

ANDRESSA NAYARA GOMES OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS RELACIONADAS À VALORAÇÃO DA
ÁGUA PARA AS BACIAS DOS RIOS GRANDE E PARANAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

O48a
2017

Oliveira, Andressa Nayara Gomes, 1990-
Aplicação de metodologias relacionadas à valoração da
água para as bacias dos rios Grande e Paranaíba / Andressa
Nayara Gomes Oliveira. – Viçosa, MG, 2017.
xviii, 142f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Fernando Falco Pruski.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.117-123.

1. Abastecimento de água - Legislação. 2. Água - Uso.
3. Água - Consumo. 4. Água - Distribuição. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola.
II. Título.

CDD 22 ed. 628.1

ANDRESSA NAYARA GOMES OLIVEIRA

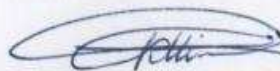
**APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS RELACIONADAS À VALORAÇÃO DA
ÁGUA PARA AS BACIAS DOS RIOS GRANDE E PARANAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2017.



Fernando França da Cunha



Antônio Calazans Reis Miranda



Fernando Falco Pruski
(Orientador)

A Deus.
Aos meus pais Anderson e Cláudia,
Às minhas irmãs Maria Clara e Maria Fernanda

Fazei tudo por amor, assim não há coisas pequenas: tudo é grande. A perseverança nas pequenas coisas, por Amor, é heroísmo.

São José Maria de Escrivá

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser tudo na minha vida, por me amparar em todos os momentos e ter sido meu alicerce durante todo esse tempo. E a Nossa Senhora, pelo amor de mãe, por ter me moldado e me ensinado a ser forte.

À meus pais por todo amor, dedicação e por não medir esforços para realizar meus sonhos, e às minhas irmãs por todo amor, amizade e atenção em todos os momentos.

À minha família abençoada, que mesmo longe está sempre presente nos meus dias. Amo vocês!

A Evandro por todo amor, apoio e paciência.

Ao Professor Fernando Falco Pruski, por todos os ensinamentos durante todos esses anos, pela compreensão e confiança.

Ao grupo GPRH e CRRH por todo apoio e convivência, em especial a Nívia, Rayssa, Camila, Laisi, Josiane, Luane, Laura e Felipe pela amizade, pelos bons momentos vividos e que eu levarei para sempre.

Às meninas das Repúblicas pela ótima convivência e amizade, em especial Gisely pela ajuda sempre solícita.

A Alan e Juscilene por todo carinho, amizade e ajuda durante todo esse tempo.

Aos amigos do MUR e ACAMP pela amizade, por todos os momentos de oração e por terem me aproximado mais de Deus.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação profissional.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo afeto e pelo suporte.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa de MG (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA

ANDRESSA NAYARA GOMES OLIVEIRA, filha de Anderson Marcos Oliveira Ribeiro e Cláudia Gomes Silva Oliveira Ribeiro, nasceu em Porteirinha/MG em 19 de fevereiro de 1990.

Em setembro de 2013 concluiu o curso de graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Em março de 2015 iniciou o curso de Mestrado em Meteorologia Aplicada na área de Hidroclimatologia na Universidade Federal de Viçosa - UFV, submetendo-se à defesa de dissertação em agosto de 2017.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS..... | x |
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| LISTA DE TABELAS..... | xvi |
| RESUMO..... | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Conjuntura mundial da água | 3 |
| 2.2. Gestão dos recursos hídricos | 4 |
| 2.3. Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil | 5 |
| 2.4. Sazonalidade de Vazões..... | 8 |
| 2.5. Água Subterrânea como recurso estratégico..... | 9 |
| 2.6. Potencialidade de utilização da irrigação com déficit | 10 |
| 2.7. Impactos dos reservatórios de regularização | 11 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 12 |
| 3.1. Caracterização das áreas de estudo..... | 12 |
| 3.1.1. Bacia do rio Grande | 12 |
| 3.1.2. Bacia do Paranaíba | 14 |
| 3.1.3. Dados utilizados no estudo | 15 |
| 3.2. Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação | 17 |
| 3.2.1. Obtenção das vazões mínimas anuais e mensais e estimativa das relações entre as $Q_{7,10}$ mensais e $Q_{7,10}$ anual | 17 |
| 3.2.2. Estimativa da relação mensal entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação fluviométrica | 18 |
| 3.2.3. Identificação de <i>outliers</i> e definição de regiões homogêneas | 21 |
| 3.2.3.1. Aplicação do <i>Box Plot</i> | 21 |
| 3.2.3.2. Análise de agrupamento | 22 |
| 3.2.3.2.1. Teste estatístico para medida de heterogeneidade - H | 23 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 3.2.3.3. | Definição de intervalos de confiança para os valores mensais | 24 |
| 3.2.4. | Determinação do fator de sazonalidade..... | 25 |
| 3.2.5. | Determinação do fator manancial de captação | 27 |
| 3.3. | Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica das culturas..... | 28 |
| 3.3.1. | Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico | 28 |
| 3.3.1.1. | Balanço hídrico ($E_{t0} - P_{80\%}$)..... | 29 |
| 3.3.1.1.1. | Evapotranspiração de referência – E_{t0} | 29 |
| 3.3.1.1.2. | Precipitação provável..... | 29 |
| 3.3.2. | Estimativa da demanda de água pela irrigação..... | 31 |
| 3.3.3. | Evapotranspiração potencial da cultura – ET_{pc} | 32 |
| 3.3.4. | Eficiência de aplicação – E_a | 34 |
| 3.3.5. | Fator relativo às horas de bombeamento por dia (NHD/NHFP) .. | 34 |
| 3.3.6. | Aprimoramento do fator de uso da água na irrigação..... | 34 |
| 3.4. | Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões. | 36 |
| 3.4.1. | Impacto dos reservatórios na disponibilidade hídrica com base na legislação atual..... | 36 |
| 3.4.2. | Proposição de adoção de um critério diferenciado de cobrança pelo uso da água em condições de regularização e de alteração da vazão mínima residual | 38 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 4.1. | Bacia do Rio Grande..... | 40 |
| 4.1.1. | Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação..... | 40 |
| 4.1.1.1. | Análise <i>Box Plot</i> aplicada às relações entre as vazões mínimas específicas mensais e anual..... | 40 |
| 4.1.1.2. | Análise da variação sazonal das vazões mínimas e da lâmina de escoamento subterrâneo | 42 |
| 4.1.1.3. | Aplicação do fator de sazonalidade | 47 |
| 4.1.1.4. | Estimativa das relações anuais e mensais entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação | 51 |
| 4.1.1.5. | Aplicação do fator manancial de captação..... | 57 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1.2. | Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica das culturas | 60 |
| 4.1.2.1. | Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico | 60 |
| 4.1.2.2. | Aplicação do fator de uso da água na irrigação | 64 |
| 4.1.2.2.1. | Soja | 64 |
| 4.1.2.2.2. | Cana-de-açúcar..... | 67 |
| 4.1.2.2.3. | Banana | 71 |
| 4.1.3. | Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões..... | 72 |
| 4.1.3.1. | Impacto do efeito das alterações propostas para a condição de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do Grande | 72 |
| 4.1.3.2. | Aplicação da metodologia com base na legislação atual | 73 |
| 4.1.3.3. | Aplicação da metodologia com base na alteração da vazão mínima residual | 74 |
| 4.2 | Bacia do Paranaíba | 75 |
| 4.2.1. | Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação..... | 75 |
| 4.2.1.1. | Análise <i>Box Plot</i> aplicada às relações entre as vazões mínimas específicas mensais e anual..... | 75 |
| 4.2.1.2. | Análise da variação sazonal das vazões mínimas | 78 |
| 4.2.1.3. | Aplicação do fator de sazonalidade | 80 |
| 4.2.1.4. | Estimativa das relações anuais e mensais entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação | 82 |
| 4.2.1.5. | Aplicação do fator manancial de captação..... | 87 |
| 4.2.2. | Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica da cultura..... | 89 |
| 4.2.2.1. | Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico | 89 |
| 4.2.2.2. | Aplicação do fator de uso da água na irrigação | 93 |
| 4.2.2.2.1. | Soja | 93 |
| 4.2.2.2.2. | Cana-de-açúcar..... | 95 |
| 4.2.2.2.3. | Café | 97 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.3. Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões..... | 99 |
| 4.2.3.1. Impacto do efeito das alterações propostas para a condição de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do Paranaíba | 99 |
| 4.2.3.2. Aplicação da metodologia com base na legislação atual | 99 |
| 4.2.3.3. Aplicação da metodologia com base na alteração da vazão mínima residual | 100 |
| 4.3 Análise comparativa dos resultados obtidos nas bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu referentes às metodologias de cobrança pelo uso da água..... | 102 |
| 4.3.1 Fator de sazonalidade | 102 |
| 4.3.2 Fator manancial de captação..... | 107 |
| 4.3.3 Fator uso da água na irrigação | 109 |
| 4.3.3.1 Análise das demandas unitárias pelo uso da água na irrigação para as culturas de soja e cana-de-açúcar | 110 |
| 4.3.4 Fator de deplecionamento pelo uso da água em condições de regularização..... | 113 |
| 5. CONCLUSÕES | 115 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 117 |

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

CV-L = coeficiente de variação amostral

D_{ij} = distância euclidiana entre dois indivíduos i e j

E_a = eficiência de aplicação

$ET_{pc,j}$ = evapotranspiração potencial da cultura para o dia j , mm d^{-1}

ET_o = evapotranspiração de referência

f_m = frequência média de ocorrência da $Q_{7,10}$ para cada mês m

F_{ui} = fator de uso da água na irrigação

F_{MCm} (1ª aprox..) = primeira aproximação do fator manancial de captação para cada mês

