerou a capacidade de reservação intra-subbacia, ou seja, parte das demandas são atendidas a partir dos açudes construídos em cada propriedade (apenas Alto Gravataí e parte do Médio Gravataí).

A cada trecho foram analisadas apenas a capacidade de reservação de atender as demandas das sub-bacias associadas, tal que:

$$Q_{dem}(i; t) - Q_{res}(i; t) \geq 0$$

A capacidade de reservação foi considerada a partir da classificação de uso do solo, onde classe de “Água”, “Banhado” e “Campo Úmido” foram consideradas com capacidades distintas de reservação.

Os volumes considerados para cada sub-bacia estão apresentados no Quadro 64. A importância do Banhado Grande e do Banhado dos Pachecos foram considerados apenas nas suas vazões afluentes, mas não na capacidade de reservatório explorável.

Os volumes disponibilizados pelos reservatórios foram considerados como sendo utilizados entre novembro a janeiro e transformados em uma vazão média no período. Considerou-se que os reservatórios começam a plena capacidade no início das demandas e que tem capacidade limitada de enchimento dentro do período de utilização.

Quadro 64 - Volumes considerados por sub-bacia

Subbacia	Reservatórios (m³)	Sub- bacia	Reservatórios (m³)
MAG01	3.204.410	MMG05	529.144
MAG02	2.568.511	MMG06	39.204
MAG03	1.298.138	MMG07	16.201
MAG04	15.311.617	MMG08	3.648
MAG05	1.081.781	MMG09	504.905
MAG06	387.144	MMG10	114.559
MAG07	9.681	MMG11	313.232
MAG08	53.708	MMG12	1.318.650
MAG09	8.022.654	MMG13	1.113
MAG10	1.175.914	MMG14	3.005
MAG11	4.903.860	MMG15	606
MAG12	7.046.801	MMG16	15.549
MBG01	61.992	MMG17	24.567
MMG01	92.839	MMG18	234.467
MMG02	1.036.257	MMG19	9.043.512
MMG03	1.642.905	MMG20	126.597

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Os seguintes elementos podem divergir da situação atual da bacia do Gravataí em relação ao modelo hidrológico apresentado:

- As vazões de outorga não são respeitadas:** Devido a falha de fiscalização os consumidores rizícolas (localizados nos trechos altos e médio altos da bacia) demandam o máximo para garantir suas culturas, isto leva a uma falha menor aparente (menos frequente) nas demandas.
 O reflexo disto é a redução da segurança hídrica para manutenção da qualidade do ecossistema do Rio Gravataí e abastecimento público a jusante. Isto parece ser confirmado pelas frequentes falhas de atendimento da CORSAN devido à escassez no curso d'água, mesmo sendo as demandas de abastecimento público relativamente pequenas em relação a capacidade de produção do Rio Gravataí.
- O Banhados Grande e dos Pachecos são utilizados como reservatórios exploráveis:** derivações ou bombeamentos diretamente dos banhados não foram considerados na simulação.
 Caso tais ocorram o atendimento de demandas aparente irá ser consideravelmente elevado. Tal prática aparenta estar ocorrendo em certa capacidade devido à grande redução da área do Banhado Grande nos últimos anos.

✓ **Abastecimento Público**

Levando em consideração a priorização do abastecimento público pela legislação vigente, inicialmente serão analisadas as demandas para tal setor e, após as demandas totais.

O Quadro 65 apresenta as vazões demandas para o sistema de abastecimento e as vazões disponíveis.

Os valores das demandas são apresentados no ponto de captação e acumuladas, isto é, considerando-se todas as demandas setoriais a montante do ponto de captação indicado.

A partir da análise destes valores pode-se concluir que se priorizando o abastecimento humano, não deverão haver grandes problemas de fornecimento para estas demandas, principalmente no manancial do Rio Gravataí em si.

Quadro 65 - Demandas do abastecimento público e vazões demandadas (m³/s)

PONTO DE CONTROLE	Demanda Pontual	Demanda Acumulada	Q85%	Q90%	Q95%	Q99%
Captação ETA Glorinha	0,012	0,012	0,174	0,153	0,127	0,085
Captação ETA Passo dos Negros	0,343	0,451	9,852	8,954	7,849	5,458
Captação ETA Viamão	0,096	0,096	0,693	0,641	0,559	0,379
Captação ETA Alvorada	1,113	1,564	12,528	11,306	9,820	6,922

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

✓ **Demandas Totais**

Embora o abastecimento público apresente boa garantia quando analisado isoladamente o contexto da bacia do Rio Gravataí apresenta demandas importantes do setor agrícola e principalmente, rizícola.

A análise de atendimento das demandas foi realizada considerando:

- A localização ao longo do Rio Gravataí;
- A vazão máxima outorgável considerando o percentual outorgável e a vazão de referência mensal por trecho;
- O percentual de dias do ano com falhas de atendimento;
- O déficit médio diário de vazão;
- A área da safra de arroz de 2015-2016 e sua variação de demanda quinzenal.

A Figura 78, a Figura 79, e Figura 80 e a Figura 81 apresentam as características do atendimento de demandas ao longo do Rio Gravataí. Tais figuras apresentam:

- O percentual de dias por ano em que a vazão máxima outorgável não atende as demandas;
- O percentual médio do déficit anual de vazões nos períodos de não atendimento;
- O volume de déficit anual por trecho do rio;

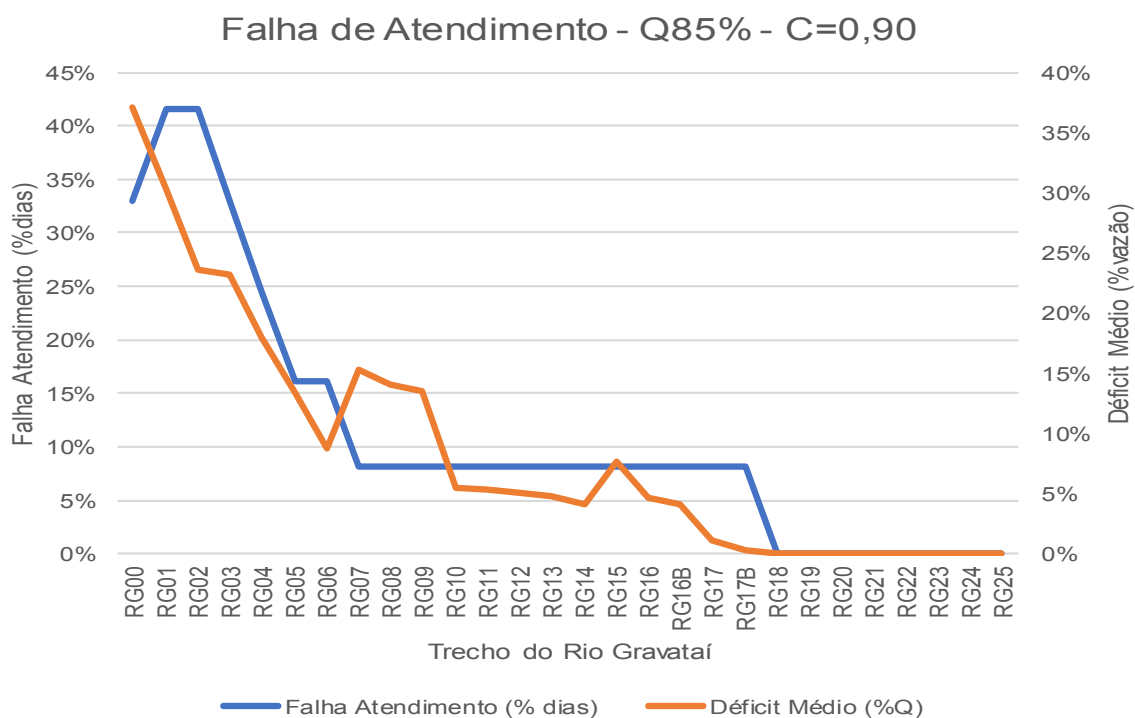


Figura 78 - Falhas de Atendimento – Q85% e C=0,90 – déficit médio
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

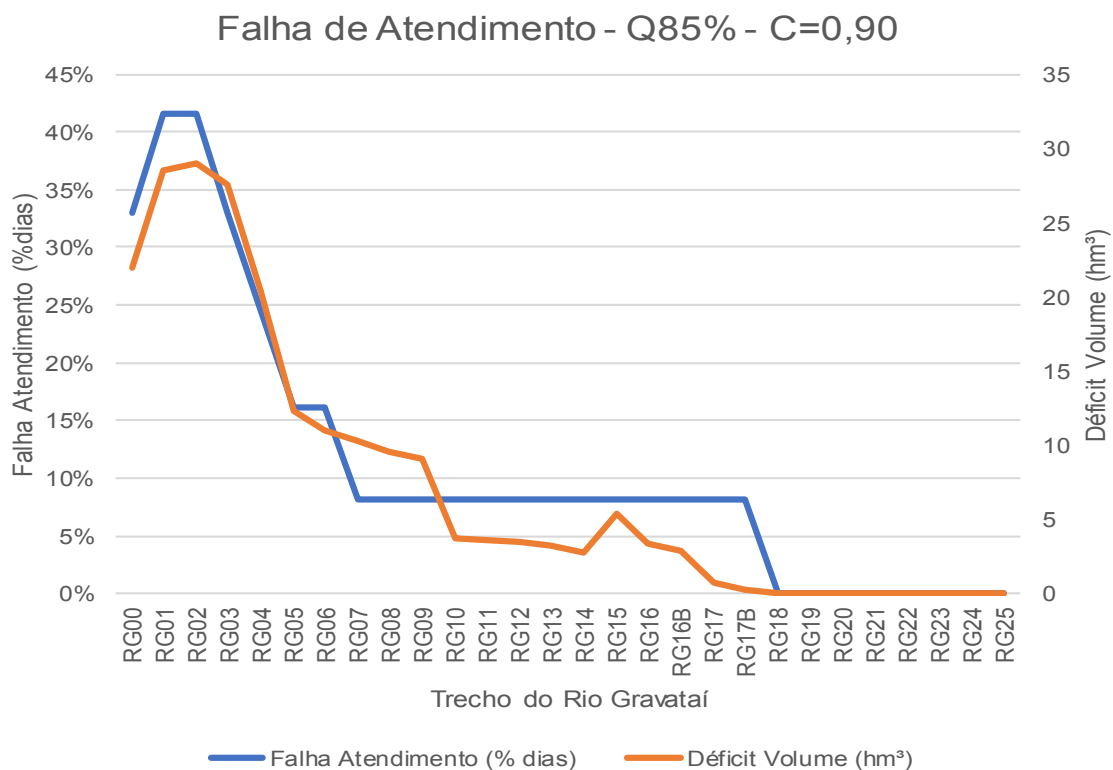


Figura 79 - Falhas de Atendimento – Q85% e C=0,90 – falhas e déficit de volume
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

