

DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS DA LAGOA MIRIM E RIO CAMAQUÃ COM BASE NA REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO A 95% DE PERMANÊNCIA

Andrea de Oliveira Germano¹ e Patricia Wagner Sotério²

Resumo – Este artigo apresenta os resultados da regionalização de vazões da sub-bacia 88, considerando os estudos anteriormente desenvolvidos. Foram definidas duas regiões hidrologicamente homogêneas para a vazão Q95%. As equações regionais da Q95%, baseadas nos valores de área de drenagem e precipitação média anual, apresentaram erros médios de estimativa inferiores a 19%. Os resultados da regionalização foram aplicados na verificação da disponibilidade hídrica da bacia com base nos pontos outorgados pelo Departamento Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul.

Abstract – This paper brings the results of discharges regionalization of the basin 88, considering the previous studies. Two regions were defined hydrologically homogeneous flow for Q95%. The equations regional Q95% based on the values of drainage area and average annual rainfall, showed average errors of estimate bellow 19%. The results of regionalization were applied to verify the availability of water in the basin based on points awarded by the state Department of Water Resources of the State of Rio Grande do Sul.

Palavras-Chave – regionalização, disponibilidade hídrica, Lagoa Mirim e Camaquã.

INTRODUÇÃO

Em princípio, a caracterização do regime hidrológico de um curso de água é feita para as seções onde existem estações fluviométricas, com disponibilidade de registros contínuos de cotas limimétricas e medições sistemáticas de descarga líquida.

Para as seções fluviais que não dispõem de monitoramento hidrométrico a caracterização do regime hidrológico pode ser feita com emprego de técnicas de regionalização, baseadas na transferência de informações das estações fluviométricas. A aplicação de técnicas de regionalização pressupõe a existência de uma uniformidade hidrológica, baseada nos aspectos de pluviometria, climatologia, geologia, hidrogeologia, vegetação e relevo.

Segundo *Tucci* (2000) a regionalização não pode ser vista como um método de extrapolação, devido à variabilidade dos processos hidrológicos e por isso nenhum estudo poderá substituir uma rede adequada de monitoramento.

¹ Engenheira Hidróloga da CPRM. Rua Banco da Provincia, 105 Porto Alegre, RS. Fone: 51 34067307 Fax: 51 3233 7772.

E-mail: Andrea.germano@cprm.gov.br

² Hidrotécnica da CPRM. Rua Banco da Provincia, 105 Porto Alegre, RS. Fone: 51 34067359 Fax: 51 3233 7772.

E-mail: patricia.soterio@cprm.gov.br

Na caracterização da região são reunidas informações que auxiliam a compreensão em termos conceituais dos processos hidrológicos e a identificação das regiões homogêneas.

As vazões mínimas representam o limite de exploração de um manancial nas condições a fio-d'água, considerando a demanda prevista e a manutenção do fluxo residual para jusante, segundo os preceitos da legislação que regulamenta os processos de outorga para uso da água.

A vazão de referência é um conceito relativamente novo no Brasil, datando de janeiro de 1997, ano em que foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433. A preocupação do homem com relação ao meio ambiente também contribuiu de alguma forma para o interesse a respeito desta demanda.

As Instituições responsáveis pelo Licenciamento e Outorga do Uso da Água, tanto Estaduais como Federais, envolvidas no Gerenciamento dos Recursos Hídricos, utilizam critérios diferentes na determinação da Vazão de Referência, na maioria dos casos é utilizada a Vazão de Permanência igual a 95%, ou seja, a Q95.

O estudo de regionalização de vazão desenvolvido na CPRM apresenta uma atualização dos resultados da regionalização de vazões da Vazão de Permanência Q95, da sub-bacia 88. A sub-bacia 88 corresponde à área de drenagem situada em território nacional, que drena para a lagoa Mirim e para o canal de São Gonçalo, inclui a bacia do rio Jaguarão e as áreas que drenam para o Atlântico, entre a saída da lagoa dos Patos e o arroio Chuí, exclusive. Devido à ligação com a Lagoa dos Patos, através do canal de São Gonçalo, foram incorporados neste estudo os dados da Sub-bacia 87, apenas da bacia do rio Camaquã por sua influência na Lagoa dos Patos.

Além dos dados fornecidos pela ANA – Agência Nacional de Águas, oriundos da rede de monitoramento hidrometeorológico, e do acervo técnico da própria CPRM, empreendeu-se uma coleta extensiva de informações básicas junto às diversas entidades operadoras de rede e concessionárias de energia elétrica atuantes na bacia, além das informações disponíveis que caracterizam fisicamente a região.

Os resultados dos estudos de regionalização da Q95% são capazes de auxiliar a estimativa de vazões disponíveis para projetos de irrigação, de pequenas centrais hidrelétricas, além de subsidiar a outorga do uso da água, sendo também informações fundamentais aos estudos de Zoneamento Ecológico Econômico.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim, sub-bacia 88, está situada no extremo sul do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 31°30'S e 34°33'S e entre as longitudes 52°15'WGR e 54°15'WGR, correspondendo a uma superfície de drenagem de aproximadamente 62.250 km², dos quais 26.930 km² em território brasileiro e o restante em território uruguaio, constituindo uma bacia com corpo hídrico fronteiriço onde prevalece o regime de águas compartilhadas (Tratado de Limites de 1909 e Tratado da Lagoa Mirim de 1977). A Lagoa Mirim, como corpo de água principal da bacia, possui uma área aproximada de 3.750 km², uma extensão de 185 km e uma largura média de 20 km, ligada à Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo, o qual, por sua vez, apresenta uma extensão de 76 km. A Bacia da Lagoa Mirim inclui a sub-bacia do rio Jaguarão e as áreas que drenam para o Atlântico, entre a saída da Lagoa dos Patos e o Arroio Chuí.