F_{MCm} (2ª aprox..) = segunda aproximação do fator manancial de captação para cada mês

F_{MCm} (3ª aprox..) = terceira aproximação do fator manancial de captação para cada mês

F_s (1ª aprox..), i = fator de sazonalidade 1ª aproximação no mês i (adimensional)

F_s (2ª aprox..), i = fator de sazonalidade 2ª aproximação no mês i (adimensional)

F_s (3ª aprox..), i = fator de sazonalidade 3ª aproximação no mês i (adimensional)

H = medida de heterogeneidade

IC_R = intervalo de confiança

IF = método do intervalo fixo

IM = método do intervalo móvel

K = fator de frequência

K_c = coeficiente da cultura para determinada fase de desenvolvimento

LE_i = limite inferior para identificação de outliers extremos

LE_s = limite superior para identificação de outliers extremos

$LE_{Sub m}$ = lâmina de escoamento subterrâneo para o mês m

LE_{Total} = lâmina de escoamento superficial total para o mês m

L_i = limite inferior

L_s = limite superior

M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido

ML = método dos mínimos locais

N = número de anos da série

NHD/NTFP = número de horas no dia/número de horas fora do horário de ponta

n_j = número de locais na região

N_{SIM} = número de simulações

$P_{80\%}$ = precipitação provável mensal associada a 80% de probabilidade

$q_{u,i}$ (rest. corrig.) = máxima vazão unitária com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico

$q_{out,i}$ = vazão unitária outorgada para cada cultura por mês

$q_{u,i}$ (máx.) = máxima vazão unitária necessária

$q_{u,i}$ (rest.) = máxima vazão unitária necessária com fator de restrição

$q_{u,i}$ (tab) = vazão unitária tabelada com base na demanda necessária para a cultura de interesse no mês i

$q_{u,i}$ = vazão unitária necessária para a cultura de interesse no mês i

Q_1 = quartil 1

Q_3 = quartil 3

$Q_{7,10}$ = vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de recorrência de 10 anos

Q_{ESub} = vazão correspondente ao escoamento subterrâneo no dia K

Q_K = vazão do dia K

$R_{EST\ m}$ = relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total no mês m

$\overline{RVM}_{MA\ (ICI),\ i}$ = limite inferior do intervalo de confiança associado à média dos valores de RVM_{MA}

RVM_{MA} = relação entre as vazões mínimas mensais e anual;

t^j = médias regionais dos quocientes CV-L, Assimetria-L e Curtose-L

ud = último dia do ano hidrológico

V = medida de variância ponderada pelo tamanho das séries

$V_{ES(a)}$ = volume de escoamento superficial direto total anual

$V_{ES(K)}$ = volume de escoamento superficial direto no dia K

$V_{ESub\ (K)}$ = volume de escoamento subterrâneo no dia K

V_j = média aritmética das variâncias

V_K = volume de escoamento total no dia K

Z_i = característica relacionada ao indivíduo i

Z_j = característica relacionada ao indivíduo j

σ = desvio padrão

μ_v = dispersão média esperada na região homogênea

σ_v = desvio padrão entre os N_{SIM}

μ = média dos eventos

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Localização geográfica da bacia do Grande..... | 13 |
| Figura 2: Localização geográfica da bacia do Paranaíba. | 14 |
| Figura 3: Localização das estações utilizadas no estudo. | 17 |
| Figura 4: Box plot para os valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e anual. | 41 |
| Figura 5: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos à esquerda e 3 agrupamentos à direita. | 42 |
| Figura 6: Valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e anual para cada estação fluviométrica. | 43 |
| Figura 7: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 118 estações pluviométricas..... | 44 |
| Figura 8: Lâminas diárias de escoamento superficial total, superficial direto e subterrâneo para a estação Airuoca (61024000). | 45 |
| Figura 9: Médias mensais das RVM _{M/A} associadas aos intervalos de confiança para as 41 estações fluviométricas. | 48 |
| Figura 10: Fator de sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) e frequência de ocorrência das vazões mínimas para 41 estações fluviométricas em estudo. | 50 |
| Figura 11: Gráfico Box Plot da relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total (R _{EST}). | 52 |
| Figura 12: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos à esquerda e 3 agrupamentos à direita. | 53 |
| Figura 13: Lâmina média anual (a) e relação anual entre escoamento subterrâneo e escoamento superficial total (b) para cada uma das 49 estações fluviométricas da bacia do Grande. | 55 |
| Figura 14: Valores das R _{EST} obtidos para as 49 estações fluviométricas analisadas. | 56 |
| Figura 15: Médias mensais das R _{EST} associadas aos intervalos de confiança para as 49 estações fluviométricas. | 58 |
| Figura 16: Valores mensais do fator manancial de captação para as 49 estações fluviométricas. | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 17: Representação das regiões homogêneas e do balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência anual e a precipitação provável total anual para as 106 estações pluviométricas. | 61 |
| Figura 18: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas. | 62 |
| Figura 19: Precipitações prováveis mensais com 80% de probabilidade de ocorrência, obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 106 estações pluviométricas. | 63 |
| Figura 20: Calendário de cultivo da soja considerando todos os estádios de desenvolvimento da cultura. | 64 |
| Figura 21: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da soja na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande. | 67 |
| Figura 22: Calendário de cultivo da cana-de-açúcar considerando todos os estágios de desenvolvimento da cultura. | 68 |
| Figura 23: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande. | 70 |
| Figura 24: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da banana na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande. | 72 |
| Figura 25: Incremento da disponibilidade hídrica devido a alteração da vazão permissível para outorga da condição a fio d'água para a condição de regularização de vazões. | 73 |
| Figura 26: Incremento da disponibilidade hídrica quando da construção de reservatórios de regularização considerando a proposição de alteração da vazão mínima residual para essas condições. | 74 |
| Figura 27: Box plot para os valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e a anual. | 76 |
| Figura 28: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos à esquerda e 3 agrupamentos à direita. | 77 |
| Figura 29: Valores mensais das relações entre $q_{7,10}$ mensais e anual para cada estação fluviométrica. | 78 |
| Figura 30: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem da bacia do Paranaíba para as 128 estações pluviométricas. | 79 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31: Médias mensais das RVM_{MA} associadas aos intervalos de confiança para as 39 estações fluviométricas. | 80 |
| Figura 32: Fator de sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) e frequência de ocorrência das vazões mínimas para as 39 estações fluviométricas em estudo..... | 81 |
| Figura 33: Gráfico Box Plot da relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total (R_{EST}). | 83 |
| Figura 34: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos à esquerda e 3 agrupamentos à direita. | 84 |
| Figura 35: Lâmina média anual (a) e relação anual entre escoamento subterrâneo e escoamento superficial total (b) para cada uma das 37 estações fluviométricas da bacia do Paranaíba. | 85 |
| Figura 36: Valores das R_{EST} obtidos para as 37 estações fluviométricas analisadas. | 86 |
| Figura 37: Médias mensais das R_{EST} associadas aos intervalos de confiança para as 37 estações fluviométricas. | 87 |
| Figura 38: Valores mensais do fator manancial de captação. | 88 |
| Figura 39: Representação das regiões homogêneas e do balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência anual e a precipitação provável total anual para as 115 estações pluviométricas. | 90 |
| Figura 40: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas. | 91 |
| Figura 41: Precipitações prováveis mensais com 80% de probabilidade de ocorrência, obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 115 estações pluviométricas. | 92 |
| Figura 42: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba. | 95 |
| Figura 43: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba. | 97 |
| Figura 44: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura do café na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba. | 98 |
| Figura 45: Incremento da disponibilidade hídrica devido a alteração da vazão permissível para outorga da condição a fio d'água para a condição de regularização de vazões. | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46: Incremento da disponibilidade hídrica quando da construção de reservatórios de regularização considerando a proposição de alteração da vazão mínima residual para essas condições..... | 101 |
| Figura 47: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 103 |
| Figura 48: Médias mensais das $q_{7,10}$ para as bacias do Paranaíba, Grande e Paracatu. | 104 |
| Figura 49: Médias mensais das R_{EST} para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 105 |
| Figura 50: Médias mensais das RVM_{MA} para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 105 |
| Figura 51: Fator de sazonalidade para as bacias do Grande, do Paranaíba e do Paracatu. | 106 |
| Figura 52: Fator manancial de captação para as bacias do Grande, do Paranaíba e do Paracatu. | 108 |
| Figura 53: Valores das máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico para a cultura da soja para as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 110 |
| Figura 54: Valores das máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico para a cultura da cana-de-açúcar para as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 111 |
| Figura 55: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu. | 112 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2: Coeficiente da cultura e duração dos respectivos estádios fenológicos das culturas utilizados no estudo | 33 |
| Tabela 3: Medidas de heterogeneidade por região homogênea..... | 61 |
| Tabela 4: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cultura da soja na região hidrologicamente homogênea 1 | 65 |
| Tabela 5: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} há^{-1}$) para irrigação da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 1 | 69 |
| Tabela 6: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} há^{-1}$) para irrigação da banana na região hidrologicamente homogênea 1 | 71 |
| Tabela 7: Medidas de heterogeneidade para a bacia do Paranaíba, considerando 2 agrupamentos de cluster..... | 77 |
| Tabela 8: Medidas de heterogeneidade por região homogênea..... | 91 |
| Tabela 9: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cultura da soja na região hidrologicamente homogênea 3 | 93 |
| Tabela 10: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} há^{-1}$) para irrigação da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 3 | 96 |
| Tabela 11: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} há^{-1}$) para irrigação do café na região hidrologicamente homogênea 3 | 98 |

RESUMO

OLIVEIRA, Andressa Nayara Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Aplicação de metodologias relacionadas à valoração da água para as bacias dos rios Grande e Paranaíba.** Orientador: Fernando Falco Pruski.