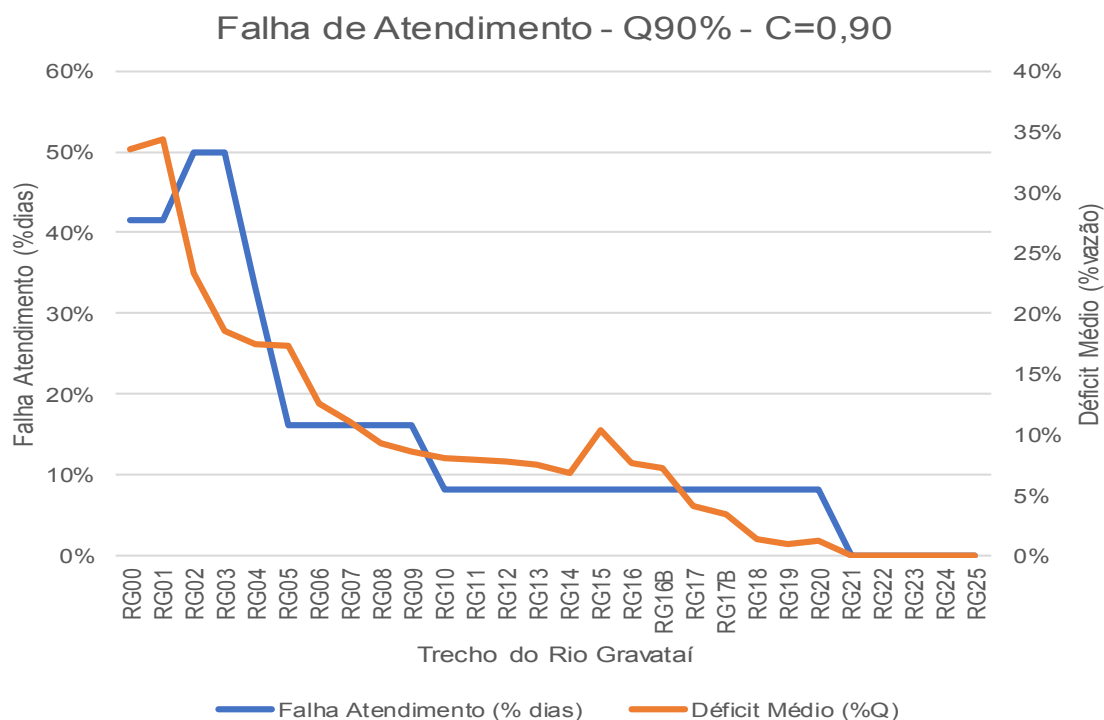


Figura 80 - Falhas de Atendimento – Q90% e C=0,90 – falhas e déficit médio percentual
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

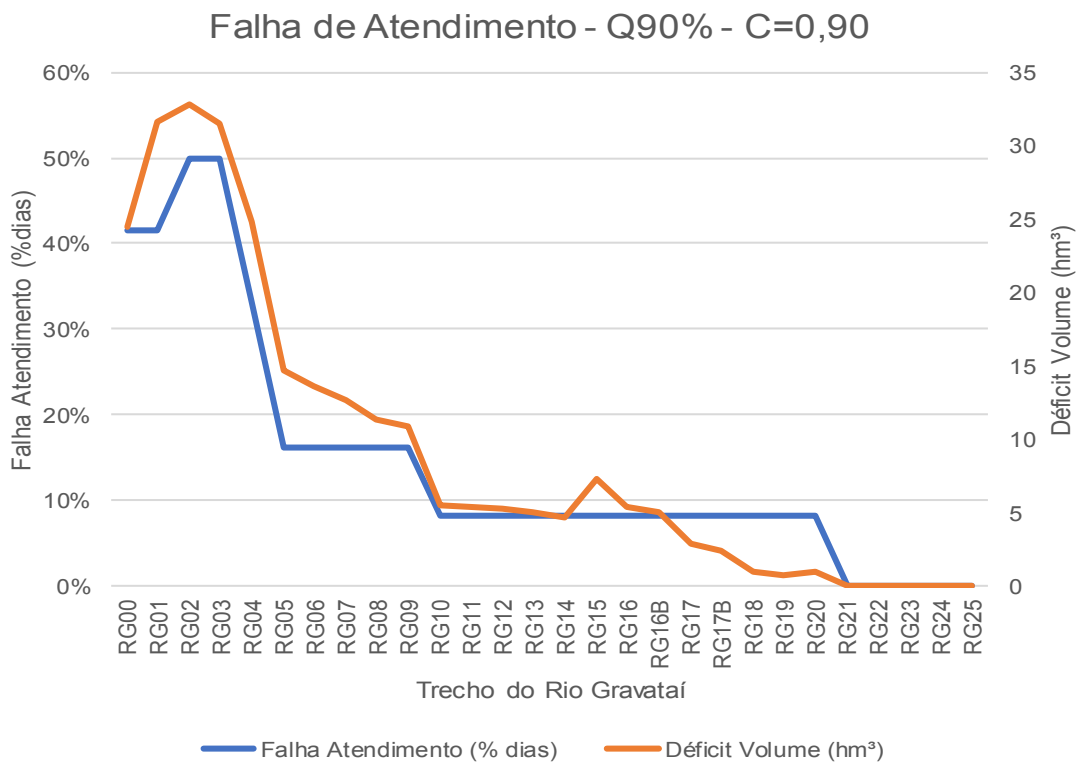


Figura 81 - Falhas de Atendimento – Q90% e C=0,90 – falhas e déficit de volume
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Como referência, a Figura 82 apresenta a área de drenagem acumulada para cada trecho do Rio Gravataí. O trecho RG00 engloba todas as demandas do Alto Gravataí.

- **Q85% - C=0,90:** apresenta um pico de falha de atendimento das demandas logo a jusante do exutório do Banhado Grande caindo rapidamente até o final do trecho com demandas principais do setor rizícola (RG05). As falhas de atendimento são, no pior trecho observado, de 42% do tempo e 37% da vazão média.

Logo após o trecho demandas agrícolas principais as falhas caem para em torno de 15% do tempo e 15% da vazão, reduzindo mais ainda a jusante da bacia. O volume deficitário máximo de 29 hm³.

- **Q90% - C=0,90:** apresenta um pico de falha de atendimento das demandas logo a jusante do exutório do Banhado Grande reduzindo-se mais lentamente (em relação à situação anterior) até o final do trecho RG05. As falhas de atendimento são, no pior trecho observado, de 50% do tempo e 34% da vazão média.

A falha de vazão média é menor devido ao período mais longo, o que pode ser observado pelo volume deficitário maior do que a situação anterior, chegando a 33 hm³.

Área de Drenagem - Rio Gravataí (% da Bacia)

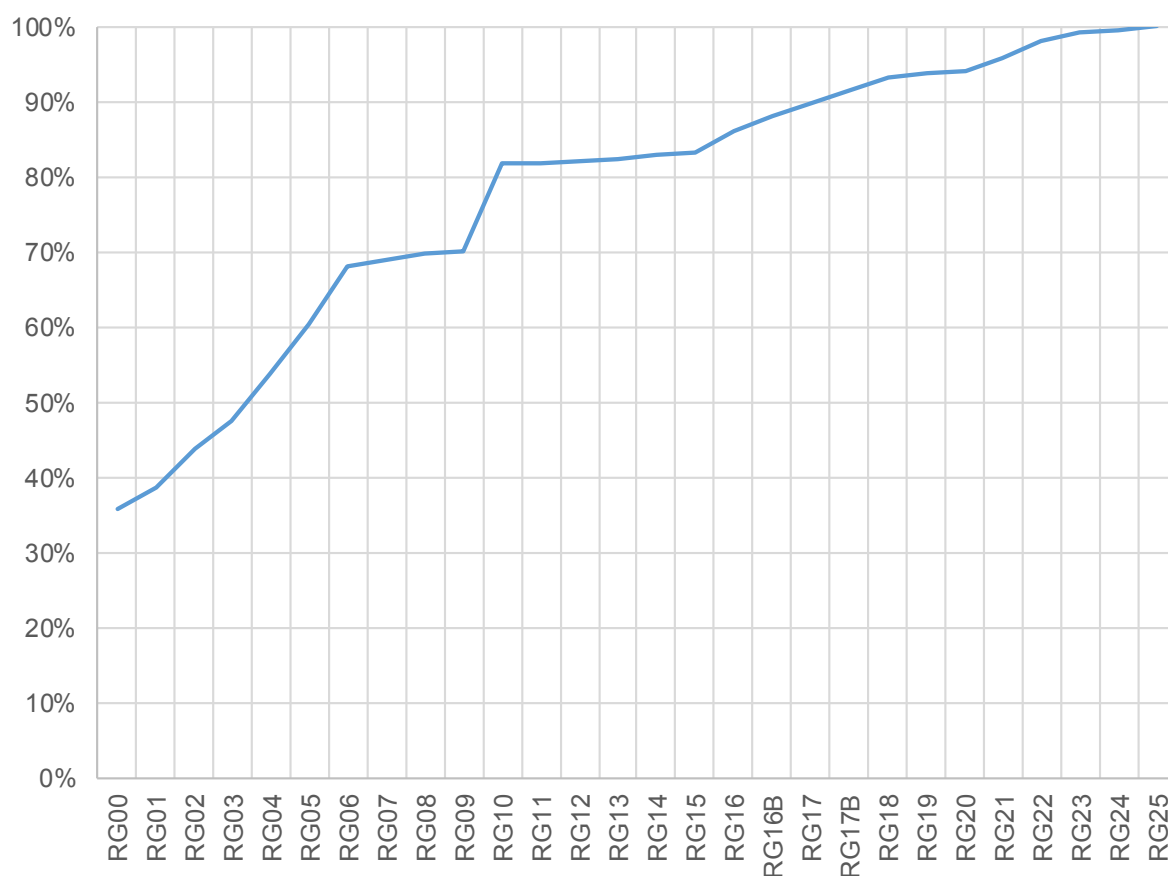


Figura 82 - Área de Drenagem (% da bacia) acumulada por trecho modelado do Rio Gravataí
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

O Quadro 66 apresenta os meses críticos quanto à disponibilidade hídrica ao longo do Rio Gravataí (menores valores da vazão de referência).

Quadro 66 - Meses críticos quanto à disponibilidade no Rio Gravataí.

Trecho	Mês Crítico	
	Q85%	Q90%
RG00	ABRIL	ABRIL
RG01	ABRIL	ABRIL
RG02	ABRIL	ABRIL
RG03	ABRIL	ABRIL
RG04	ABRIL	ABRIL
RG05	ABRIL	ABRIL
RG06	ABRIL	ABRIL
RG07	ABRIL	ABRIL
RG08	ABRIL	ABRIL
RG09	ABRIL	ABRIL
RG10	ABRIL	ABRIL
RG11	ABRIL	ABRIL
RG12	ABRIL	ABRIL
RG13	ABRIL	ABRIL
RG14	ABRIL	ABRIL
RG15	ABRIL	ABRIL
RG16	ABRIL	ABRIL
RG16B	ABRIL	ABRIL
RG17	MAIO	ABRIL
RG17B	MAIO	ABRIL
RG18	MAIO	ABRIL
RG19	MAIO	ABRIL
RG20	MAIO	ABRIL
RG21	MAIO	ABRIL
RG22	MAIO	ABRIL
RG23	MAIO	ABRIL
RG24	MAIO	ABRIL
RG25	MAIO	ABRIL

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 83 apresenta a variação de déficit (-1) e disponibilidade (+1) ao longo do ano para vários trechos ao longo do Rio Gravataí, considerando uma capacidade outorgável máxima igual à 90% da Q85%.