A bacia da lagoa Mirim divide-se em oito bacias hidrográficas menores que são:

- No Brasil: a bacia do São Gonçalo (9.147 km²), cujo principal afluente é o o rio Piratini, a bacia do Arroio Grande (4.080 km²), que incorpora, dentre outros, o próprio Arroio Grande e o Arroio Chasqueiro e a bacia do Litoral (6.416 km²), onde estão localizados o Banhado do Taim e a Lagoa Mangueira, entre outras menores;
- No Uruguai: a bacia do Tacuarí (5.143 km²), a bacia do Cebollatí (17.328 km²), a bacia do Sarandí (1.266 km²) e a bacia do San Miguel (6.933 km²), integrada pelo San Miguel e por outros rios de menor expressão; de forma conjunta, na divisa entre o Brasil e o Uruguai, está a bacia do rio Jaguarão, com 8.188 km².

A Lagoa Mirim está unida à Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo com uma extensão de 76 km.

A sub-bacia do rio Camaquã tem forma alongada e está compreendida entre as latitudes 30°30' e 31°15'S e longitude de 51°45' e 54°30' WGR. Está quase que inteiramente localizada na região conhecida como Escudo Cristalino Sul Rio Grandense e tem os seguintes limites: Norte - as extremidades norte do Escudo Cristalino que constituem o divisor de águas com a bacia do Jacuí, com algumas denominações locais mais conhecidas como: serra da Encruzilhada, das Encantadas e da Caçapava; Sul - os movimentos orográficos que constituem o divisor de águas da bacia do Piratini e de outros tributários da lagoa dos Patos com as denominações locais de serra do Canguçu, coxilha de Santo Antônio, cerro da Madeira e serra dos Correias; Leste - a lagoa dos Patos; Oeste - as extremidades sul da coxilha do Batovi e norte da coxilha do Heado. Conforme ilustrado na Figura 1.

No seu alto curso, o rio Camaquã atravessa uma região onde as principais cidades são: Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul, Lavras do Sul e Santana da Boa Vista.

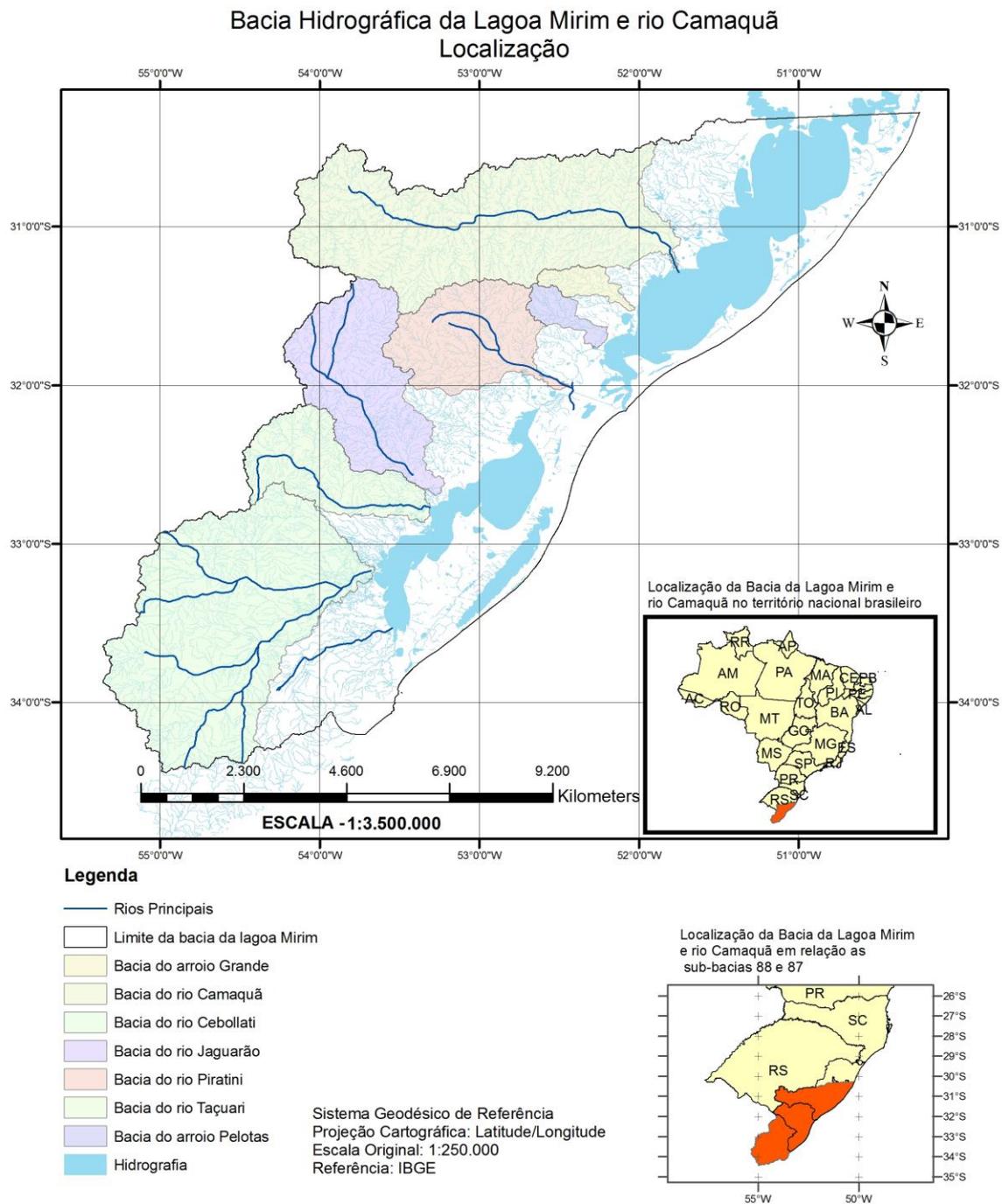


Figura 1. Localização da sub-bacia 88 e parte da sub-bacia 87 na região Sul e na bacia 8 – Bacia do Atlântico Sul.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas características fisiográficas das bacias. Esses dados foram determinados a partir das bases cartográficas, na escala 1:250.000, que contemplam a área da sub-bacia 88 e do rio Camaquã.