O aumento da demanda pelo uso da água e a diminuição da disponibilidade hídrica tem causado cenários de escassez hídrica, o que pode ocasionar conflitos entre os usuários. A cobrança pelo uso da água proposta pela Lei nº 9433/97 visa, portanto, promover a utilização mais racional dos recursos hídricos. No Brasil, a cobrança pelo uso da água já é um instrumento aplicado em algumas bacias hidrográficas. Entretanto, a metodologia atual não considera alguns aspectos importantes para o cálculo da cobrança. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de metodologias relacionadas à valoração da água para as bacias do rio Grande e do rio Paranaíba, em função do tipo de manancial de captação, da utilização de reservatórios de regularização de vazões, da sazonalidade de vazões e da efetiva demanda hídrica das culturas. Comparou-se também os resultados obtidos com os encontrados por Ramos (2016) e Ribeiro (2016) para a bacia do Paracatu. A utilização dos critérios relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação permitiram associar uma valoração mensal diferenciada ao longo do ano para as bacias do Grande e Paranaíba. Observou-se uma diminuição do custo da água superficial e um aumento do valor da água subterrânea no período chuvoso. Contudo, com a aproximação do período de estiagem, há uma diminuição do desconto da água superficial e do custo da água subterrânea. Vale ressaltar que a bacia do Grande apresentou menor variação sazonal da relação entre os valores de $Q_{7,10}$ mensais e anual em comparação com as bacias do Paranaíba e Paracatu. Em relação às efetivas demandas hídricas das culturas, foi possível o desestímulo do uso da água na irrigação no período de menor disponibilidade hídrica, graças à aplicação dos aprimoramentos do fator de uso da água na irrigação. A bacia do Grande apresentou as menores vazões demandadas pelas culturas em ambas as regiões homogêneas, devido a menor evapotranspiração na bacia. Por fim, o fator de deplecionamento pelo uso da água em condições de regularização associou um maior desconto mensal ao usuário, e a alteração da vazão mínima residual possibilitou um aumento expressivo da disponibilidade hídrica sem comprometer as condições à fio d'água.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Andressa Nayara Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Application of methodologies related to water valuation for the Grande and the Paranaíba rivers basins**. Adviser: Fernando Falco Pruski.

Increasing in water use demand and the reduction of water availability has caused scenarios of water scarcity, which can lead to conflicts among users. The charge for water use proposed by Brazilian Law 9433/97 aims, therefore, to promote the more rational use of water resources. In Brazil, the charge for water use is already an instrument applied in some watershed. However, the current methodology does not consider some important aspects for charge calculation. Thus, the present study aims the application of methodologies related to water valuation for the Grande and the Paranaíba rivers basins, depending on the type of capitation source, use flow regulation system, seasonal availability of flows and the effective water demand of crops. The results obtained by Ramos (2016) and Ribeiro (2016) for the Paracatu basin were also compared. The use of criteria related to seasonal availability of flows and capitation source allowed to associate distinct monthly valuations throughout the year for Grande and Paranaíba rivers basins. Decreasing in valuation of the surface water and increasing in the groundwater value in the rainy season were verified. However, as the drought period draw nearer, there was a decrease in surface water discount and groundwater cost. It is noteworthy that the Grande basin presented lower seasonal variation between the monthly and annual $Q_{7,10}$ values if compared to Paranaíba and Paracatu basins. Regarding the effective water demand of crops, a discouraging of water use for irrigation in the period of less hydric availability was possible with application of improvements in the water use factor in irrigation. Grande basin presented lower flows demanded by the crops in both homogeneous regions, due to the lower evapotranspiration in the basin. Finally, the drawdown factor for water use in regularization conditions led to a higher monthly discount to the user, and the changing of minimum residual flow allowed a significant increase of water availability without compromising the conditions to run of river.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a manutenção da vida no planeta, bem como o desenvolvimento de diversas atividades. Ao longo dos anos, o aumento populacional e o aumento do consumo da água em vários setores econômicos, tem feito com que a disponibilidade hídrica não seja suficiente para atender as demandas pelo uso da água, levando a conflitos e um quadro de escassez hídrica.

A gestão eficiente dos recursos hídricos tem como objetivo avaliar e dar suporte a esse quadro de disponibilidade *versus* demanda pelo uso da água, por meio de medidas que visem uma maior racionalização do uso da água. No Brasil, um importante marco para a gestão dos recursos hídricos foi a promulgação da Lei 9433 de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, tendo como um dos seus fundamentos a consideração da água como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. A lei dispõe de vários instrumentos de gestão, dentre eles a cobrança pelo uso da água, que objetiva promover um uso mais racional dos recursos hídricos, reconhecendo a água como bem econômico e dando ao usuário uma indicação do seu real valor.

A cobrança pelo uso da água já é um instrumento aplicado em algumas bacias no Brasil, contudo, a metodologia hoje utilizada não leva em consideração alguns aspectos importantes para cálculo da cobrança, são eles: sazonalidade das vazões, manancial subterrâneo, demanda hídrica das culturas e as condições de regularização.

A sazonalidade de vazões está relacionada à periodicidade de variação das vazões ao longo do ano na bacia hidrográfica, sendo que há uma maior disponibilidade no período chuvoso, e uma redução no período de estiagem. O manancial subterrâneo e o reservatório de regularização funcionam como reservas estratégicas, podendo ser utilizados quando a água superficial não for capaz de atender as demandas de água. Além disso, a água subterrânea atua na perenização dos rios, contribuindo com o escoamento de base no período de estiagem. Na irrigação, maior setor consumidor de água no mundo, muitas vezes não se leva em consideração técnicas para uma maior eficiência no uso da água, como as mudanças das datas de plantio e a

consideração da efetiva disponibilidade hídrica superficial, o que pode diminuir a quantidade de água demandada pela cultura sem alterar sua produtividade.

Com base em todos esses aspectos, Ramos (2016) e Ribeiro (2016) desenvolveram metodologias de cobrança pelo uso da água para a bacia do Paracatu. Os autores obtiveram resultados relevantes quanto à aplicação das metodologias, apresentando uma potencialidade na utilização de fatores ponderadores mensais na cobrança pelo uso da água. Isto induz a potencialidade de aplicação dessas metodologias em outras bacias que apresentem um comportamento sazonal similar das vazões.

A região hidrográfica do Paraná, onde estão inseridas as bacias do Grande e do Paranaíba, é a região hidrográfica mais populosa do Brasil, apresentando cerca de 30% das demandas hídricas nacionais para usos consuntivos, no entanto possui menos que 7% da disponibilidade hídrica do Brasil, caracterizando situações já existentes ou potenciais de escassez. Além disso apresenta cerca de 60% da produção de energia elétrica do país, 24% do total da área irrigada brasileira e 85,5% do número de outorgas registradas pela ANA. Estes atributos refletem a complexidade da região hidrográfica do Paraná, com implicações socioeconômicas e ambientais e diversas interferências em seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos (MMA, 2006).

As bacias hidrográficas do Grande e Paranaíba apresentam quadros de conflitos pelo uso da água devido à criticidade quantitativa e/ou qualitativa em diversas regiões das bacias. Dessa forma, diante da necessidade da incorporação de medidas relevantes e eficientes de cobrança para uma maior racionalização do uso da água, já que a maioria das legislações vigentes não leva em consideração os aspectos antes mencionados, o presente trabalho tem como objetivos: a aplicação de metodologias relacionadas à valoração da água para as bacias do rio Grande e do rio Paranaíba, em função do tipo de manancial de captação, da utilização de reservatórios de regularização de vazões, da sazonalidade de vazões e da efetiva demanda hídrica das culturas; e a comparação dos resultados obtidos nestas bacias com os encontrados por Ramos (2016) e Ribeiro (2016) para a bacia do Paracatu.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conjuntura mundial da água

A água é um recurso natural de extrema importância do qual todas as atividades sociais e econômicas e as funções do ecossistema dependem, como: abastecimento humano e animal, irrigação, geração de energia, recreação e turismo (WWAP, 2012).

O crescimento da população, a urbanização, a demanda por alimentos, o aumento no consumo e as políticas de segurança energética afetam amplamente a demanda mundial por água. Um estudo da ONU (2011) projetou que a população mundial chegará a 9,3 bilhões de habitantes em 2050, baseada em uma taxa de crescimento média de 0,84% ao ano. Estima-se que a demanda por alimentos cresça em 70% (WWAP, 2012), e a demanda mundial por água aumente 55% até 2050 (WWAP, 2015).

Diante desse cenário, o crescimento da demanda por água é inevitável, mas se o equilíbrio entre a oferta e demanda por água não for restaurado, o mundo enfrentará uma escassez hídrica cada vez mais grave (WWAP, 2015).

No Brasil a situação do balanço hídrico dos principais rios se mantém confortável. De acordo com ANA (2013a), apesar da ligeira diminuição no percentual da extensão de rios em que o indicador de balanço quantitativo é excelente, e o pequeno aumento da classe "muito crítico", a situação ainda é considerada boa para 77% da extensão dos trechos analisados. Essa alta porcentagem se deve principalmente à alta disponibilidade hídrica da Região Hidrográfica Amazônica, que mascara a alta demanda pelo uso dos recursos hídricos concentrada em regiões específicas do País.

Essa alta demanda por água em algumas regiões do Brasil leva a quadros de escassez hídricas, que é intensificado pela distribuição geográfica irregular dos recursos hídricos no Brasil. A região Norte, com 8,3% da população, dispõe de 78% da água do País, enquanto o Nordeste, com 27,8% da população, tem 3,3%. Além disso, existe também uma grande variação sazonal desta disponibilidade (BRAGA; DOMINGUES, 2008; SILVA, 2012).