Pode-se observar que o déficit no início do trecho médio é significativamente maior e ocorre entre outubro e maio.

Ao se analisar posições mais a jusante ao longo do Rio Gravataí os déficits se reduzem significativamente até o trecho RG18, onde não é mais observado.

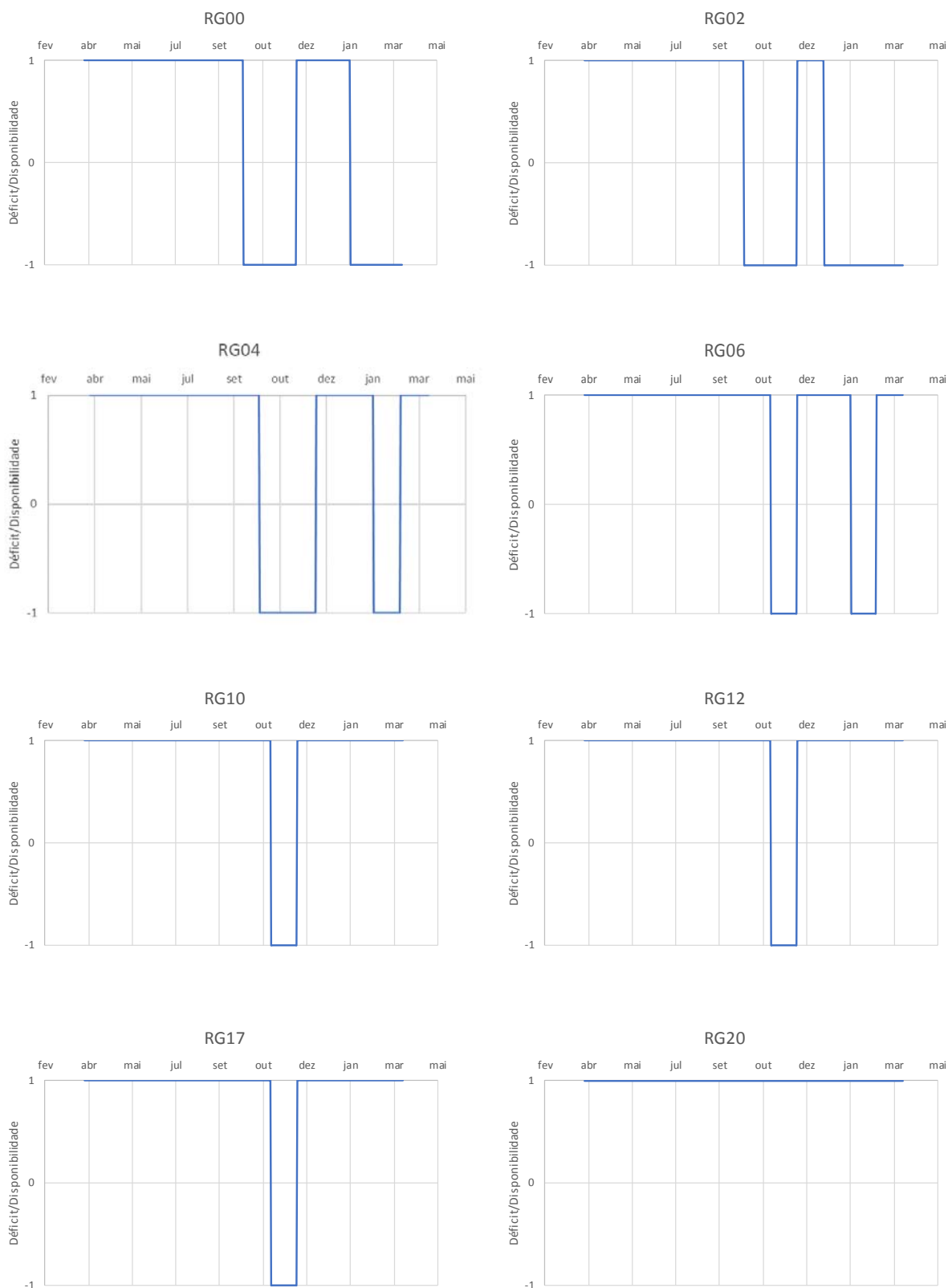
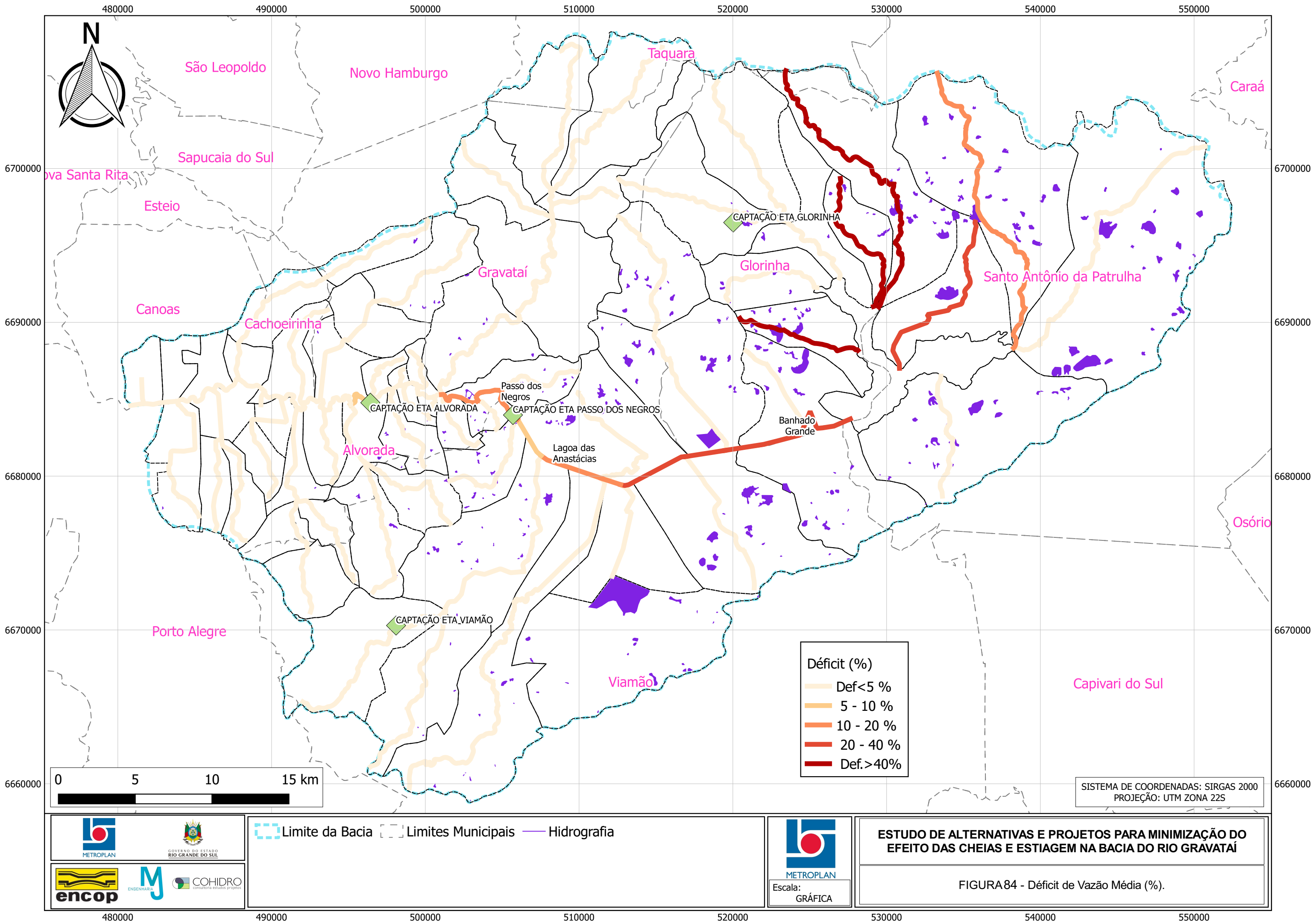


Figura 83 - Disponibilidade e déficit ao longo do ano ao longo do Rio Gravataí
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)



8.1.5 Conclusão

Pode-se observar através da análise de duas condições de vazão máxima outorgável (Q85 e Q90) que as demandas atuais do Rio Gravataí não permitem uma garantia hídrica suficiente para manutenção dos ecossistemas que dependem do curso d'água e nem uma garantia suficiente para a produção agrícola.

Atualmente os efeitos mais aparentes, embora já impactem a condição daqueles que dependem do rio, estão mascarados pela captação não rigorosamente fiscalizada. Os efeitos negativos menos imediatos, como a falha na manutenção dos ecossistemas dependentes do Rio Gravataí, já mostram indicativos talvez irreversíveis na redução de área do Banhado Grande.

Ressalta-se que se utilizando as vazões de referência Q85 e Q90 como base para a outorga não está nem se apresentando critério ademais rigoroso, visto outros critérios utilizados em todo o Brasil, mesmo assim, os déficits apresentados no atendimento das demandas foram significativos.

O Plano de Bacia do Gravataí preconizou uma redução de área de plantio de 20% na bacia do Gravataí a partir da área efetiva de 2011, isto é, uma área efetiva de 16.820 ha. O presente estudo estimou um crescimento na área de arroz inserida na bacia do Gravataí para 23.083 ha (2015-2016), ou seja, uma diferença a mais entre a área-meta de 2011 e a área atual de 37%.

Além disto, a prática da rizicultura na bacia demanda a realização de terraplenagem, o que exacerba os problemas de abastecimento, pois a movimentação de solo mobiliza sedimentos nos cursos d'água, o que compromete o funcionamento das captações d'água.

O somatório destes problemas faz com que se apresente uma condição hídrica não sustentável para a Bacia do Rio Gravataí.

Os estudos em sequência neste trabalho deverão apresentar ações e instrumentos para compatibilizar a atividade econômica, vital para os municípios em questão, com a manutenção dos ecossistemas da bacia e garantia do atendimento público, prioridade na legislação de recursos hídricos brasileira.

8.2 Eventos de Cheias

Segundo Tucci (2009) os hidrogramas de projeto são usualmente determinados com base na precipitação. O hidrograma pode ser associado a precipitações máximas prováveis e precipitações associadas a risco ou probabilidade de ocorrência. O segundo método é o utilizado no contexto da bacia do Gravataí.

O hidrograma de projeto é obtido através da precipitação de projeto aplicada a cada sub-bacia e a propagação da mesma através dos canais e reservatórios até a seção de interesse. Devido à dimensão da bacia do Gravataí a discretização da precipitação é indispensável para caracterização dos eventos de chuvas extremas.