Tabela 1 - Características Fisiográficas das bacias dos principais rios da sub-bacia 88 e 87 somente sub-bacia do rio Camaquã

Nome da Sub-Bacia	Comprimento Total (km)	Área de Drenagem (km ²)	Perímetro (km)	Coefficiente de Compacidade (Kc)	Fator de Forma (Kf)	Declividade (S) (%)
Rio Camaquã	414,0	16.803	953,4	0,032	0,10	0,094%
Rio Cebollati	264,9	17.328	798,0	0,026	0,25	0,093%
Rio Tacuarí	200,9	5143	468,0	0,051	0,13	0,144%
Rio Piratiní	141,4	9147	459,8	0,028	0,46	0,205%
Arroio Grande	75,1	852	195,0	0,128	0,15	0,386%
Arroio Pelotas	94,1	892	205,9	0,129	0,10	0,141%
Rio Jaguarão	205,5	8188	572,4	0,039	0,19	0,414%
Rio Camaquã	414,0	16.803	953,4	0,032	0,10	0,094%

METODOLOGIA

O estudo de regionalização das sub-bacias 88 (Jaguarão, Lagoa Mirim e outros) e 87 (Camaquã) baseou-se na metodologia consolidada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, reunida e apresentada em Tucci (2000) e adotado nos estudos de 2001 pela CPRM (CPRM/ANEEL, 2001 e CPRM, 2002).

A metodologia empregada neste trabalho foi a que regionaliza a vazão Q95%, com base nas variáveis explicativas, área de drenagem e precipitação total anual média, adotando-se para tanto equações que melhor se ajustem à correlação definida entre a Q95% e essas variáveis.

Foram coletados todos os dados possíveis e pré-selecionadas todas as estações com mais de cinco anos completos de vazão fluvial. Na seleção das estações fluviométricas para a análise regional, foram ainda empreendidos testes de estacionariedade (t – Student para as médias e F – Fisher para as variâncias) das séries de vazões médias anuais, utilizando para tanto, o programa HIDROCAL, desenvolvido pela CPRM em 2009. Neste trabalho, esses testes foram efetuados objetivando identificar os períodos das séries que apresentassem comportamento diferenciado em

relação aos períodos restantes, para que com isso, seja pesquisada a procedência dessa perturbação, ou seja, verificar se esse comportamento pode ser atribuído a processos aleatórios ocorridos nos postos ou é regional. Com base nas conclusões obtidas, o período problemático pode ser excluído da série de vazões ou até mesmo a estação ser não aceita no estudo.

As variáveis explicativas utilizadas na análise regional da Q95% são grandezas fisiográficas e meteorológicas (climáticas) da região em estudo, sendo estas determinadas de uma base cartográfica disponível e do uso das ferramentas do Programa ArcGis 9.3.

As magnitudes da vazão de 95% de permanência foram definidas pela interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para a frequência de 95%. Essas curvas expressam a relação da vazão com a frequência que a mesma tende de ser superada e são normalmente determinadas para as séries de vazões diárias.

Calcularam-se ainda indicadores hidrológicos regionais, assim como foram estabelecidos gráficos da Q95% adimensional e das curvas de permanência adimensionais, visando à seleção de agrupamento de estações fluviométricas para a definição preliminar das regiões hidrológica e estatisticamente homogêneas para a Q95%. O limite dessas regiões foi a *priori* estabelecido com base no contorno externo do somatório das áreas de contribuição às estações, reunidas em cada agrupamento proposto.

Do diagnóstico inicial dessas regiões, foram ajustadas equações de regressão da Q95% para o conjunto de estações abrangidas por essas regiões, sendo a sua performance de estimativa avaliada pelo erro relativo médio e R². Esses ajustes consideraram as combinações possíveis entre as variáveis explicativas determinadas no escopo desse estudo (área de drenagem e precipitação total média anual). Foi utilizado o programa EXCEL para definição das equações de ajuste, com base na sua ferramenta de análise de dados para a regressão. As equações de regressão estabelecidas foram lineares ou de potência, simples ou múltiplas, dos tipos:

$$Q95\% = aA + bP + cDD + \dots$$

$$Q95\% = aA^b P^c DD^d \dots$$

Diversas tentativas de agrupamento de estações foram efetuadas, a fim de maximizar a performance de estimativas das equações regionais da Q95%, considerando o número mínimo de 5 estações. Nesse sentido, as regiões homogêneas definitivas foram estabelecidas considerando a proximidade entre as estações e os melhores resultados estatísticos das equações da Q95% ajustadas para essas tentativas de agrupamento de estações.

Identificadas e confirmadas as regiões hidrologicamente homogêneas com base na análise de regressão da Q95%, foram então determinadas as equações regionais de regressão da Q95%, em

função das variáveis explicativas área de drenagem e precipitação total média anual e definidos os seus limites de validade. A análise mais qualitativa de mapas temáticos tais como os de geologia, hidrogeologia, solos e cobertura vegetal auxiliariam a definição dos limites das regiões.

COLETA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS

A partir do inventário das estações fluviométricas da sub-bacia 88 foram coletadas as informações disponíveis dessas estações junto aos órgãos responsáveis pela operação da rede hidrometeorológica da região: ANA, CEEE, FEPAGRO e CLM, sendo esses dados reunidos e armazenados no banco de dados em Acess, no formato Hidro versão 1.09 (aplicativo do tipo banco de dados disponibilizado pela ANA). O período de dados fluviométricos adotado neste trabalho foi aquele que se tinha disponível para a região, consistido e/ou bruto, até 2007, inclusive.

DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As características fisiográficas quantificáveis tais como área de drenagem, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade e etc. e a precipitação total anual média são grandezas que podem ser utilizadas como variáveis independentes ou explicativas na análise de regressão da variável Q95%. Neste trabalho as grandezas calculadas foram área de drenagem (A) e precipitação total anual média (P) para as 19 estações pré-selecionadas. Essas duas grandezas, em geral, são as que por si só ou em conjunto (A+P) explicam as vazões e são as de mais fácil obtenção.