A maioria dos conflitos em torno da água estão relacionados ao setor agrícola, sendo responsável pela utilização de aproximadamente 70% de toda a água doce

prontamente disponível no mundo. No Brasil, o índice de consumo de água nessa atividade chega a 72%, sendo seguida pelo abastecimento animal, urbano, industrial e rural, com 11%, 9%, 7% e 1%, respectivamente (ANA, 2015).

A consideração do valor econômico da água, em seus diferentes estados e usos, e o entendimento de sua distribuição espacial e temporal são imprescindíveis à realização de um manejo dos recursos hídricos na busca de uma gestão eficiente (WWAP, 2012).

2.2 Gestão dos recursos hídricos

A gestão de recursos hídricos para o uso sustentável e o desenvolvimento econômico é tecnicamente e politicamente um desafio para a sociedade. Para ser efetiva, os gestores devem vincular os conhecimentos baseados nas pesquisas e nas experiências científicas, e colocar em prática diante de todos os desafios que existe hoje (JACOBS et al. 2009), visando o bem estar da sociedade e a conservação da quantidade e da qualidade dos ecossistemas no âmbito da bacia hidrográfica.

O constante aumento pela demanda de água tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos tem forçado os planejadores a contemplar planos mais complexos e ambiciosos para o gerenciamento dos recursos hídricos. Os eventos negativos que vem acontecendo como a escassez de recursos hídricos, inundações, e má qualidade da água são frutos, principalmente, de uma gestão ineficiente dos recursos hídricos, de forma equitativa e sustentável, bem como da falta de instruções de políticas eficazes pelos tomadores de decisão (LI et al. 2010).

Em alguns países da Europa Ocidental, existem arranjos institucionais para gestão dos recursos hídricos que tem como principal objetivo o disciplinamento do uso da água e da proteção ambiental, e um dos princípios utilizados é o da cobrança pelo uso da água. Nestes países, comportamentos antiquados têm sido abandonados, levando à reversão de parte dos problemas como a redução dos índices de desperdício e a recuperação ambiental (SANTOS, 2002).

A política de gestão e proteção dos recursos hídricos na Alemanha combina instrumentos de comando e controle, onde os estados e o governo federal exercem uma função reguladora e fiscalizadora extremamente forte, com a aplicação de alguns

instrumentos econômicos, como a cobrança pela captação de água superficial e subterrânea e a cobrança pela poluição (SANTOS, 2002).

A política de gestão de recursos hídricos francesa tem servido de modelo em todo o mundo por ter sido um dos países precursores na aplicação da cobrança pelo uso da água combinada com uma gestão participativa e integrada por bacia hidrográfica (SANTOS, 2002).

No Brasil a gestão dos recursos hídricos teve início em 1934 quando o governo publicou o Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, conhecido como Código de Águas. Mas foi em 8 de janeiro 1997 que se tornou mais efetiva a preocupação com o uso das águas, com a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, através da Lei nº 9.433, a qual é inspirada em grande parte no modelo francês de gestão.

Dentre os vários instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, tem-se a cobrança pelo uso da água que visa incentivar a utilização mais racional dos recursos hídricos, de modo a assegurar o controle quantitativo e qualitativo para as atuais e futuras gerações.

2.3 Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil

As metodologias de cobrança existentes no Brasil são constituídas, em geral, de três partes: a base de cálculo, o preço unitário e os coeficientes. A base de cálculo é estabelecida de acordo com o uso da água. O preço unitário é determinado com base nos objetivos da cobrança, como, obter recursos financeiros para os programas e intervenções contempladas nos planos de recursos hídricos. Com relação aos coeficientes, a sua criação partiu da necessidade de adaptação da estruturação de cobrança de acordo com objetivos específicos, como a diferenciação das classes de água, tipo de uso, localização do usuário, etc (THOMAS et al. 2005).

A efetivação da cobrança pelo uso da água no Brasil ocorreu primeiramente na bacia do rio Paraíba do Sul, em março de 2003, sendo seguida pelas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí -PCJ (janeiro de 2006), rio São Francisco (julho de 2010) e rio Doce (novembro de 2011). Atualmente, é aplicada em 13 bacias hidrográficas brasileiras e em mais três domínios regionais específicos (Estado de São Paulo, Estado da Paraíba e Litoral Paulista). No geral, a cobrança pelo uso dos

recursos hídricos abrange a captação, o consumo, o lançamento e a transposição (ANA, 2015).

A bacia do rio Paraíba do Sul foi pioneira na implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil. A cobrança é regida pelo comitê para Integração da bacia do rio Paraíba do Sul (CEIVAP), que contempla os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e pelo Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBHPS), que se aplica apenas para o Estado de São Paulo.

A DELIBERAÇÃO CEIVAP N.º 65/2006 que estabelece mecanismos e propõe valores para a cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir de 2007, define os parâmetros que são levados em conta para a cobrança: volume anual captado do corpo hídrico (Q_{cap}), volume anual captado e transposto para outras bacias (Q_{transp}), volume anual lançado no corpo hídrico ($Q_{lanç}$), volume anual consumido do corpo hídrico (Q_{cons}) e a carga orgânica lançada no corpo hídrico (CO_{DBO}).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) foi o terceiro comitê a implementar a cobrança pelo uso da água em rios de domínio da União, em julho de 2010. A Deliberação nº 40 estabelece os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos na Bacia do São Francisco, e tem como parâmetros básicos de cobrança: volume anual de água captado no corpo hídrico (Q_{cap}), volume anual lançado no corpo hídrico ($Q_{lanç}$), volume anual de água consumido no corpo hídrico (diferença entre o volume captado e o lançado) e a carga orgânica lançada no corpo hídrico (CO_{DBO}).

A bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) apresentam mecanismos de cobrança pelo uso da água sobre os corpos d'água de domínio da União, do estado de São Paulo e Minas Gerais.

A Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 025/05 de 21/10/2005, alterada pela Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 027/05 de 30/11/05, estabelece a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União existentes nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A cobrança é feita levando-se em consideração os seguintes aspectos: volume anual de água captado do corpo hídrico, exceto para transposição (Q_{cap}); volume anual de água captada e transposta para outras bacias (Q_{trans}); volume anual lançado no corpo

hídrico ($Q_{lanç}$); volume anual de água consumida (Q_{cons}) e carga orgânica lançada no corpo hídrico (CO_{DBO}).

A Deliberação dos Comitês PCJ nº 021/08 de 12/12/2008 estabelece mecanismos e valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Jaguari, os aspectos são os mesmos da cobrança feita nos corpos d'água sobre domínio da União, a diferença é que no estado de Minas Gerais não se tem a cobrança pela transposição e não há a presença do coeficiente $K_{Gestão}$ (coeficiente que leva em conta o retorno dos recursos arrecadados para a bacia).

A metodologia de cobrança pelo uso da água do PCJ para o Estado de São Paulo é regida pelo Decreto nº 50.667, de 30 de março de 2006 e, desde então, vários comitês de bacia no domínio do Estado adotaram esta proposta de cobrança. A cobrança versa sobre o volume total captado (V_{cap}), o volume total consumido por uso no período (V_{cons}), o valor médio da carga do parâmetro (x) presente no efluente final lançado e os preços unitários finais equivalentes a cada variável considerada na fórmula da cobrança (PUFs). Os PUFs são calculados a partir da multiplicação do preço unitário básico (captação, consumo ou parâmetro) pelos respectivos coeficientes ponderadores para o consumo.

Os coeficientes ponderadores para o consumo consideram vários aspectos, dentre eles: a finalidade do uso; a disponibilidade hídrica local, o consumo efetivo, a natureza do corpo d'água, superficial ou subterrânea. O Decreto Nº 61.430, de 17 de agosto de 2015 aprova e fixa os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Nesse decreto são estabelecidos os valores dos coeficientes ponderadores de acordo os aspectos citados anteriormente, por exemplo, em relação a natureza do corpo d'água, pode-se classificar a água como superficial ou subterrânea, e o valor do coeficiente é de 1,00 e 1,15, respectivamente.

Considerando a cobrança pelo uso da água nas bacias do PCJ para o Estado de São Paulo, pode-se inferir que esta apresenta os aspectos mais avançados quanto a cobrança pelo uso da água no Brasil, uma vez que os coeficientes multiplicadores utilizados na metodologia levam em consideração aspectos até então não utilizados na cobrança pelo uso da água. Em contrapartida, outros aspectos ainda relevantes não foram incorporados na metodologia de cobrança, e são de extrema importância

para a gestão dos recursos hídricos, além de apresentarem uma cobrança diferenciada mensal pelo uso da água, são eles: água proveniente do manancial subterrâneo e de reservatórios, a disponibilidade sazonal dos recursos hídricos e a valorização da água na agricultura irrigada com base na efetiva demanda hídrica das culturas.

2.4 Sazonalidade de Vazões

O termo sazonalidade de vazões se refere à periodicidade da variação das vazões ao longo do ano, sendo influenciada pelas condições edafoclimáticas e hidrogeológicas da bacia.

Adotar a variabilidade hidrológica sazonal significa adotar diferentes volumes outorgáveis para diferentes períodos sazonais, permitindo uma maior flexibilização e racionalização das outorgas em função dos diferentes períodos de oferta de água, otimizando economicamente o uso da água. Desta forma, as vazões evidenciadas no período seco não serão limitantes em relação às outorgas em outros períodos do ano.