Devido à metodologia utilizada (modelo chuva-vazão) o hidrograma de projeto resultante terá seu risco associado às precipitações e não aos hidrogramas passantes em trecho da bacia.

As precipitações de projeto analisadas foram aquelas com tempo de retorno de: 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

8.2.1 Distribuição Espacial das Precipitações

A precipitação máxima pontual não é a mesma para toda a bacia (apenas para bacias de pequenas dimensões). Durante um evento chuvoso as precipitações máximas ocorrem sobre uma pequena área, reduzindo-se com o espaço.

Para a estimativa da precipitação média, função da precipitação máxima pontual será adotado um coeficiente de abatimento K_A , tal que:

$$K_A = 1 - 0,25 \frac{\sqrt{A}}{\beta}$$
$$\beta = 0,054t + 12,9$$

Onde:

K_A = coeficiente de abatimento (entre 0 e 1);

A = área em km²;

t = duração do evento em minutos.

Para bacias menores do que 25 km² o coeficiente foi considerado foi de $K_A = 1$.

8.2.2 Distribuição Temporal das Precipitações

O passo de tempo de discretização da precipitação deve ser menor ou igual a 1/5 do tempo de concentração e 1/3 do tempo de pico.

O Quadro 67 apresenta o tempo de concentração para as sub-bacias do modelo.

Devido à quantidade de sub-bacias e à variação de características suas características o intervalo de tempo de precipitação deve ser compatível com cada uma destas.

Neste caso o intervalo de tempo escolhido para a representação dos eventos de chuva foi de 5 minutos.

Quadro 67 - Tempo de Concentração para as sub-bacias do modelo.

Sub-bacia	Tp (min)	Sub-bacia	Tp (min)
MAG01	390	MBG20	390
MAG02	720	MBG21	390
MAG03	720	MBG22	180
MAG04	510	MBG23	390
MAG05	720	MBG24	390
MAG06	450	MBG25	330
MAG07	480	MBG26	210
MAG08	540	MBG27	30
MAG09	330	MBG28	30
MAG10	390	MBG29	30
MAG11	420	MBG30	150
MAG12	330	MBG31	90
MAG13	30	MMG01	420
MAG14	390	MMG02	420
MBG01	120	MMG03	450
MBG02	240	MMG04	240
MBG03	210	MMG05	360
MBG04	120	MMG06	900
MBG05	330	MMG07	510
MBG06	270	MMG08	540
MBG07	420	MMG09	570
MBG08	420	MMG10	390
MBG09	270	MMG11	210
MBG10	420	MMG12	270
MBG11	240	MMG13	570
MBG12	270	MMG14	510
MBG13	300	MMG15	300
MBG14	390	MMG16	420
MBG15	270	MMG17	450
MBG16	240	MMG18	450
MBG17	360	MMG19	480
MBG18	330	MMG20	330
MBG19	240		

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

8.2.3 Precipitações Extremas

Um evento crítico de chuva pode ser construído artificialmente com base em características estatísticas de eventos observados e registrados.

Estas características estatísticas e parâmetros são levados em conta através de dois elementos básicos: **(a)** período de retorno, **Tr** da precipitação de projeto (anos) e **(b)** duração crítica do evento (min) igual ou superior ao tempo de concentração.

É usual representar as precipitações extremas a partir de relações intensidade-duração-frequência (curvas IDF) das precipitações sobre a bacia contribuinte.

Expressas sob forma de tabelas ou equações, as curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno.

A equação IDF apresenta a seguinte formatação:

$$I = \frac{a * Tr^b}{(t + c)^d}$$

Onde:

I = intensidade de chuva, em mm/h;

Tr = tempo de retorno (anos);

t = duração (minutos);

a, b, c, d = coeficiente da equação*

[*] Para a estação pluviométrica Porto Alegre: **a**=1095, **b** = 0,1095, **c**=14,163 e **d**=0,7736.

Os hietogramas de projeto foram obtidos a partir do método dos blocos alternados, cujas etapas foram:

- seleção da duração total da precipitação (td) e do intervalo de discretização (dt = 5min)
- obtenção da precipitação a partir da relação IDF
- transformação das intensidade em alturas de precipitação acumuladas até o último intervalo de tempo
- cálculo dos incrementos dos totais acumulados por intervalo
- rearranjo dos incrementos ou blocos, obtidos em uma sequência tal que, no centro da duração da precipitação se situe o bloco maior e, em seguida, os demais.

8.2.4 Condições Iniciais

As condições iniciais adotadas para o modelo escolhido devem procurar condições desfavoráveis de projeto e com chance de ocorrência.

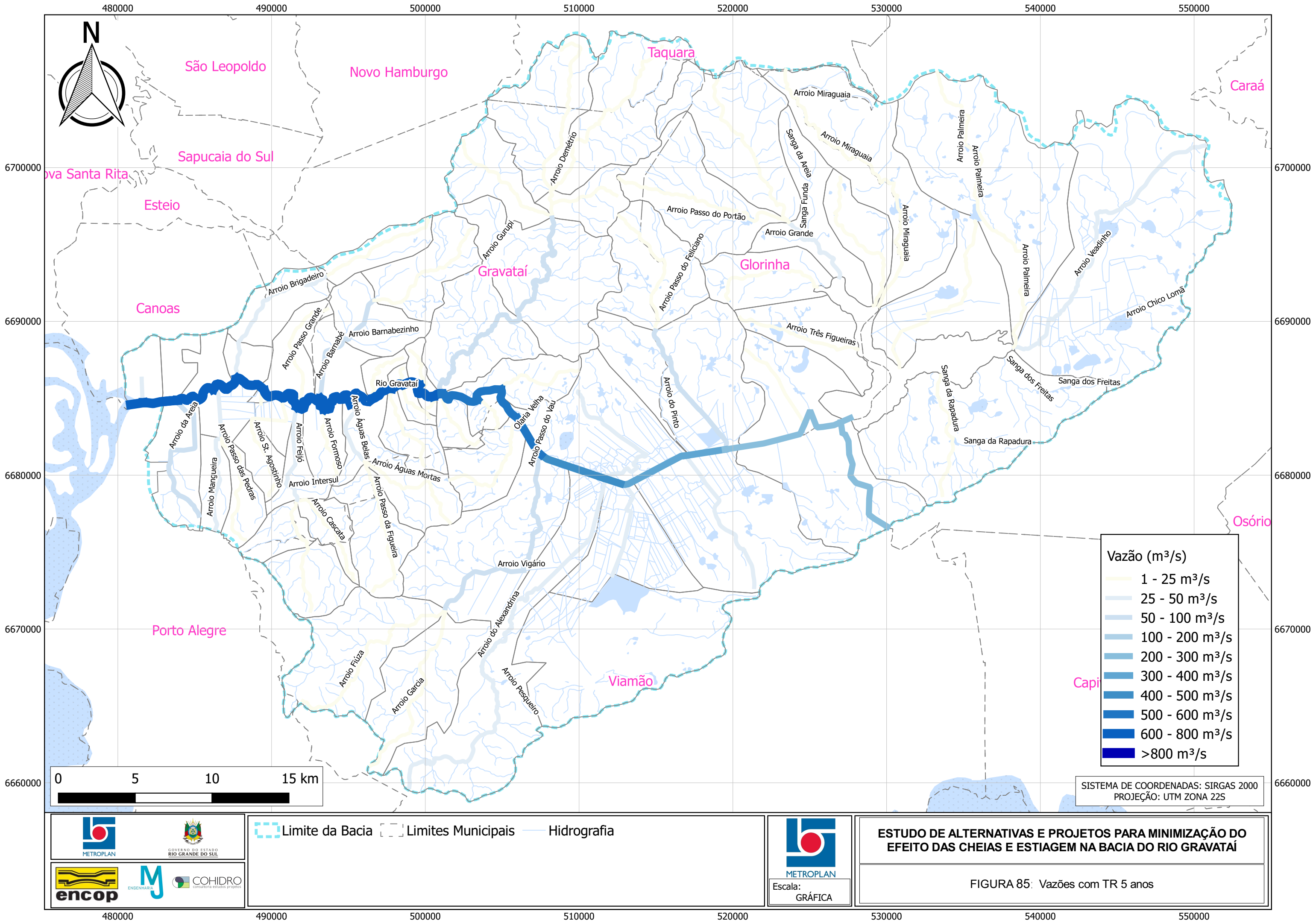
As seguintes condições iniciais foram adotadas:

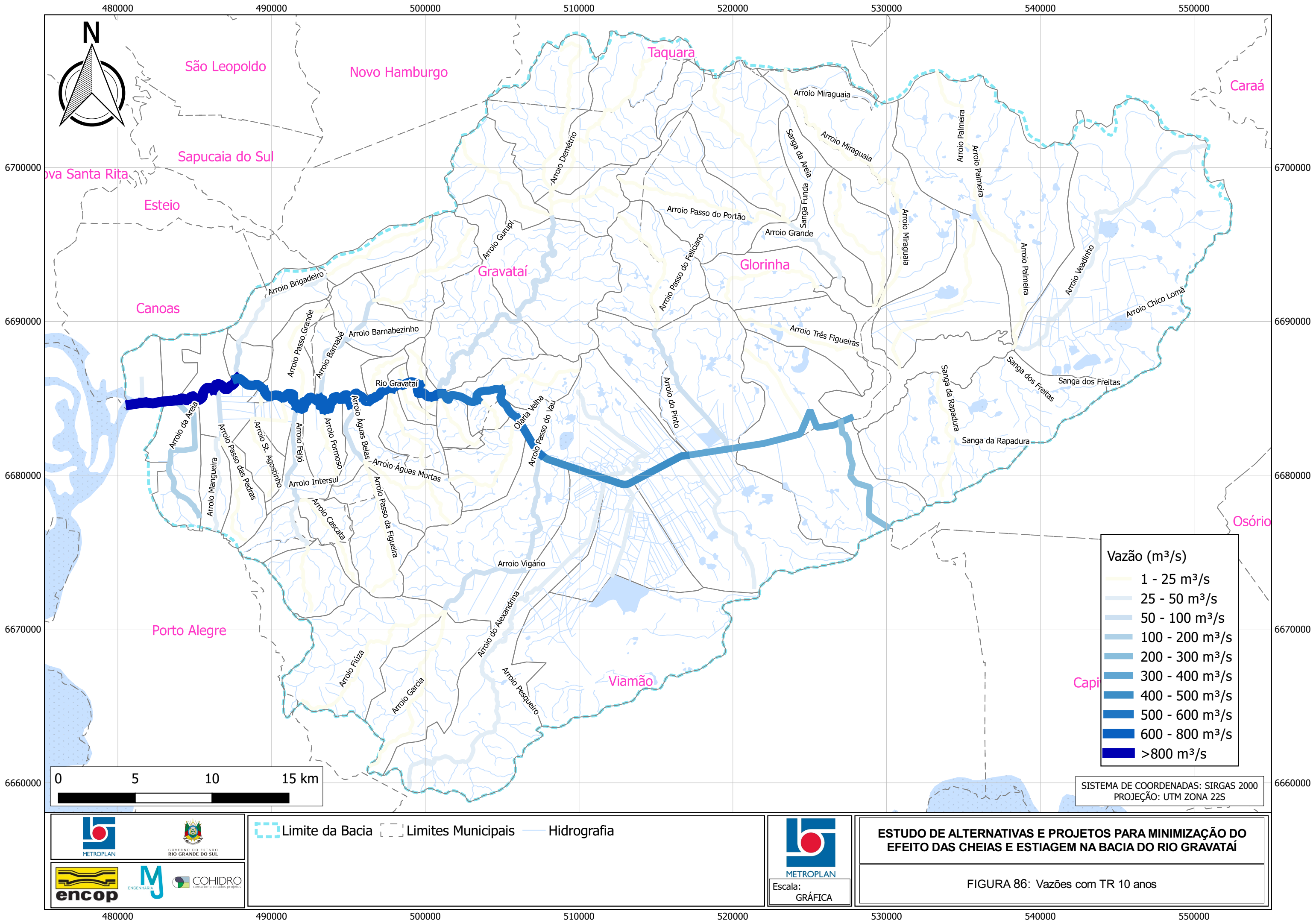
- Níveis do Banhado Grande e Banhado dos Pachecos: **N99%** da série histórica
- Capacidade disponível de interceptação: **0%**
- Capacidade disponível de retenção no solo: **0%**