A base cartográfica utilizada foi composta por um conjunto de 15 cartas topográficas na escala 1:250.000, dentre as quais 6 do projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, 1 do DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército) e as demais são originais do IBGE. As bases digitais foram compatibilizadas no ArcGis 9.3 e utilizadas como base na delimitação das áreas de drenagem das estações fluviométricas.

As áreas de drenagem das estações fluviométricas avaliadas (19 estações) foram delimitadas com base nos aplicativos do ArcGis 9.3 sobre o modelo digital do terreno da NASA, com pixel de 90m x 90m, juntamente com a hidrografia gerada no projeto sistema aquífero guarani, na escala 1:250.000, observando-se a altimetria e a hidrografia dessas cartas e o vetor limite da sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã) na escala 1:1.000.000.

Os valores das áreas de drenagem foram calculados em km², considerando a projeção continental *Albert Equal Conic Area*.

As áreas de contribuição das 19 estações fluviométricas foram comparadas às do inventário de estações fluviométricas da ANA. Na Tabela 2 são apresentadas as características físicas, climáticas e as variáveis explicativas das sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã). Pequenas diferenças foram constatadas nas estações Uruguaias.

A precipitação total anual média nas bacias de contribuição às estações fluviométricas avaliadas foi calculada com base na imagem raster de precipitação total anual (ano civil) do Brasil (Projeto Atlas Pluviométrico - CPRM, 2010), com o aplicativo do ArcGis 9.3 *ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Statistics*. Na janela desse aplicativo deve ser adicionado a imagem raster da precipitação total anual do Brasil e o limite da bacia onde o usuário quer que a precipitação média seja calculada. Os valores dos totais anuais médios referentes às áreas de contribuição das 19 estações também encontram-se na Tabela 2.

A fim de se caracterizar a fisiografia da bacia foi determinado o comprimento do curso principal e dos principais afluentes. No entanto, essa grandeza não foi quantificada para as sub-bacias contribuintes às estações fluviométricas selecionadas neste estudo, pois não se teve interesse de utilizá-la como variável explicativa das equações regionais da Q95%. Isso porque, essa variável costuma não apresentar boas correlações com Q95%.

Os traçados dos rios principais da região em estudo, a partir dos quais se calculou os comprimentos correspondentes, foram extraídos da hidrografia gerada por meio do modelo digital de terreno da região em estudo, obtido do site da EMBRAPA, com aplicativos do ArcGis 9.3. Esse hidrografia se aproximou à da carta 1:250.000.

Tabela 2 - Características físicas e climáticas – variáveis explicativas das sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã)

Nº	Código	Nome da estação	Nome do rio	Precipitação anual média (mm)	Área calculada (km²)	Área Hidro/ANA (km²)	Diferença de área %
1	87590000	Passo do Cação	Rio Camaquã	1.502	4.079	4.079	0,00
2	87670000	Passo das Carretas	Rio Camaquã	1.496	7.549	7.549	0,00
3	87730001	Passo do Marinheiro	Rio Camaquã	1.502	9.828	9.828	0,00
4	87820000	Passo da Guarda	Rio Camaquã	1.506	12.275	12.275	0,00
5	87840000	Passo São José	Rio Camaquã	1.504	12.723	12.723	0,00
6	87905000	Passo do Mendonça	Rio Camaquã	1.507	15.566	15.566	0,00
7	88200000	Paso Centurión (100)	Rio Jaguarão	1.389	4.617	4.617	0,00
8	88220000	Picada da Areia	Rio Jaguarão	1.387	5.419	5.419	0,00
9	88550000	Ponte do Império	Rio Piratini	1.587	1.869	1.869	0,00
10	88560001	Picada Nova	Rio Piratini	1.580	2.242	2.242	0,00
11	88575000	Cerro Chato	Arroio Basílio	1.485	1.056	1.056	0,00
12	88641000	Pedro Osório	Arroio Basílio	1.533	4.700	4.700	0,00
13	88680000	Passo do Ricardo	Rio Piratini	1.531	5.377	5.377	0,00
14	88750000	Passo dos Carros	Arroio Fragata	1.506	133	133	0,00
15	88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	1.615	369	369	0,00
16	89100000	Paso Borches (96,0)	Rio Tacuari	1.331	1.421	1.425	-0,27
17	89150000	Paso Drágon (97,0)	Rio Tacuari	1.298	3.539	3.540	-0,02
18	89250000	Vergara (109)	Arroio Parao	1.337	1.122	1.127	-0,42
19	89400000	Paso Averías (15,0)	Rio Cebollati	1.286	7.865	7.865	0,00

ANÁLISE DE REGRESSÃO DA VAZÃO Q95% e DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

Nesta fase de avaliação das regiões homogêneas, as equações ajustadas para a Q95% foram estabelecidas considerando apenas para a variável independente área de drenagem, a fim de facilitar o trabalho de regressão, que neste estudo foi efetuado manualmente segundo as ferramentas de Análise de Dados e gráficos do Excel. Nesta avaliação, foram testados dois tipos de equações: linear e de potência. O desempenho dessas equações (linear e de potência, $Q=f(\text{área})$) foi analisado segundo dois parâmetros estatísticos R^2 e Erro Relativo Médio (ERM)³, sendo o ajuste tanto melhor quanto maior for o valor de R^2 e menor o do ERM. Neste trabalho adotou-se o número mínimo de cinco estações para o ajuste de equações de regressão.

Abaixo se encontra um resumo da metodologia adotada para a seleção das regiões homogêneas para a Q95%, na forma de passo-a-passo.

³ $EMQ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y'_i)}{y_i}$, y_i e y'_i são os valores observados e calculados, respectivamente, entre as n repetições da variável.

Passo 1: Ajuste das equações (lineares e de potência) da Q95%, considerando apenas a área de drenagem como variável independente, para todas as estações;

Passo 2: De acordo com os resultados da curva de permanência adimensional, do indicador de variabilidade regional (rcp95) e da avaliação do mapa hidrogeológico da região, para o ajuste de novas equações da Q95% ($Q=f(\text{área})$, linear e de potência). Para cada uma dessas equações foram determinados os valores de R^2 e ERM.