Euclides (2012), em um estudo para a sub-bacia do rio Claro inserida na bacia do Paranaíba, analisou o incremento de disponibilidade hídrica quando da mudança do critério de outorga para a agricultura irrigada. Foi utilizado o critério proposto pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no estado de Minas Gerais de 50% da $Q_{7,10}$ anual, e outros dois critérios propostos no trabalho: critério sazonal para o período chuvoso (novembro a abril) e critério sazonal relativo ao trimestre chuvoso (janeiro a março). Com base nos resultados apresentados, observa-se que a adoção dos critérios propostos no trabalho fez com que ocorresse um acréscimo de 49,5 e 186%, respectivamente na vazão outorgada.

O estudo feito por Bof et al. (2012) para a bacia do Rio Paracatu obteve resultados relevantes, quando da comparação do critério de outorga do IGAM (30% da $Q_{7,10}$ anual) com o critério proposto, 30% da $Q_{7,10}$ mensal, chegando a um acréscimo de 91% a 168% na vazão máxima permissível para outorga.

Pode-se observar que há um aumento da potencialidade de utilização da água superficial quando da utilização de critérios de outorga mensais, trimestrais ou semestrais. Dessa forma, a cobrança pelo uso da água com base na sazonalidade de

vazões que ocorrem na bacia hidrográfica, potencializa a utilização da água no período em que se tem maior disponibilidade hídrica.

2.5 Água Subterrânea como recurso estratégico

A água subterrânea exerce papel fundamental para o desenvolvimento humano, fornecendo o suprimento para diversas comunidades, bem como em sistemas autônomos residenciais, indústrias, serviços, irrigação agrícola e lazer. Não menos importante é seu papel ecológico, frente a manutenção da flora e da fauna, a perenização dos cursos d'água, visto que o fluxo de base advindo das descargas dos aquíferos mantém as vazões dos rios no período de estiagem (HIRATA et al. 2010).

A água subterrânea constitui o maior reservatório de água doce do mundo, representando mais de 97% de toda a água doce disponível no planeta (excluindo glaciais e calotas polares). Os restantes 3% são sobretudo constituídos por águas superficiais (lagos, rios e pântanos) e pela humidade da zona superficial do solo (EUROPEAN COMMUNITIES, 2008)

No Brasil, as reservas renováveis de água subterrânea correspondem a 24 % do escoamento dos rios em território nacional e 49 % da vazão de estiagem (considerada como a vazão de estiagem com 95 % de permanência). Em relação ao uso da água subterrânea, os aquíferos servem ao abastecimento de 30 a 40% da população do país, sendo que no Estado de São Paulo, 70 % dos núcleos urbanos são abastecidos total ou parcialmente pelas águas subterrâneas. No semi-árido nordestino, as comunidades rurais têm um importante manancial nas águas subterrâneas, assim como a irrigação no oeste da Chapada do Apodi, entre os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte (HIRATA et al. 2010).

A água subterrânea é uma importante reserva estratégica, e muitas vezes é utilizada com intuito de atender as necessidades humanas por insuficiência da água superficial. Contudo, a exploração desordenada da água subterrânea em áreas que são deficitárias de mananciais superficiais ou a não observância da época adequada para utilização da água subterrânea, tem levado à escassez hídrica, devido a incapacidade de recarga natural dos aquíferos (MOURA, 2004).

Albuquerque (2007) cita como exemplo da grande exploração do manancial subterrâneo, o “High Plain Aquífer”, também conhecido como “Ogalla Aquifer”, nos

Estados Unidos, em que a utilização demasiada da água subterrânea acarretou problemas como sua exaustão, alteração no regime hidrológico de rios, alguns dos quais secaram, e rebaixamento de terrenos.

Dessa forma, a água subterrânea deve ser encarada como uma reserva estratégica e ao mesmo tempo um recurso de grande importância ambiental. A sua utilização requer uma análise dos aspectos edafoclimáticos, da sazonalidade das vazões, da hidrogeologia e das demandas pelo uso da água na bacia, para assim, se ter uma exploração consciente a fim de não prejudicar as reservas subterrâneas.

2.6 Potencialidade de utilização da irrigação com déficit

A irrigação consiste na aplicação artificial de água no solo com intuito de suprir parte ou totalmente a demanda de água da planta, quando a precipitação não é capaz de atender as necessidades da cultura. A demanda hídrica das culturas é determinada com base nas perdas totais de água para a atmosfera pelo processo de evapotranspiração (BUENO, 2012; ABAD, 2007), e vai depender dos estágios de desenvolvimento e das condições climáticas locais.

A agricultura irrigada é conhecida como a maior usuária de água doce no mundo, sendo responsável pelo consumo de 69% (PIRES, 2008). No Brasil, segundo informações da ANA (2007), a distribuição percentual do volume consumido de água entre os setores da sociedade são: agricultura irrigada 46%, consumo urbano 27% e indústria 18%.

A demanda de água pela irrigação vai variar muito ao longo do ano, devido as variações sazonais climáticas. Como para alguns calendários de cultivo não necessariamente as maiores demandas são coincidentes com os meses de menor disponibilidade hídrica (SILVA, 2014), a consideração de critérios sazonais para outorga seria um outro aspecto bastante relevante no aumento do potencial irrigável.

Em alguns casos a água é um fator limitante, sendo importante planejar o manejo de irrigação para aumentar a eficiência do uso da água, mantendo a viabilidade econômica da atividade (MARTIN, et al. 2012). A redução do uso da água em circunstâncias de baixa oferta hídrica, pode ser atingida a partir do uso da técnica de irrigação com déficit (FERERES; SORIANO, 2007). Na irrigação com déficit,

somente parte do déficit hídrico é suprido através da irrigação, devendo o manejo e as adaptações da cultura minimizar as perdas de água.

2.7 Impactos dos reservatórios de regularização

Os reservatórios de regularização atuam como uma reserva estratégica e sua utilização está associada principalmente quando as condições a fio d'água não forem suficientes para satisfazer as demandas pelo uso da água, dessa forma, diante dos cenários de escassez hídrica devido ao aumento crescente da demanda pelo uso da água, os reservatórios surgem como uma alternativa para o aumento da disponibilidade hídrica.

Os reservatórios alteram a distribuição espacial e temporal do escoamento, gerando inúmeros benefícios tais como controle de enchentes, geração de energia elétrica, abastecimento humano, navegação e recreação, reduzindo, assim, a dependência humana sobre a disponibilidade hídrica natural da água (LIU et al. 2006). Além disso, altera a garantia do suprimento de água a jusante, aumentando o valor da vazão mínima disponível (vazão de maior garantia) a qual tende a se aproximar do valor da vazão média (ASFORA; CIRILO, 2005).

Portanto, os reservatórios podem estocar água no período em que se tem maior disponibilidade hídrica para que seja utilizada nos períodos de escassez hídrica, e assim, atender as demandas que superaram a disponibilidade hídrica a fio d'água potencializando o aumento de outorgas aos usuários.

Em condições a fio d'água, considera-se que as retiradas de água sejam feitas durante 24 horas por dia, 30 dias no mês, em vazões superpostas (vazões outorgadas utilizadas simultaneamente), sendo essa pressuposição adotada pelos órgãos gestores como garantia para o suprimento de água aos usuários. Contudo, quando se tem a construção de reservatórios, é possível considerar as retiradas conforme o tempo de utilização, isto é, as vazões distribuídas no tempo (NUNES; PRUSKI, 2015). Neste mesmo trabalho a consideração da substituição das vazões superpostas por vazões distribuídas no tempo teve-se um aumento da potencialidade de utilização dos recursos hídricos de até 60% e quando da consideração do critério de outorga para barramentos em substituição ao critério de outorga a fio d'água houve um aumento na disponibilidade hídrica de até 1610%.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As metodologias de cobrança pelo uso da água utilizadas neste trabalho foram desenvolvidas por Ramos (2016) e Ribeiro (2016) para a bacia do Paracatu e serão aplicadas para as bacias dos rios Grande e Paranaíba no presente estudo.

3.1 Caracterização das áreas de estudo

3.1.1 Bacia do rio Grande

A bacia hidrográfica do rio Grande está localizada na região hidrográfica do Paraná (Figura 1). De acordo com o Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Grande (IPT, 2008), a bacia compreende uma área de drenagem de 143.438 km², dos quais 57.092 km² (39,8%) encontram-se dentro do Estado de São Paulo e 86.345 km² (60,2%) no Estado de Minas Gerais. O Rio Grande nasce na Serra da Mantiqueira, no município de Bocaina de Minas a uma altitude de aproximadamente 1.980 m.

No que tange à dominialidade dos cursos d'água na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, verifica-se que 12,4% da extensão dos cursos d'água são de domínio da União, 36,2% são de domínio do estado de São Paulo e 51,4% são de domínio do estado de Minas Gerais.

Os principais afluentes do Grande pela margem direita são os rios das Mortes, Jacaré, Santana, Pouso Alegre, Uberaba e Verde, e na margem esquerda os rios Capivari, Verde, Sapucaí-Mirim, Sapucaí (mineiro), Pardo, Sapucaí (paulista), MogiGuaçu e Turvo.