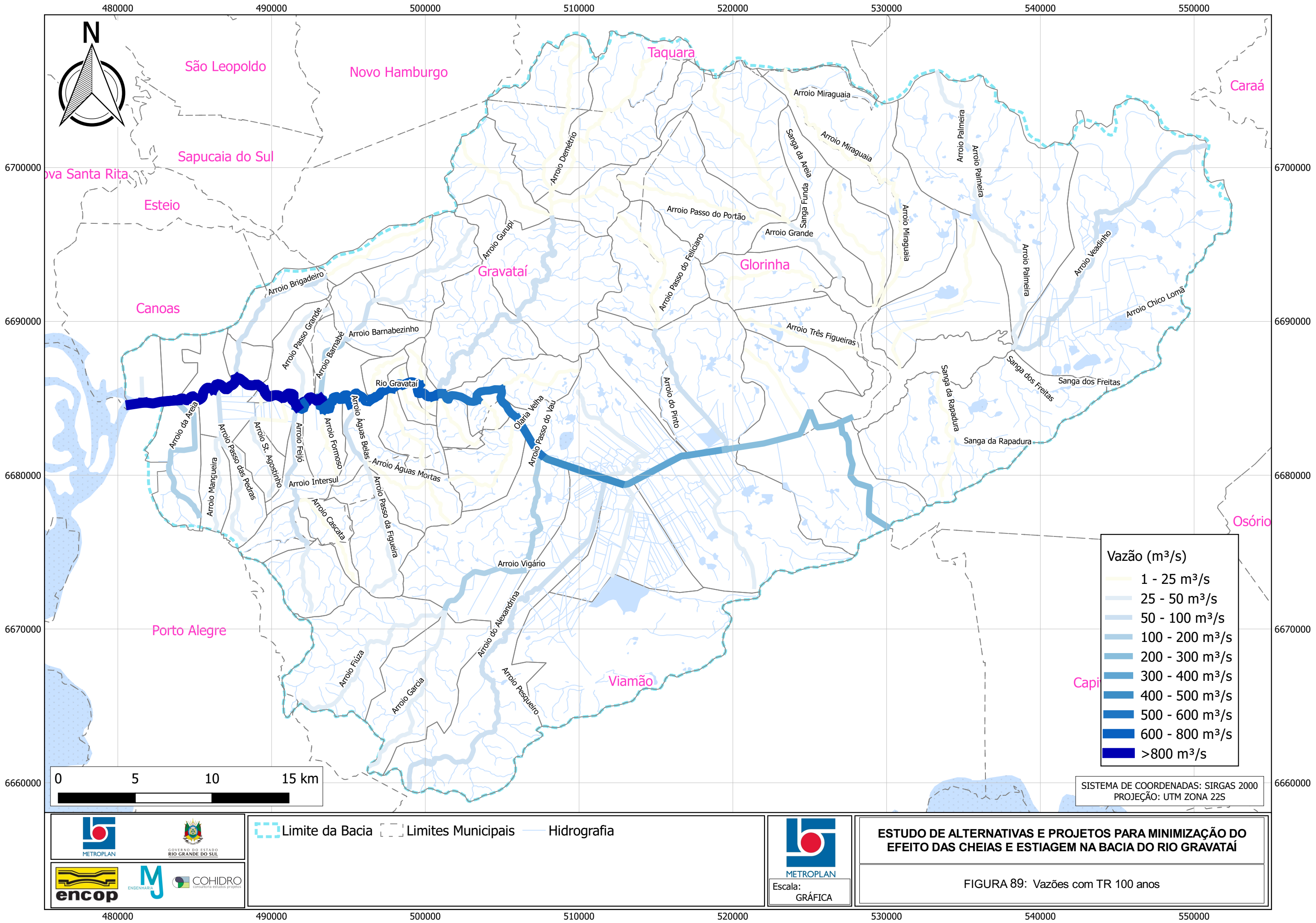
8.2.5 Resultados

A Figura 85, a Figura 86, a Figura 87, a Figura 88 e a Figura 89 apresentam as vazões com tempo de referência TR = 5, 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente.

As análises dos eventos de cheia serão complementadas no Relatório de Simulações Hidráulicas, PRODUTO 11 do ESTUDO.







9 REFERÊNCIAS

- BASTOS, M. A. (2014) - Estimativa de Vegetação para o Mapeamento de Lavouras de Arroz Irrigado na Bacia do Rio Gravataí no Estado do Rio Grande do Sul – Dissertação de Mestrado;
- BRAGA, L.S., CUADRA, S. V., PINTO, L. B (2015) – Comparação dos métodos de estimativa de ETP para o RS – XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Lavra – MG.
- COMITÊ GRAVATAHY (2011) - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gravataí.
- Disponível em: <<http://www.ntsg.umn.edu/project/mod16>>. Acesso em: 06 out. 2016.
- EMATER – séries históricas (2006 – 2015);
- GUASSELLI L. A. (2013) - Os impactos do cultivo de arroz irrigado sobre as áreas úmidas da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande do Rio Gravataí – RS – XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil;
- IPH/CPRM (2002) - Identificação das Alternativas Possíveis e Prováveis para Regularização das Vazões do Rio Gravataí, IPH/CPRM. Porto Alegre.
- IRGA (2013 a 2016) - Boletins de Safras.
- LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO DO CENTRO DE ECOLOGIA UFRGS (2002) - Classificação de vegetação do RS;
- LEITE, M. G. (2011) - Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação no Banhado Grande, Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS.
- MODIS GLOBAL EVAPOTRANSPIRATION PROJECT (2016) - Numerical Terradynamic Simulation Group. (MOD16).
- MORAES, E. C.; OLIVEIRA, G. (2015) - Utilização de dados MOD16 para análise da evapotranspiração em remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado de São Paulo entre 2000 e 2010. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17, João Pessoa. Anais. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 1059 - 1066.
- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. (2011) - Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. Remote Sensing of Environment, v. 115, n. 8, p. 1781-1800.
- Prefeitura Municipal de Alvorada (2013) - Plano de Saneamento Básico de Alvorada.
- PRHBHRG (2012) - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – Governo do Estado do Rio Grande do Sul.
- RUHOFF, A. L. (2011) - Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais. 2011. 166 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- RUHOFF, A. L. (2015) – Validação do Modelo de Estimativa de Evapotranspiração MOD16 no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) – XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Brasília.

SARTORI, A., NETO, F. L., GENOVEZ, A. M (2005) - 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, volume 10, n. 4, out/dez, 2005.

SEMA (2006) - Plano Estadual de Recursos Hídricos.

TUCCI C. E. M. (2009) – Hidrologia – Ciência e Aplicação.

USACE –HEC-RAS (2010) - River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, US Army Corp of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Davis (CA). January - 2010.

USACE-HEC-HMS (2000) – Hydrologic Modeling System – Technical Reference Manual.

ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; NEMANI, R.; RUNNING, S. W. (2005) - Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. Remote Sensing of Environment, v. 95, n. 2, p. 164-176.

10 ANEXO

10.1 Influência do Remanso do Rio Guaíba na Estação Passo das Canoas Auxiliar

Devido à amplitude de níveis do Rio Guaíba e Estação Passo das Canoas Auxiliar assume-se que possa existir um efeito de jusante que possa alterar a relação cota x descarga na estação fluviométrica (Figura 90).

O intuito desta seção é verificar a existência de tal efeito e, se existente, quantificar o impacto de tal. Para tal serão utilizadas três análises distintas utilizando os dados dos resumos de descarga da Estação Passo das Canoas (medições reais) e cotas da Estação Praça da Harmonia (cota do Rio Guaíba).

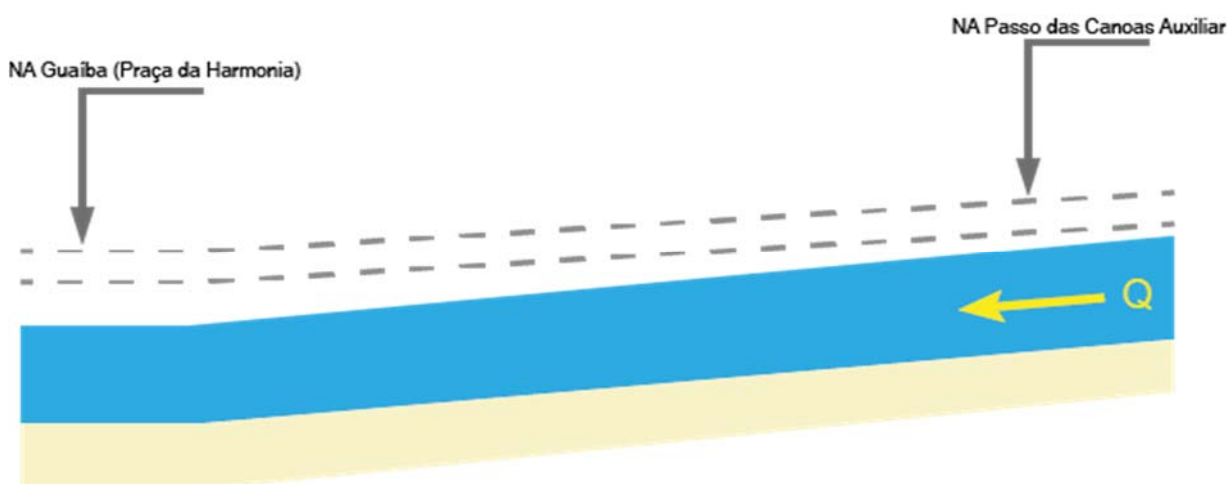


Figura 90 - Influência dos níveis do Guaíba para mesma vazão [Q] na Estação Passo das Canoas
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

10.1.1 Análise 1: Cota de Fundo da Estação Passo das Canoas Auxiliar

Caso a cota de fundo da seção hidráulica Passo das Canoas esteja acima da cota máxima prevista para o Rio Guaíba é seguro assumir que tal não sofrerá efeitos de montante.