Passo 3: Seleção dos agrupamentos de estações que apresentassem melhor performance de estimativa da Q95%, para que com base nisto fossem definidas as regiões homogêneas, considerando para tanto, as áreas de contribuição das estações contidas em cada um dos agrupamentos de estações selecionados.

Teste 1 – O resultado desta regressão apresentou um indicador inicial de duas regiões RI e RII de acordo com o sinal do erro relativo (positivas, e negativas); conforme apresentado na Figura 2.

Teste 2 – Ajuste com as positivas (RI): 87905000, 88550000, 88550000, 88560001, 88641000, 88680000, 88750000, 88850000;

Teste 3 – Ajuste com as negativas (RII): 88750000, 87590000, 87670000, 87730001, 87820000, 87840000, 88200000, 88220000, 89100000, 89150000, 89250000, 89400000, 88680000, 88750000, 88850000.

A partir desta regressão o critério de ajuste utilizado foi quanto à avaliação da magnitude do erro e não mais o sinal;

Teste 4 – Após o teste 3 foram realizadas várias combinações a procura da melhora do melhor ajuste na estimativa das equações regionais da Q95%, em comparação as correspondentes apresentadas para os Testes anteriores. Observa-se que a região I inicial (positivas) ficou praticamente igual agregando-se somente a estação 88750000.

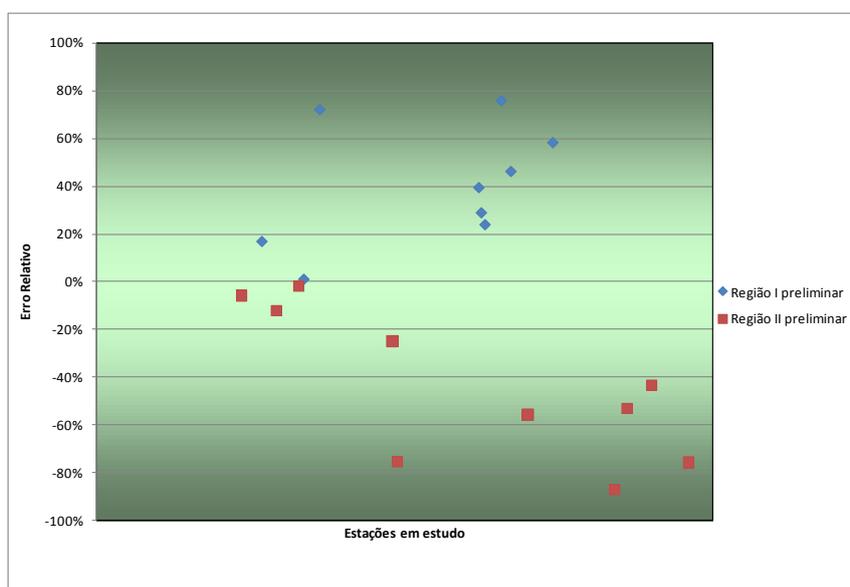


Figura 2 – Divisão inicial das Regiões Homogêneas

Após inúmeras tentativas e após o cruzamento dos mapas de solos e vegetação identificou-se a continuidade da região I, a hidrogeologia também justificou o limite das regiões I e II. Ao final foram propostas duas novas regiões homogêneas e uma região indefinida. Abaixo são descritos os agrupamentos definitivos das estações para composição das regiões homogêneas das sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã).

Região I: 88550000, 88550000, 88560001, 88575000, 88641000, 88680000, 88750000, 88850000, 87905000

Região II: 87590000, 87670000, 87730001, 87820000, 87840000

Região Indefinida: 88200000, 88220000, 89100000, 89150000, 89250000, 89400000, 88680000, 88750000, 88850000.

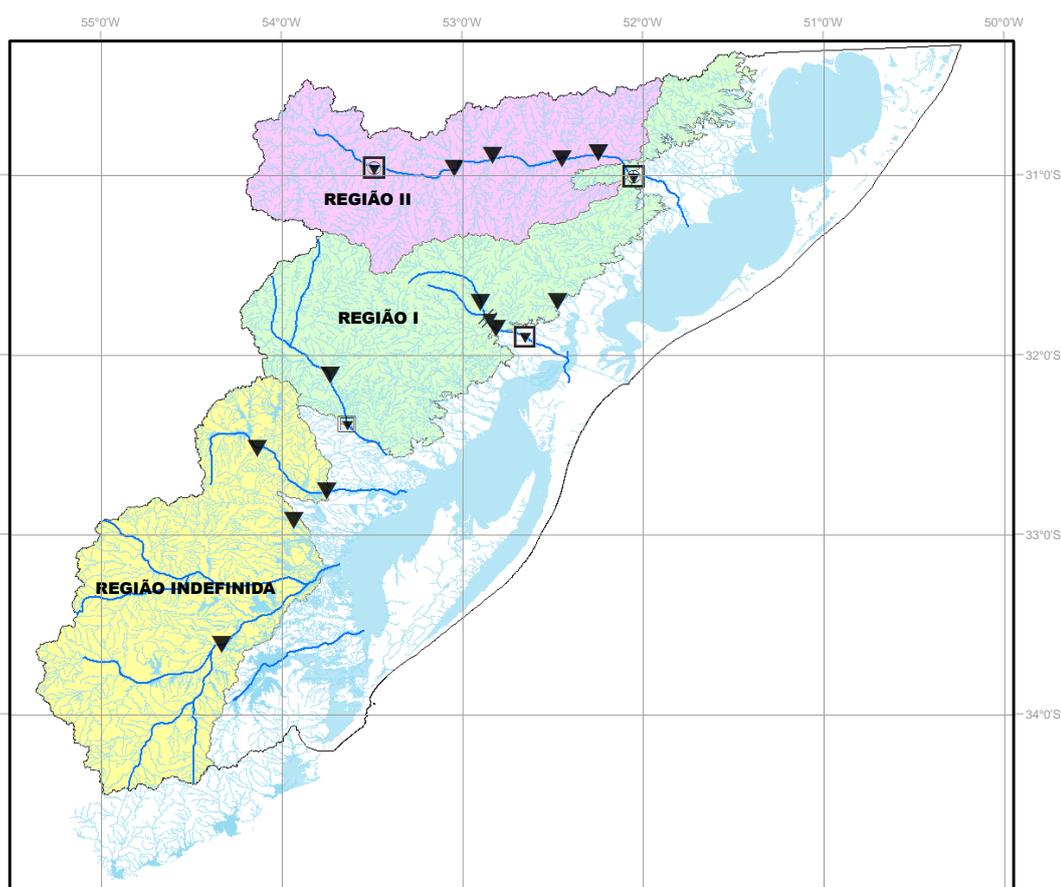


Figura 3 – Regiões Homogêneas das sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã).