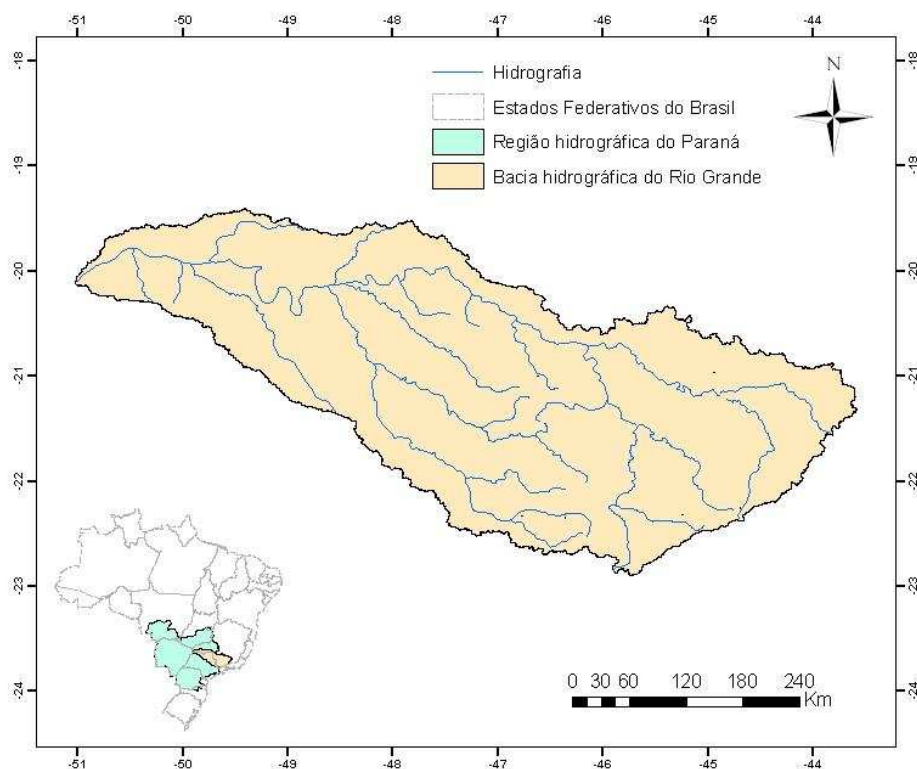


Figura 1: Localização geográfica da bacia do Grande.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na bacia hidrográfica é o Cwa (Clima subtropical de inverno seco) e na Serra da Mantiqueira é o Cwb (Clima subtropical de altitude). A temperatura média da bacia é 18°C, com temperaturas inferiores a 13°C no inverno (maio a setembro) e temperaturas superiores a 21°C no verão (novembro a março). Mais de 80% da precipitação anual ocorre no verão, especialmente, entre dezembro e março, e a precipitação média anual está entre 1.410 e 1.690 mm. Em termos morfológicos, a bacia apresenta relevo montanhoso, altitude média de 1000 m (ARAÚJO, 2006; JUNQUEIRA JUNIOR et al. 2008; Mello et al. 2008).

Segundo a classificação de solos do IBGE, a bacia apresenta variedade de solos com predominância de dois grandes grupos: latossolo vermelho e argissolo vermelho. As classes de uso e ocupação do solo na Bacia do Grande são pastagem e agricultura, sendo que a pastagem representa 56,2% da área da bacia enquanto a agricultura 36,10%.

As atividades agrícolas são mais intensas no médio e no baixo Rio Grande, sendo que a bacia possui um grande potencial para a irrigação. Os dados disponíveis

indicam, ainda, que a maior demanda de água (43,51% do total) é do setor que agrega irrigação/aqüicultura/dessedentação animal, seguida pelo uso industrial, com 37,37% da demanda, e o abastecimento público, com 16,78% da demanda.

3.1.2 Bacia do Paranaíba

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba é a segunda maior unidade da Região Hidrográfica do Paraná, ocupando 25,4% de sua área, e está localizada entre os paralelos 15° e 20° sul e os meridianos 45° e 53° oeste, com uma área de drenagem de 222,6 mil km² (Figura 2). Posicionada na região central do Brasil, ocupa cerca de 2,6% do território nacional e inclui os estados de Goiás (63,3%), Mato Grosso do Sul (3,4%) e Minas Gerais (31,7%), além do Distrito Federal (1,6%). A bacia possui 197 municípios, além do Distrito Federal (ANA, 2013b).

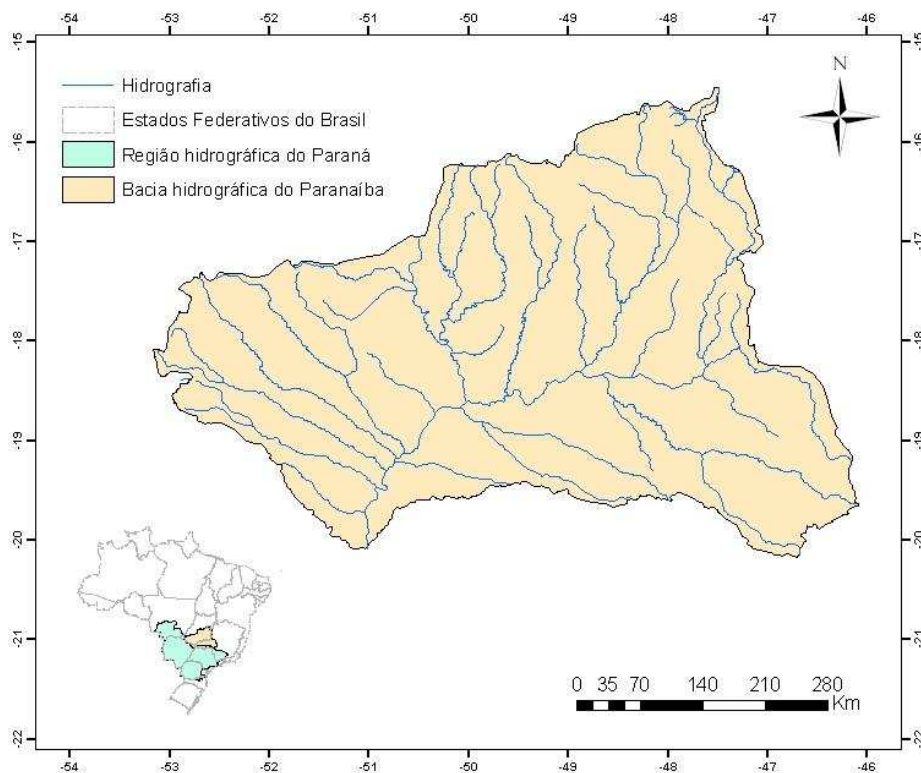


Figura 2: Localização geográfica da bacia do Paranaíba.

O rio Paranaíba, juntamente com o rio Grande, é um dos formadores do rio Paraná, sua nascente está situada na Serra da Mata da Corda, no município de Rio Paranaíba/MG, e possui altitude de cerca de 1.100 m.

A bacia do rio Paranaíba se caracteriza, segundo a classificação climática de Köppen, pelo tipo “Aw”, que corresponde ao clima tropical quente em todas as estações do ano (temperatura média mensal maior ou igual a 18° C) com inverno seco. As precipitações médias anuais variam de 1.435 mm na Unidade de gestão hídrica (UGH) do Distrito Federal a 1.592 mm na UGH Santana-Aporé, não havendo variações extremas entre as UGHs, sendo o valor médio na bacia do rio Paranaíba em torno de 1.500 mm. A evapotranspiração anual também apresenta pouca variação na bacia, com valores médios desde 909 mm no Distrito Federal até 1.129 na UGH Meia Ponte.

A bacia do rio Paranaíba está localizada em uma região estratégica no contexto nacional, possuindo relativa diversificação de suas atividades econômicas e grande potencial de expansão. Associadas a alguns dos maiores PIBs do Brasil, as atividades agrícola, pecuária, de mineração e industrial são as de maior destaque na bacia, além do setor de serviços nos principais centros urbanos.

O uso agrícola na bacia está relacionado principalmente aos cultivos de soja, café, milho e feijão, além da cana-de-açúcar, cultura para produção de álcool e açúcar que se expandiu fortemente na bacia.

3.1.3 Dados utilizados no estudo

Os dados utilizados no estudo compreendem estações pluviométricas, fluviométricas e climatológicas, para caracterização do comportamento hidrológico e climatológico nas bacias hidrográficas.

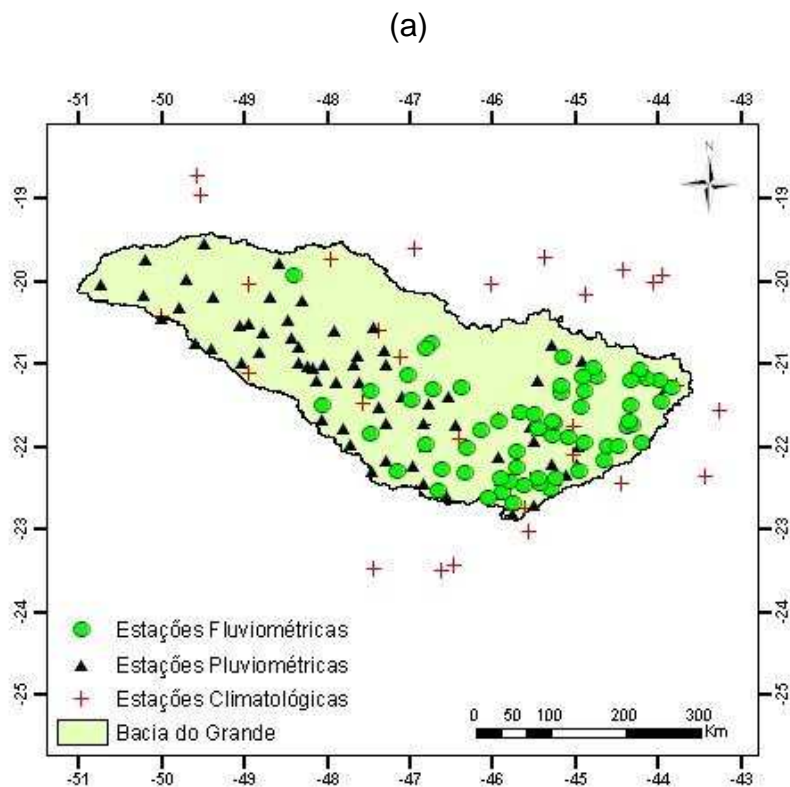
Para a bacia do Grande foram utilizados dados históricos de 61 estações fluviométricas e 106 estações pluviométricas disponibilizados na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), e 31 estações climatológicas, disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), referente à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período base adotado foi de 32 anos, de 1970 a 2002. A relação das estações utilizadas está apresentada no Apêndice A.