Cota de Fundo da Estação: - **1,15 metros**

Cota Estimada para TR 100 anos: **3,36 metros**.

Conclusão 1: pode haver efeito de remanso.

10.1.2 Análise 2: Curva de Descarga por Trechos

É uma prática comum a divisão de uma curva (equação) de cota x descarga em trechos, definidos por alterações geométricas importantes na seção hidráulica ou, como neste caso, efeitos que possam ocorrer a partir de determinadas cotas.

Para tal foi dividida em 3 três a curva de descarga da estação:

- **Trecho A:** cotas/vazões elevadas onde não existe ou é insignificante o efeito de jusante devido à elevação da cota da superfície hidráulica ser significativamente maior que o nível do Guaíba. A aderência à uma equação de ajuste deve ser boa sem inserção da variável do nível do Guaíba.
- **Trecho B:** trecho de transição. A partir desta cota pode existir influência dos níveis do Rio Guaíba.
- **Trecho C:** cotas menos elevadas, neste trecho a influência (se existir) deve ser significativa. A diferença de cotas entre Praça da Harmonia (Rio Guaíba) e Passo das Canoas Auxiliar é pequena.

A Figura 91 e Quadro 68 apresenta os trechos da curva de descarga conforme a descrição apresentada acima (apenas datas onde existem medições em ambas estações).

Os pontos circulados apresentam velocidades médios menores que 0,03 m/s, o que representa o limite inferior da capacidade de medição de um molinete/micromolinete, ou seja, são dados que podem ser considerados duvidosos, mas não podem, a princípio, serem descartados.

Passo das Canoas Auxiliar - Curva de Descarga

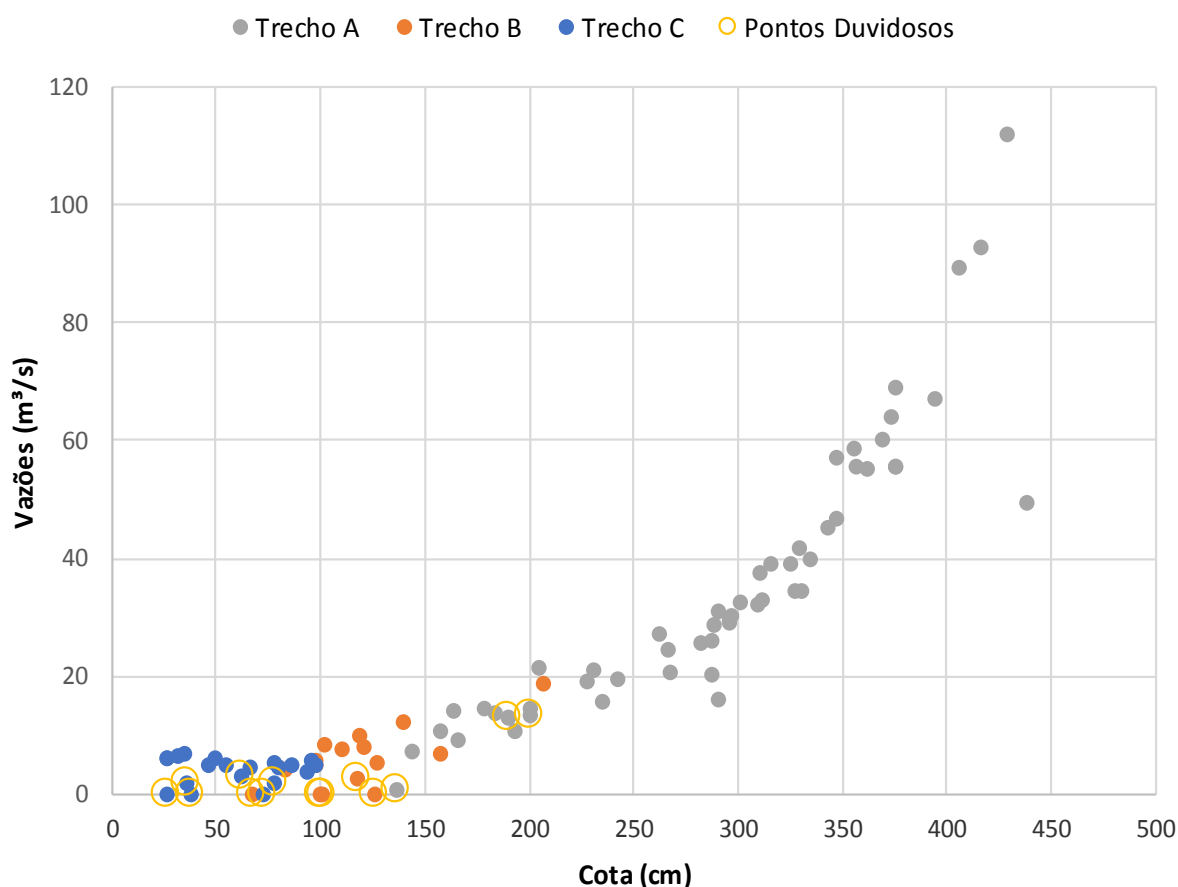


Figura 91 - Passo das Canoas Auxiliar - Trechos das Curvas de Descarga
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Quadro 68 - Passo das Canoas Auxiliar e Praça da Harmonia, diferença de cotas.

Trecho	Data	Praça da Harmonia (cm)	Passo das Canoas Auxiliar (cm)	Diferença
		[A]	[B]	[B-A]
C	09/12/1991	110	26	-84
C	13/12/1988	114	38	-76
C	04/12/1992	94	55	-39
C	18/12/1992	68	32	-36
C	28/11/1991	81	50	-31
C	14/05/1993	61	35	-26
C	16/02/2000	88	62	-26
C	17/03/1989	50	26	-24
C	13/09/1991	102	80	-22
C	29/12/1991	47	26	-21
C	27/01/1989	59	46	-13
C	13/11/2006	81	73	-8
C	12/08/1988	102	96	-6
C	11/03/1988	41	36	-5
C	18/12/1987	95	94	-1
C	26/05/1997	51	66	15
C	14/02/1989	61	78	17
C	22/02/1999	65	86	21
C	23/01/2002	55	78	23
B	13/10/1980	72	98	26
B	14/05/1999	49	83	34
B	26/05/2000	67	102	35
B	12/11/1991	71	110	39
B	23/06/1989	26	67	41
B	20/05/1988	56	101	45
B	06/11/2006	45	100	55
B	03/02/1992	40	98	58
B	01/10/2003	100	158	58
B	28/11/2000	67	127	60
B	26/05/1992	60	121	61
B	21/04/1989	64	126	62
B	09/11/2001	55	119	64
B	08/05/1980	75	140	65
B	27/04/1988	51	118	67
B	14/08/1989	134	207	73
A	21/11/2006	62	136	74
A	19/06/1996	62	144	82
A	05/11/1992	103	190	87
A	16/06/2005	78	165,5	87,5
A	30/09/1993	66	158	92
A	20/03/1995	69	164	95
A	16/10/1995	114	228	114
A	27/03/1992	78	201	123
A	11/02/1988	60	184	124
A	23/11/1992	59	190	131

Trecho	Data	Praça da Harmonia (cm)	Passo das Canoas Auxiliar (cm)	Diferença
		[A]	[B]	[B-A]
A	09/03/1993	42	178	136
A	18/08/2000	57	193	136
A	27/01/1988	63	205	142
A	05/08/2006	92	235	143
A	22/05/1989	80	231	151
A	02/08/2004	158	312	154
A	23/07/1987	137	296	159
A	11/09/1992	97	262	165
A	27/11/1987	34	200	166
A	16/10/1987	107	288	181
A	17/08/1999	60	242	182
A	25/02/2003	83	268	185
A	09/08/2001	103	291	188
A	12/07/1996	78	282	204
A	12/07/1988	85	291	206
A	03/06/2002	76	289	213
A	30/06/2003	72	287	215
A	13/11/1996	50	267	217
A	27/06/1987	75	301	226
A	25/09/1987	74	310	236
A	19/02/1998	88	329	241
A	15/09/1988	97	343	246
A	09/10/1992	44	296	252
A	20/08/1996	60	316	256
A	28/05/1987	51	311	260
A	27/06/1995	86	347	261
A	16/09/2002	62	330	268
A	24/06/1988	26	297	271
A	19/11/1997	53	327	274
A	23/05/2007	41	325	284
A	13/07/1989	84	369	285
A	03/08/1992	88	376	288
A	10/06/1994	73	362	289
A	04/08/1980	116	406	290
A	27/08/1998	63	356	293
A	25/10/1994	135	429	294
A	15/05/2001	41	335	294
A	21/09/1989	49	347	298
A	01/09/1987	86	394	308
A	28/06/1982	66	376	310
A	23/08/1993	60	376	316
A	18/05/1998	41	357	316
A	21/09/2005	52	373,5	321,5
A	24/02/1994	62	416	354
A	25/08/1997	59	438	379

(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 92 apresenta a curva de descarga para o trecho A, onde as cotas na Estação Passo das Canoas Auxiliar são significativamente maiores na Estação Praça da Harmonia.

Por definição este trecho da curva não apresenta influência de remanso, o que pode ser observado por uma tendência independente dos níveis do Rio Guaíba.

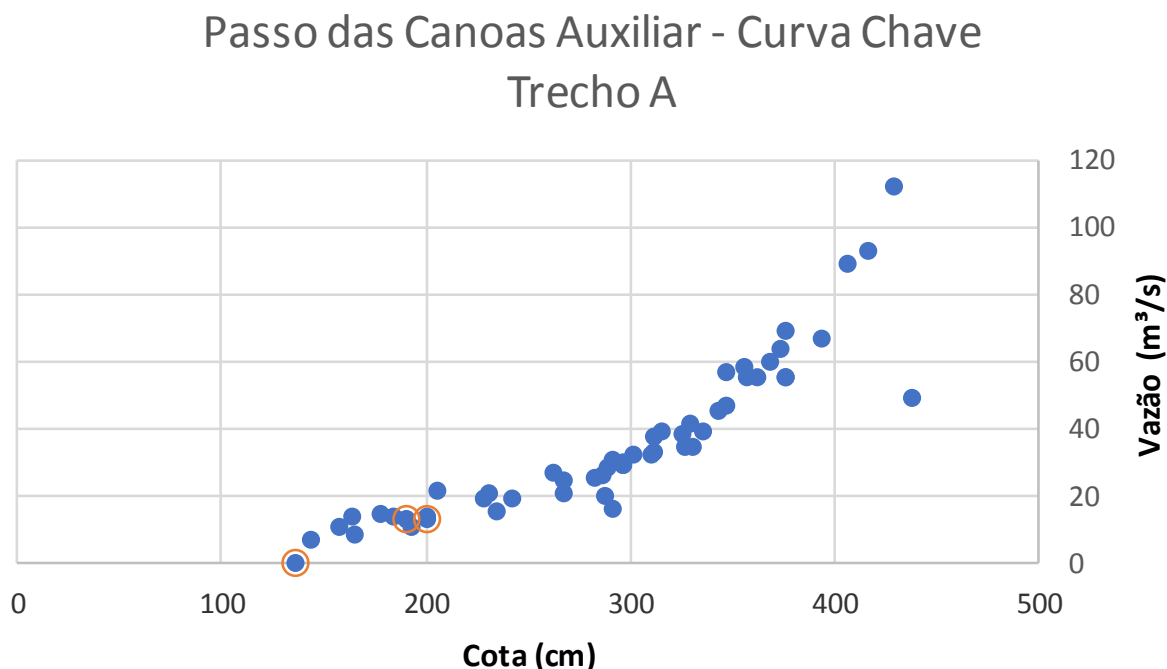


Figura 92 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho A
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

A Figura 93 apresenta a curva de descarga no trecho B, onde pode-se observar uma dispersão maior dos resultados considerando apenas a variável de cota na Estação Passo das Canoas Auxiliar. A dispersão maior pode ser devido à incerteza na medição das menores vazões ou influência de outra variável, no caso o nível no Rio Guaíba.