Os cálculos de regionalização das vazões de permanência igual a 95% permitiram a separação de duas regiões distintas, principalmente quanto aos solos e à hidrogeologia. A Região RI representa valores relacionados com os rios Jaguarão e Piratini, que deságuam na Lagoa Mirim e Canal de São Gonçalo, enquanto a Região RII corresponde ao rio Camaquã, contudo a estação mais a jusante no rio Camaquã teve melhor ajuste na Região RI, devido ao recorte da hidrogeologia.

Destacando-se que a Região em estudo encontra-se predominantemente assentada sobre litologias de rochas duras, antigas e litificadas por diversos processos de diagênese, que com os efeitos do intemperismo proporcionaram o aparecimento o aparecimento de reservatórios, que armazenam as águas da infiltração pluviométrica e proporcionam com sua vagarosa drenagem o escoamento de base destes rios. Já na foz do rio Camaquã ocorrem mudanças litológicas que certamente contribuem para uma maior diferenciação no comportamento das vazões. As vazões de permanência de 95% demonstram diferenças em relação ao tempo e espaço nas duas regiões, devido a interferência das condições de ocorrência geológicas e hidrogeológicas. Desse modo, ao serem analisados os tipos litológicos que ocorrem nestas regiões, é possível verificar-se que existe uma predominância de rochas de idades muito antigas, e que por conseqüência foram muito afetados por fenômenos geológicos modificadores, dos quais se destacam a diagênese e mesmo fenômenos de hidrotermalismo.

Estas rochas arqueanas, pré-cambrianas, eo-paleozóicas e paleozóicas caracterizam-se por apresentar um sistema de porosidades por fraturas, que estão comumente fechadas por fenômenos de preenchimento hidrotermal, o que faz com que se comportem como rochas maciças. Já na porção costeira e litorânea ocorrem os depósitos cenozóicos de origem sedimentar que tem sua origem na erosão das rochas antigas do embasamento cristalino e no retrabalhamento das areias e argilas por processos de sedimentação marinha. No caso destes depósitos, as porosidades são predominantemente intergranulares, basicamente devido aos poros que existem nas camadas de areia. Todo este conjunto também foi afetado por fenômenos de diagênese que tendem a consolidar os grãos de areia e assim diminuir a sua porosidade.

A conseqüência hidrogeológica é que existe pouca influência de contribuições das porções fraturadas e de maior profundidade das litologias mais antigas, visto que comportam-se como maus reservatórios de água subterrânea, impedindo também uma infiltração eficaz das precipitações pluviométricas. O escoamento de base é mantido quase que exclusivamente pela porção de solo resultante do intemperismo sobre as rochas mais endurecidas. Observa-se, entretanto, que estas regiões apresentam camadas de solo de pequena expressão, onde o nível freático está próximo da superfície, acompanhando o relevo, porém com pequenas espessuras que comprometem a sua capacidade como reservatório de águas subterrâneas. Tanto os trechos determinados na

regionalização, RI e RII, apresentam muita semelhança quanto ao Q_{95} nestas regiões, pois a origem das vazões é mesma, devido às condições hidrogeológicas muito semelhantes. A distinção entre as duas regiões está principalmente no aporte das águas que os trechos de sedimentos cenozóicos drenam para os respectivos rios.

As áreas de sedimentação cenozóica predominantemente de origem marinha e em menor proporção continental apresentam inter-estratificações entre camadas de areia e outras síltico-argilosas, que como regra geral são mais espessas que os solos das regiões de embasamento cristalino. Com apresentam uma porosidade intergranular com valores bem maiores que nas áreas fraturadas, além de maior espessura, tendem a facilitar a infiltração das chuvas e conseqüentemente possuem nível freático mais próximo da superfície e reservatórios que armazenam mais águas subterrâneas. A drenagem destes aquíferos é mais eficiente e em maior quantidade o que afetará o fluxo de base dos rios e proporcionará uma diferença entre os mesmos com relação à sua Q_{95} .

Considerando essa nova configuração de regiões homogêneas, foram ajustadas equações da Q_{95} , linear e de potência, apenas para a variável independente, área de drenagem, como também para a área e precipitação total anual, conjuntamente. Utilizamos o SOLVER (ferramenta do Excel de teste de hipótese que encontra o valor ideal de uma célula de destino alterando os valores nas células usadas para o cálculo da célula destino) para melhorar o ajuste das equações. Os resultados estatísticos dessas equações encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos Erros Relativos Médios (ERM) e R^2 das equações de regressão da Q_{95} das regiões homogêneas definitivas das Sub-Bacias 88 e 87(rio Camaquã).

Regiões Homogêneas	Tipo de Equação	Correlação com Área		Correlação com Área e Precipitação	
		ERM	R^2	ERM	R^2
Região I	Potência	17,32%	0,993	18,52%	0,992
	Linear	79,09%	0,979	65,55%	0,952
Região II	Potência	7,65%	0,917	5,47%	0,961
	Linear	8,98%	0,889	18,94%	0,952

Nota-se na Tabela 3 os erros relativos médios e R^2 para as equações potência da Região II são inferiores (na ordem de 5%, aproximadamente) e superiores, respectivamente, aos correspondentes da Região I. Quanto aos modelos lineares, os resultados estatísticos se mostraram muitos similares para as duas regiões. De modo geral, as equações de potência apresentaram melhor performance de estimativa que as lineares, resultado este também evidente quando dos ajustes para as diferentes

tentativas de agrupamento. Sendo assim, adotou-se os modelos de potência como as equações regionais das Regiões I e II da sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã).