Para a bacia do Paranaíba foram utilizados dados históricos de 50 estações fluviométricas, 115 estações pluviométricas e 26 estações climatológicas. O período

base adotado foi de 30 anos, de 1976 a 2006. A relação das estações utilizadas está apresentada no Apêndice B.

Em ambas as bacias os dados das estações pluviométricas e fluviométricas foram processados com descarte dos anos que apresentaram mais de 5% de falhas. Nas estações climatológicas, foram descartados todos os meses da série que apresentavam falhas em ao menos uma das cinco variáveis utilizadas no estudo e excluídos os anos que apresentaram falhas em mais que três meses.

Na Figura 3 estão representadas as localizações geográficas das estações utilizadas na bacia do Grande e Paranaíba.



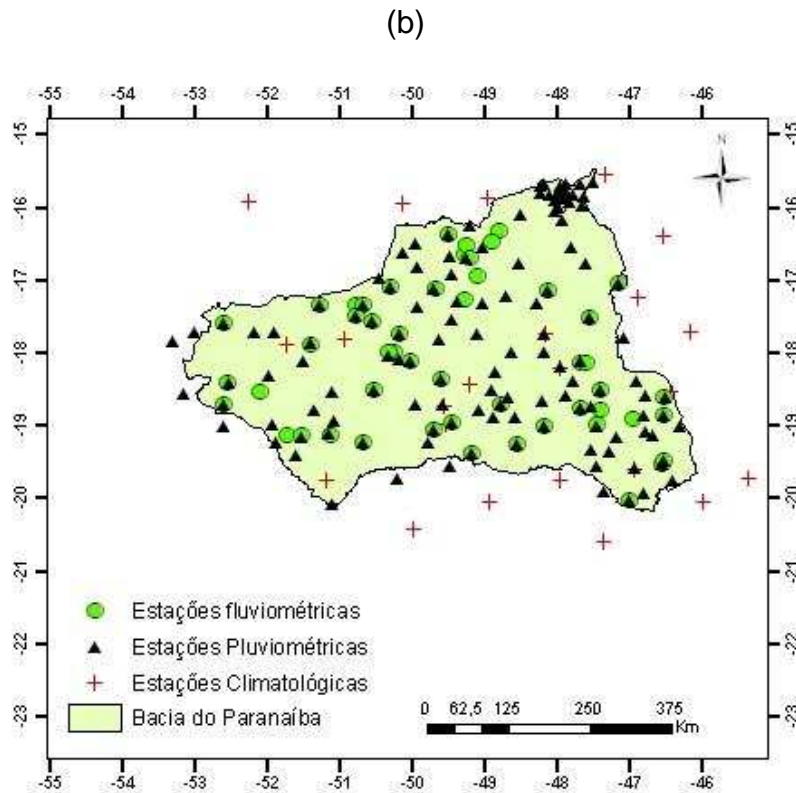


Figura 3: Localização das estações utilizadas no estudo para a bacia do Grande (a) e para a bacia do Paranaíba (b).

3.2 Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação

3.2.1 Obtenção das vazões mínimas anuais e mensais e estimativa das relações entre as $Q_{7,10}$ mensais e $Q_{7,10}$ anual

A estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ foi realizada pelo *software* SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA et al. 2009), considerando o início do ano hidrológico em janeiro (ano civil) e definindo um descarte dos anos com 5% ou mais de falhas nas séries históricas.

Para obtenção das vazões mínimas, o SisCAH utiliza as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2, e Weibull, sendo, para tais distribuições, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno dada pela equação:

$$M = \mu + k \delta \quad (1)$$

em que: M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido; μ = média dos eventos; K = fator de frequência, calculado para cada tipo de distribuição, conforme metodologia descrita por Kite (1988); e δ = desvio padrão dos eventos.

Para a estimativa da $Q_{7,10}$ anual, foram utilizadas as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7) observadas em cada ano do período base da série histórica de vazão. Já para a $Q_{7,10}$ mensal foi obtido um valor de Q_7 para cada mês de cada ano do período base sendo a análise similar à estimativa anual, porém com o intervalo de dados pertinente ao mês cuja vazão foi calculada. Às séries de eventos de Q_7 (anual e mensais) foram aplicadas distribuições de densidade de probabilidade, adotando um período de retorno de 10 anos na estimativa da variável de interesse $Q_{7,10}$.

A melhor estimativa correspondeu à distribuição de densidade de probabilidade que apresentou menor amplitude do intervalo de confiança, automaticamente indicada pelo software SisCAH 1.0

Uma vez obtidas as vazões mínimas em base mensal e anual, foi adotada como relação representativa da sazonalidade das vazões a razão entre a vazão mínima mensal e a vazão mínima anual, denominada, para melhor entendimento dos passos subsequentes, como relação entre as vazões mínimas mensais e anual ($RVM_{M/A}$):

$$RVM_{M/A} = \frac{Q_{7,10 \text{ mensal}}}{Q_{7,10 \text{ anual}}} \quad (2)$$

3.2.2 Estimativa da relação mensal entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação fluviométrica

Primeiramente foi feita a separação do escoamento total em escoamento subterrâneo e escoamento superficial direto através do *software* SepHidro (Sistema computacional para auxílio à separação dos hidrogramas em escoamento superficial e escoamento subterrâneo), desenvolvido por Miranda et al. (2014). Esse sistema

obtem os valores de escoamento com base em séries históricas de dados de vazão, utilizando as informações disponibilizadas no portal Hidroweb da ANA, no formato .mdb.

No SepHidro estão disponíveis três metodologias de separação do escoamento superficial, sendo eles os métodos do intervalo fixo (IF), o método do intervalo móvel (IM) e o método dos mínimos locais (ML), os quais são embasados na análise gráfica de hidrogramas. Para a aplicação neste trabalho, foi empregado o método dos mínimos locais, em razão de se aproximar mais dos resultados obtidos de processos manuais de separação.

Após a aplicação do método de separação dos escoamentos, os volumes de escoamento superficial e subterrâneo são obtidos pelas equações:

$$V_{(k)} = \int_{t_i}^{t_{k+1}} Q_k dt = \frac{(Q_{(k+1)} + Q_{(k)})}{2} \Delta t \quad (3)$$

$$V_{ESub(k)} = \int_{t_k}^{t_{k+1}} Q_{ESub(k)} dt = \frac{(Q_{ESub(k+1)} + Q_{ESub(k)})}{2} \Delta t \quad (4)$$

$$V_{ES(k)} = V_{(k)} - V_{ESub(k)} \quad (5)$$

em que: $V_{(k)}$ = volume de escoamento total no dia k, m³; $Q_{(k)}$ = vazão do dia k, obtida da base de dados da estação fluviométrica, m³·s⁻¹; Δt = intervalo de tempo compreendido entre os instantes t_k e t_{k+1} , igual a 86400s; $V_{ESub(k)}$ = volume de escoamento subterrâneo no dia k, m³; $Q_{ESub(k)}$ = vazão correspondente ao escoamento subterrâneo no dia k, m³·s⁻¹; e $V_{ES(k)}$ = volume de escoamento superficial direto no dia k, m³.

Para cada dia da série analisada, são obtidos os volumes de escoamento superficial e subterrâneo. O volume de escoamento superficial direto é obtido pela seguinte equação:

$$V_{ESa} = \sum_{k=1}^{ud} V_{ES(k)} \quad (6)$$

em que: V_{ESa} = volume de escoamento superficial direto total anual, m^3 ; $V_{ES(k)}$ = volume de escoamento superficial direto no dia k , m^3 ; e ud = último dia do ano hidrológico.

O ano hidrológico é definido com base na observação do período de recessão dos escoamentos nos hidrogramas.

A aplicação do sistema computacional *SepHidro* permite a obtenção dos volumes de escoamento superficial direto e de escoamento subterrâneo e, conseqüentemente, do escoamento total para cada dia da série de dados de vazão, correspondente as estações fluviométricas consideradas. Além disso, esse sistema também fornece os valores médios mensais com base na série histórica utilizada. E os volumes são então apresentados em termos de lâminas de escoamento nas áreas de drenagem das estações.

Após a separação do escoamento total em escoamento subterrâneo e superficial direto, foi feita a relação mensal entre o escoamento subterrâneo e total, com intuito de verificar a contribuição do escoamento de base para formação das vazões, de acordo a equação:

$$R_{EST\ m} = \frac{LE_{Sub\ m}}{LE_{Total\ m}} \quad (7)$$

em que: m = mês; $R_{EST\ m}$ = relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total no mês m ; $LE_{Sub\ m}$ = lâmina de escoamento subterrâneo para o mês m ; LE_{Total} = lâmina de escoamento total para o mês m .

Para cada ano da série, foi obtido o valor mensal da relação anteriormente citada e, por fim, foi feita uma média desse valor, obtendo um valor médio da relação para cada mês do ano para cada estação fluviométrica.

3.2.3 Identificação de *outliers* e definição de regiões homogêneas

3.2.3.1 Aplicação do *Box Plot*

O *Box Plot* é um gráfico proposto para a detecção de valores discrepantes (*outliers*), esses valores discrepantes podem representar erros no processo de coleta ou de processamento dos dados, e, nesse caso, devem ser corrigidos ou excluídos do banco de dados (REIS; REIS, 2002).