A Figura 94 apresenta a cota na estação Passo das Canoas x Praça da Harmonia. Pode-se observar através deste gráfico que existe uma grande correlação ($R^2=0,83$) entre ambas variáveis, isto significa que as cotas em ambos locais estão intrinsicamente relacionadas. Desta forma um ajuste que considere ambas as variáveis não incrementará o conhecimento do problema (cota x vazão).

É possível que neste trecho existe influência de remanso mas devido à correlação estatística não é necessária a inserção da variável de nível de jusante.

A Figura 95 apresenta o trecho C da curva de descarga, ou seja, as cotas da Estação Passo das Canoas Auxiliar onde existem o maior potencial de influência do remanso.

Pode-se observar uma grande dispersão dos valores e uma baixa relação entre cota e vazão. Todos os pontos de menor vazão ($Q > 3 \text{ m}^3/\text{s}$) estão entre os duvidosos devido a baixíssima velocidade média na seção de medição ($v < 0,3 \text{ m/s}$).

A grande dispersão dos valores pode ser devido à influência do nível do Guaíba mas ao analisar-se a Figura 96, onde estão apresentadas as diferenças de cotas entre a Estação Passo das Canoas Auxiliar e Praça da Harmonia, não se pode observar uma tendência entre as vazões na seção e o desnível hidráulico.

É possível que exista a influência do remanso mas tal não pode ser efetivamente quantificado pois a dispersão dos valores (provavelmente devido a acurácia dos equipamentos ou inerente ao processo de medição) é muito significativa nesta faixa de vazões tornando os resultados inconclusivos.

Conclusão 2: não há efeito de remanso para o Trecho A ($Q > 150 \text{ m}^3/\text{s}$). O trecho B ($50 < Q < 150 \text{ m}^3/\text{s}$) pode apresentar efeito de remanso mas devido à dependência estatística entre as variáveis não é necessário considera-lo no ajuste.

O trecho C ($Q < 50 \text{ m}^3$) apresenta uma grande dispersão dos resultados não sendo possível uma quantificação apropriada de tal.

Passo das Canoas Auxiliar - Curva Chave Trecho B

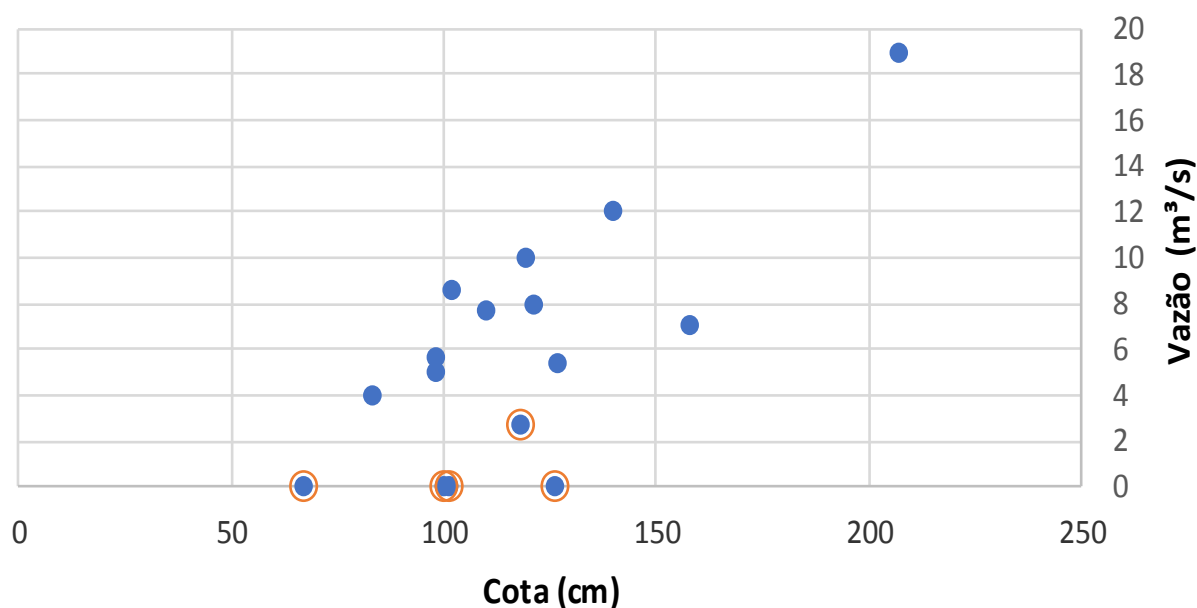


Figura 93 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho B
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Passo das Canoas Auxiliar - Curva Chave Trecho B

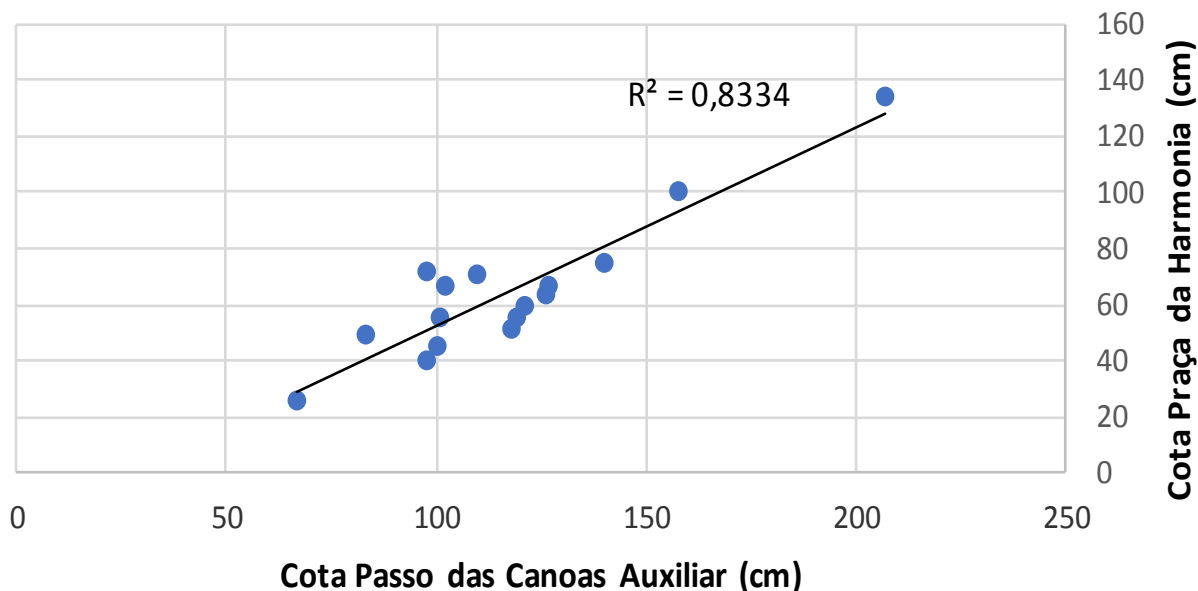


Figura 94 - Cota Passo das Canoas x Praça da Harmonia – Trecho B
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Passo das Canoas Auxiliar - Curva Chave Trecho C

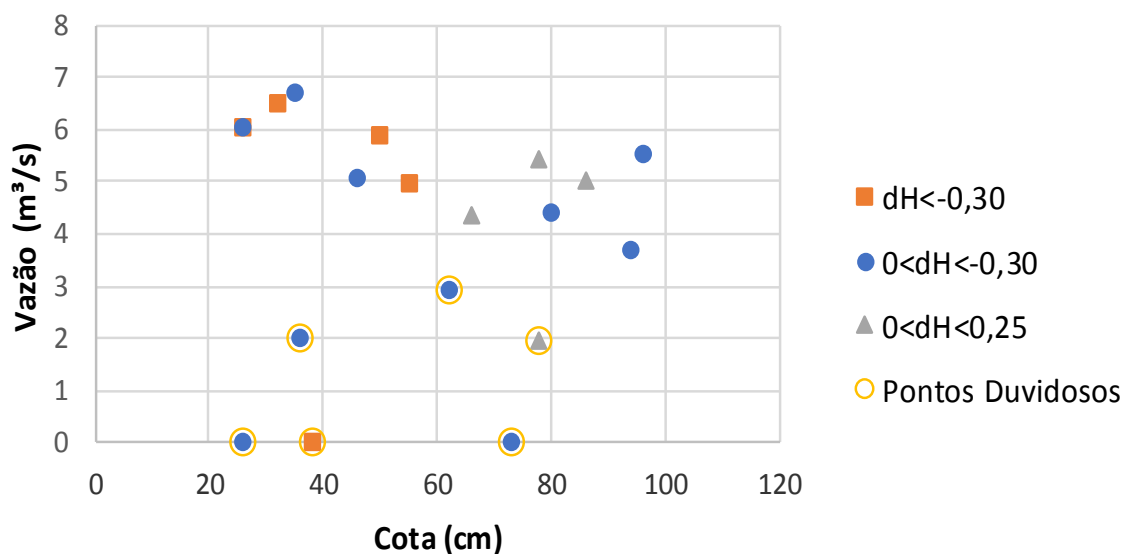


Figura 95 - Curva de descarga Passo das Canoas Auxiliar – Trecho C
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Passo das Canoas Auxiliar - Curva Chave Trecho C

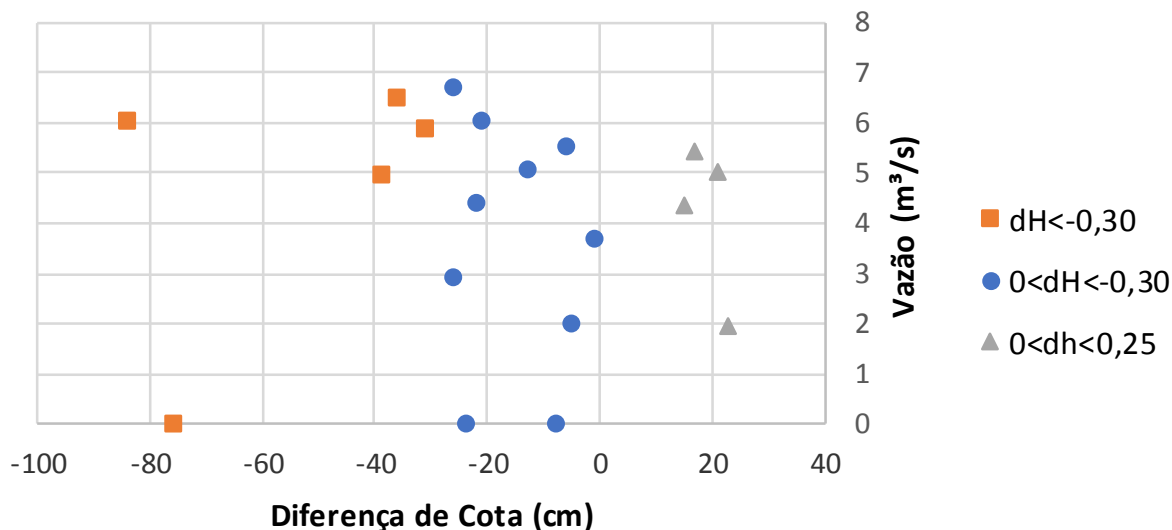


Figura 96 - Diferença de cotas entre Passo das Canoas Auxiliar e Praça da Harmonia – Trecho C
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

10.1.3 Análise 3: Curva Chave por Equação de Manning

Na falta destas informações para se analisar o potencial da influência do remanso e utilizando-se dos levantamentos topobatimétricos realizados, foi simulada uma seção hidráulica no trecho da estação Passo das Canoas Auxiliar.