Os ERM das equações de potência para a Região II foram inferiores a 10%, o que indica um razoável ajuste para o fim proposto, que é estimar a Q95%. Isso não ocorreu para os modelos de potência da Região I, cujos erros foram em média de 18%, aproximadamente. Apesar disto, os valores de R² para todas as equações ajustadas (lineares e de potência) da Região I e II foram considerados altos, acima de 0,89. Assim, conclui-se que os resultados estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da Q95% da Região I e II foram de modo geral satisfatórios, fazendo ressalva, entretanto para as equações selecionadas da Região I, cujos erros foram ligeiramente superiores a 10%, devendo por isso ter cautela quando do uso dessas últimas equações para estimativa da Q95% na sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã).

Destaca-se que a precipitação total anual foi uma variável que aprimorou ligeiramente a performance de estimativa das equações regionais, na ordem de 1% e 2%, aproximadamente, para as equações lineares da Região I e II, respectivamente, mostrando assim ser um parâmetro importante, mas talvez não determinante, na definição dos valores das vazões de estiagem (Q95%).

Na Tabela 4 são rerepresentadas as expressões dessas equações regionais, associadas às faixas de áreas de drenagem e de precipitação nas quais as mesmas são aplicáveis.

Tabela 4 – Expressões Analíticas das equações regionais da Q95% das regiões homogêneas da sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã) e suas validades de aplicação

Tipo de Vazão	REGIÃO I	REGIÃO II
Q95% (m ³ /s)	$Q95\% = 0,00035A^{1,168253}$ $R^2 = 0,993$ ERM= 17,3%	$Q95\% = 0,001817 A^{0,8688}$ $R^2=0,882$ ERM=6,66%
	$Q95\%=5,66\cdot E^{-8} A^{1,1682} P^{1,19}$ $R^2=0,992$ ERM=18,5%	$Q95\%=10^{116,459} A^{0,8923} P^{-37,55}$ $R^2=0,952$ ERM=4,96%
	$369 < A < 15595 \text{ km}^2$ $1500 < P < 1650 \text{ mm}$	$4079 < A < 12723 \text{ km}^2$ $1490 < P < 1550 \text{ mm}$

Observação: A, em km² e P, em mm.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA COM BASE NAS OUTORGAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

A partir do ponto no curso d'água onde se deseja conhecer a disponibilidade hídrica, delimita-se na base cartográfica a bacia de contribuição, determinando-se a área de drenagem correspondente

e a precipitação total anual média. A precipitação total anual (ano civil) do Brasil pode ser obtida no site da CPRM (Projeto Atlas Pluviométrico, CPRM, 2010). Com as variáveis A (área) e P (precipitação total anual média) definidas para o ponto desejado e conhecendo-se a região homogênea a que pertence, entra-se na equação de regressão correspondente à região em questão para determinar o valor da vazão Q95%. Cumpre lembrar que os valores da área de drenagem e da precipitação total anual média definidos para o referido ponto em avaliação devem estar compreendidos entre os limites de validade correspondentes estabelecidos para a equação regional da Q95% utilizada.

A título de aplicação das equações regionais da Q95% da sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã), foram selecionados as demandas hídricas outorgadas pelo Departamento Estadual de Recursos Hídricos (DRH/SEMA). Na Figura 4 apresentamos os pontos legalizados de captação.

Com base nos vetores das bacias de contribuição definidas para todos os pontos da Figura 4 e na imagem raster de precipitação total anual foram determinados no ArcGis 9.3 os valores de precipitação total anual média nessas bacias, seguindo os seguintes procedimentos: Ir no Arctool box do ArcGis, selecionar o aplicativo *Spatial Analysis Tools/Zonal/Zonal Statistics*. Disto aparecerá uma janela solicitando a entrada de uma imagem raster, no caso a da precipitação total anual, como também do limite de área no qual se deseja obter a informação desejada, no caso os limites das bacias dos Pontos. Informar no campo *Statistics Type* da referida janela que se deseja calcular a **média** dos pixels da imagem fornecida. Os valores da Precipitação Total Anual Média nas bacias correspondentes aos Pontos tiveram uma variação muito pequena na faixa de 1417,60 mm e 1553,70 mm, logo para facilitar a aplicação utilizamos as equações dependentes somente da área de drenagem (A).

Conforme visto na Figura 4 os pontos encontram-se em regiões homogêneas diferenciadas, Região I e II. Sendo assim, as equações regionais dessas regiões considerando aquelas ajustadas para a área de drenagem serão utilizadas para estimar os valores da Q95% dos pontos desejados.

Os resultados da aplicação da metodologia encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados e verificação dos valores outorgadas x calculados

Pontos	Região	Número do Processo no DRH	Vazão Outorgada (m ³ /s)	Área Calculada (km ²)	Q95 Calculada por Regionalização (m ³ /s)	Disponibilidade
1	I	0029/06	0,009	3,04	0,0013	não
2		0479/09	0,006	3,80	0,0017	não
3		0013/07	0,02	11,19	0,0059	não
4		1089/06	0,688	679,73	0,7128	Sim
5		0202/07	0,15	80,36	0,0588	Não
6		1456/07	0,1	6,33	0,0030	Não
7		0380/07	0,009	4,71	0,0021	Não
8		0977/07	0,013	385,91	0,3679	Sim
9		213/06	0,07	121,87	0,0957	Sim
10		0300/08	0,0056	126,14	0,0996	Sim
11		1509/06	0,05	2427,83	3,1540	Sim
12		503/06	0,043	38,63	0,0250	Não
13		0342/08	0,07	712,14	0,7526	Sim
14		502/06	0,047	92,19	0,0691	Sim
15	II	0243/07	0,007	0,96	0,0018	Não
16		0062/09	0,3	462,52	0,3757	Sim
17		0874/07	0,038	407,44	0,3365	Sim
18		1648/08	0,09	292,91	0,2526	Sim
19		0086/08	0,77	288,65	0,2494	Não
20		0024/09	0,2	7320,50	4,1387	Sim
21		0025/09	0,2	7320,50	4,1387	Sim
22		0604/09	0,014	143,21	0,1357	Sim
23		0020/08	0,016	390,78	0,3245	Sim
24		00101/07	0,027	214,90	0,1930	Sim
25		1770/09	0,1	452,41	0,3685	Sim