A Figura 97 mostra a seção hidráulica construída a partir dos levantamentos topobatimétricos realizados neste trabalho enquanto a Figura 98 mostra a comparação da largura da superfície da seção hidráulica medida em campo (resumo de descarga) e utilizada na simulação.

Seção Hidráulica - Passo das Canoas Auxiliar

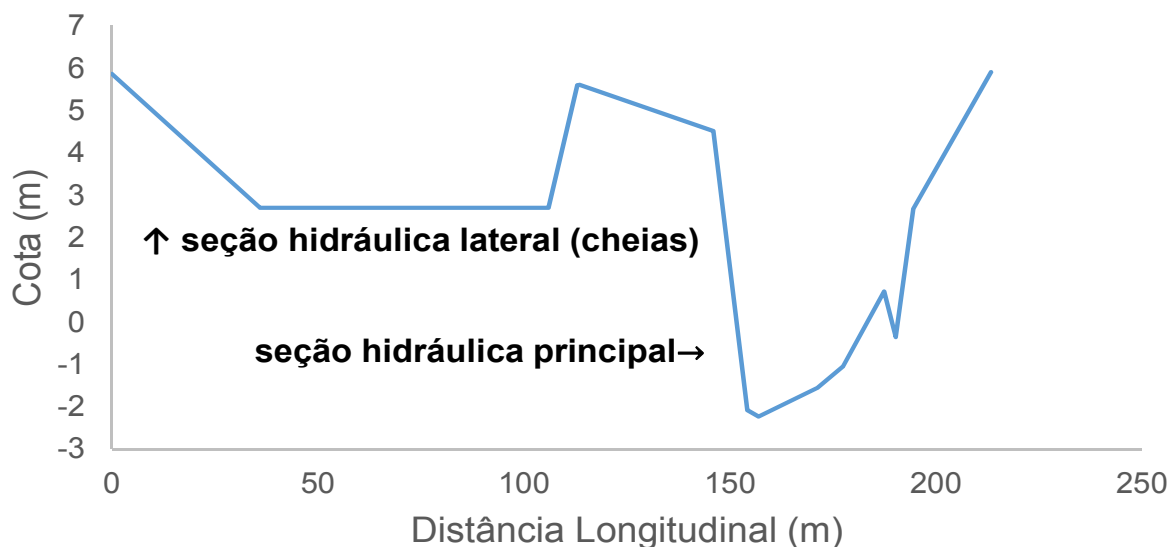


Figura 97 - Seção hidráulica na estação Passo das Canoas Auxiliar.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

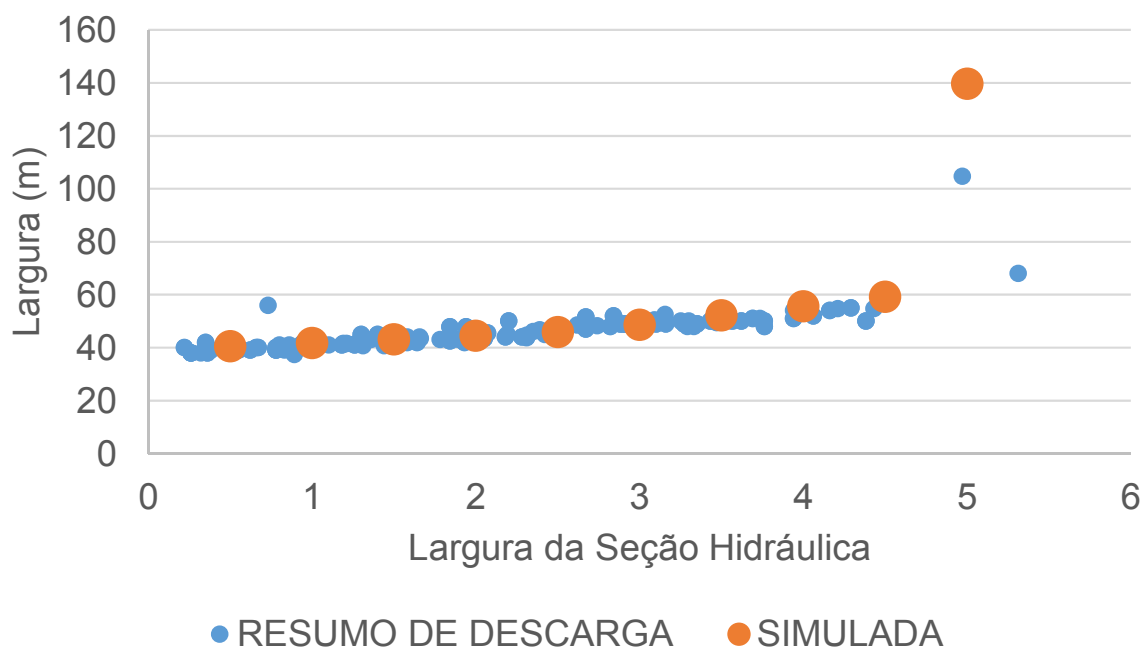


Figura 98 - Comparação da largura da seção hidráulica: seção simulada x resumos de descarga.
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Considerando a seção hidráulica proposta como adequada, a curva de descarga foi gerada a partir da utilização da equação de Manning para uma declividade de fundo de 0,001 m/m e uma rugosidade composta de 0,035 + 0,1 (fundo/margens).

A Figura 99 mostra uma boa aderência entre a curva do resumo descarga obtida a partir da fórmula de Manning e dos pontos de cota x vazão medidos nos resumos de descarga, sem considerar qualquer efeito de remanso. Isto leva a crer que o efeito dos níveis do Rio Guaíba é inexistente ou de tal magnitude que pode ser desprezado.

Desta forma, havendo uma relação única de cota x vazão a equação da curva de descarga proposta é a seguinte:

$$Q = 1,461 * h^3 + 8,4318 * h^2 + 19,109 * h + 20,244$$

Onde:

Q: vazão em m³/s e

H: cota medida na estação Passo das Canoas Auxiliar mais uma correção de referência de cota de (-2,50 m).

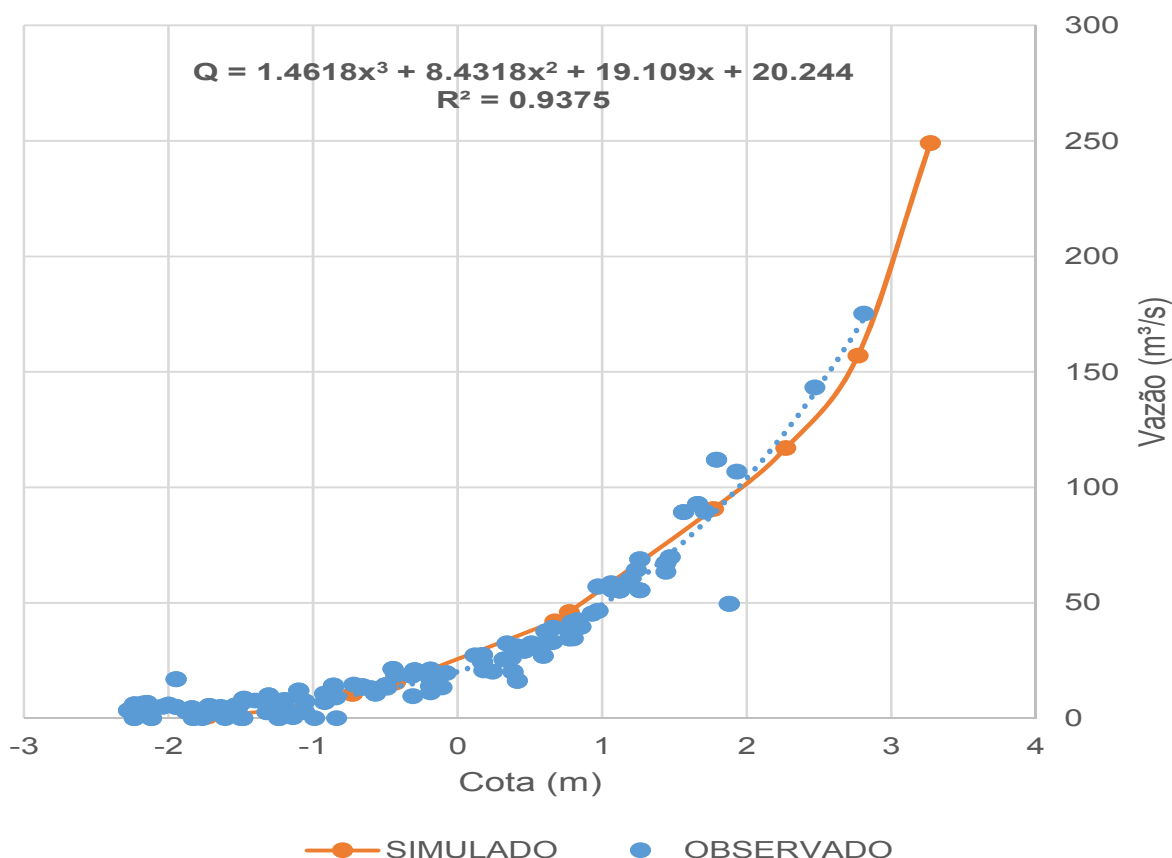


Figura 99 - Comparação das vazões observada (resumo de descarga) com as vazões obtidas
(Fonte: Consórcio Metroplan Bacia do Rio Gravataí)

Conclusão 3: o ajuste da curva chave é significativamente representativo da relação cota x vazão sem considerar os efeitos de remanso.