Principais Demandas Hídricas

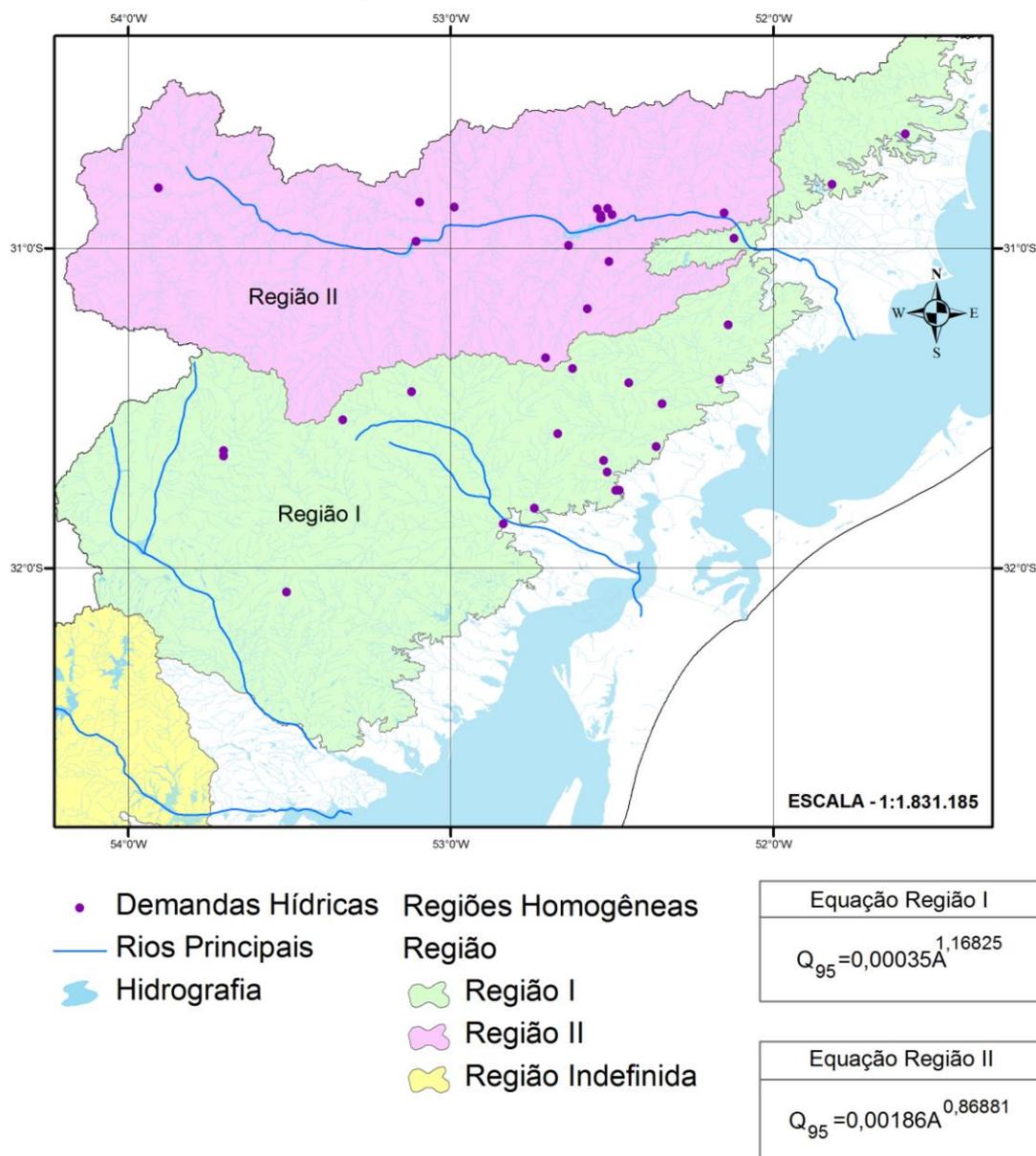


Figura 4 – Demandas Hídricas Outorgadas

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nas bacias em estudo, sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã), a vazão regionalizada Q95% apresentou 2 regiões homogêneas e os ajustes de suas equações foram considerados satisfatórios para o agrupamento de estações da Região I e II, sugerindo, entretanto, certa cautela no uso das equações regionais da Q95% da Região I, em função dos erros relativos médios de estimativa terem sido ligeiramente superiores a 10%. Foi proposta 1 região indefinida por não conter estações de boa

qualidade e ainda por pertencer a outro País. A precipitação foi considerada como uma variável importante, mas não determinante, na definição da vazão Q95%.

Cumprir lembrar que as equações regionais das sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã) não devem ser aplicadas a cursos de água que possuam em sua área de drenagem barragens que alterem seu regime natural.

Recomenda-se que sempre que existirem estações fluviométricas no curso de água onde se quer obter o valor da vazão Q95%, deve-se utilizar uma simples transposição de dados, com base na relação entre áreas de drenagem, do que aplicar a equação de regressão.

Quanto à aplicação da metodologia nos pontos de demandas hídricas do Estado pode-se notar que poucos pontos não atendem a disponibilidade calculada e de modo geral a região não apresenta déficit hídrico.

BIBLIOGRAFIA

Relatório

CPRM/ANEEL, 2001 – Regionalização de Vazões da Sub-bacias 88 e 87(rio Camaquã). Convênio CPRM/ANEEL nº015/2000 – 013/CPRM/00.

Artigo em Revista

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. (1998). “Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n.3, p. 97-110.

Livro

TUCCI, C. E. M., 2000. Regionalização de Vazões, ANEEL/ IPH/ UFRGS, Brasil, 167p.