O gráfico *Box Plot* tem formato de caixa, sendo construído com base em cinco números: limite inferior, primeiro quartil, mediana (segundo quartil), terceiro quartil e limite superior. Os limites inferior (L_I) e superior (L_S), especificados nas equações 8 e 9, caracterizam um intervalo de valores para determinado conjunto de dados, sendo assim, os dados que se localizam fora desse intervalo são denominados *outliers*.

$$L_I = Q_1 - 1,5 (Q_3 - Q_1) \quad (8)$$

$$L_S = Q_3 + 1,5 (Q_3 - Q_1) \quad (9)$$

em que: L_I = limite inferior do *Box Plot* para identificação de *outliers*; L_S = limite superior do *Box Plot* para identificação de *outliers*; Q_1 = quartil 1; Q_3 = quartil 3; e 1,5 = valor obtido por meio da comparação com uma distribuição normal.

Nas situações em que os dados apresentam maior discrepância, eles são denominados *outliers* extremos, sendo os limites que caracterizam sua ocorrência apresentados nas equações 10 e 11:

$$LE_I = Q_1 - 3 (Q_3 - Q_1) \quad (10)$$

$$LE_S = Q_3 + 3 (Q_3 - Q_1) \quad (11)$$

em que: LE_I = limite inferior do *Box Plot* para identificação de *outliers* extremos; LE_S = limite superior do *Box Plot* para identificação de *outliers* extremos; e 3,0 = valor obtido por meio da comparação com uma distribuição normal.

A análise de *Box Plot* foi aplicada aos valores mensais de $RVM_{M/A}$ e $R_{EST\ m}$ para as estações fluviométricas utilizadas no estudo para as bacias do Grande e Paranaíba.

3.2.3.2 Análise de agrupamento

Para cada um desses índices separadamente: $RVM_{M/A}$, $R_{EST\ m}$ e $(ET_0 - P_{80\%})$ que serão detalhados a seguir, foi feita a análise da existência de regiões homogêneas nas bacias do Grande e Paranaíba através da análise de agrupamentos.

A análise de agrupamentos, também conhecida como análise de *cluster* ou de conglomerados, é uma técnica estatística multivariada, que tenta sintetizar ou simplificar a estrutura de variabilidade dos dados (MATOS, 2007). Essa técnica tem como objetivo a organização dos dados em grupos, de modo que apresentem variância mínima em seu interior e variância máxima entre os diferentes *clusters*.

Foi adotado o método de agrupamento hierárquico e a distância euclidiana generalizada, que consiste na distância geométrica tomada em um espaço de p dimensões (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (Z_{ik} - Z_{jk})^2} \quad (12)$$

em que: D_{ij} = distância euclidiana entre dois indivíduos i e j ; Z_i = característica relacionada ao indivíduo i ; e Z_j = característica relacionada ao indivíduo j ; K neste caso representa a variável ou parâmetro considerado e p é o número total de variáveis ou parâmetros considerados.

O método selecionado para análise de cluster das estações foi o método hierárquico desenvolvido por Ward em 1963, o qual aplica a análise de variância para determinar as distâncias entre clusters e, a cada nova iteração, reaglomerá-los de forma a minimizar a soma dos quadrados de quaisquer pares de dois clusters hipotéticos (NAGHETTINI; PINTO 2007). Para a realização dos processamentos

referentes à análise de cluster, utilizou-se o programa R, com auxílio dos pacotes “DAAG” e “ClusterCrit”.

3.2.3.2.1 Teste estatístico para medida de heterogeneidade - H

Posteriormente à realização da análise de cluster, os totais de 1, 2, 3, 4 grupos obtidos para as bacias foram analisados espacialmente de maneira a se observar qual divisão resultou em uma melhor representação. Os agrupamentos gerados também foram avaliados segundo medidas de heterogeneidade - H. Deste modo, a análise espacial, juntamente com a análise estatística, permitiu a definição do melhor agrupamento para o estabelecimento da metodologia de cobrança.

A estatística H avalia o grau de heterogeneidade de uma região pela comparação da variabilidade amostral observada com uma variabilidade esperada para uma região homogênea. Contudo, é importante ressaltar que a homogeneidade de uma região deve ser baseada, sobretudo, em suas características de uniformidade física ou geográfica, não apenas nos valores de H (HOSKING; WALLIS, 1997).

O cálculo da dispersão das regiões proposta e simulada foi feito pelo coeficiente de variação amostral (CV-L), isto é, t , conforme recomendam Hosking e Wallis (1997). A medida de variância como uma medida de dispersão, ponderada pelo tamanho das séries, é calculada conforme a equação:

$$V = \left[\frac{\sum_{j=1}^N n_j (t^j - t^R)^2}{\sum_{j=1}^N n_j} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

em que: V = medida de variância ponderada pelo tamanho das séries; n_j = número de locais na região em questão; t^j , t_3^j , t_4^j = médias regionais dos quocientes CV-L, Assimetria-L e Curtose-L; N representa o nº de locais/estações na região R ; R é a região como um todo.

O cálculo das estatísticas simuladas para a região homogênea requer a definição de uma função de distribuição de probabilidades para a população à qual pertence a amostra. Hosking e Wallis (1997) recomendam a utilização da distribuição *Kappa*, de quatro parâmetros, pela sua maior flexibilidade e, também, para evitar o

comprometimento com uma distribuição particular de dois ou três parâmetros (WOLF, 2013; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A média aritmética das variâncias V_j , calculadas para cada simulação, fornecerá a dispersão média esperada na região homogênea:

$$\mu_V = \frac{\sum_{j=1}^{N_{SIM}} V_j}{N_{SIM}} \quad (14)$$

em que N_{SIM} é o número de simulações.

A medida de heterogeneidade H estabelece uma comparação entre a dispersão observada e a dispersão simulada:

$$H = \frac{(V - \mu_V)}{\sigma_V} \quad (15)$$

em que: V = estatística calculada por meio da equação 17; μ_V = média aritmética das estatísticas V_j calculadas para cada simulação; σ_V = desvio padrão entre os N_{SIM} valores da medida de dispersão V_j , calculado pela equação:

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N_{SIM}} (V_j - \mu_V)^2}{N_{SIM} - 1}} \quad (16)$$

Portanto, a região é considerada “aceitavelmente homogênea” se $H < 1$, “possivelmente heterogênea” se $1 < H < 2$, e, “definitivamente heterogênea”, se $H > 2$.

3.2.3.3 Definição de intervalos de confiança para os valores mensais

De posse das regiões homogêneas, foram calculados os seus respectivos valores médios mensais de R_{EST} e $RVM_{M/A}$ e, com a finalidade de associar uma maior confiabilidade aos dados, aplicou-se um intervalo de confiança de 95%, equação 21,

que equivale a uma probabilidade de 95% de os intervalos construídos conterem a verdadeira média.

$$IC_R = \overline{R_{EST\ m}} \text{ ou } \overline{RVM_{M/A}} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (17)$$

em que: IC_R = intervalo de confiança; $\overline{R_{EST\ m}}$ = média das relações entre os escoamentos subterrâneo e escoamento total para cada mês m ; $\overline{RVM_{M/A}}$ = média mensal das relações entre as vazões mínimas mensais e anual; σ = desvio padrão para cada mês; e N = número de anos da série.

3.2.4 Determinação do fator de sazonalidade

O fator de sazonalidade tem como objetivo a utilização mais racional dos recursos hídricos, e tem como princípio a lei da oferta e da demanda, sendo seu preço condicionado pela proporção inversa à da oferta. No presente estudo, a oferta é representada pela maior disponibilidade de recursos hídricos, conseqüentemente, o período de maior escassez deve ser associado ao maior valor da água.

Para determinação do fator de sazonalidade, foram tomados como referência os valores médios das $RVM_{M/A}$ correspondentes às estações fluviométricas pertencentes à região homogênea.

Ramos (2016) propôs três aproximações para o fator de sazonalidade. A primeira aproximação consiste na inversão dos valores de $RVM_{M/A}$, com o objetivo de associar a máxima valoração ao mês de maior escassez, expresso pela equação:

$$F_{s\ (1^a\ aprox.),\ i} = \frac{1}{\overline{RVM_{M/A,\ i}}} \quad (18)$$

em que: $F_{s\ (1^a\ aprox.),\ i}$ = fator de sazonalidade - 1ª aproximação no mês i (adimensional), e $\overline{RVM_{M/A,\ i}}$ = valor médio da relação entre a vazão mínima mensal e anual no mês i (adimensional).

Devido ao fato de haver um fator de desconto associado a todos os meses do ano, o que envolve um deplecionamento do custo final da água, inclusive, em seu período de maior escassez, foi proposta a segunda aproximação de modo que o mês de menor disponibilidade, esteja associado a um valor unitário.

$$F_{s(2^{\text{a}} \text{ aprox.}), i} = \left(\frac{1}{F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), m}} \right) F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), i} \quad (19)$$

em que: $F_{s(2^{\text{a}} \text{ aprox.}), i}$ = fator de sazonalidade - 2ª aproximação (adimensional) para o mês i ; $\frac{1}{F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), m}}$ = fator de ajuste considerando o menor fator de sazonalidade (1ª aproximação) do ano. e $F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), i}$ = fator de sazonalidade - 1ª aproximação (adimensional).

A terceira aproximação do fator de sazonalidade foi devido ao grande desconto ocorrido nos meses que apresentam uma considerável frequência de ocorrência de vazões mínimas. Assim, foi feita pela substituição dos valores médios da relação entre vazões mínimas mensais e anual pelos valores correspondentes ao limite inferior do intervalo de confiança, pelo fato dos valores médios não considerarem a existência de uma variabilidade interanual e as incertezas associadas à predição das vazões mínimas.

$$F_{s,i} = \frac{1}{\frac{F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), m}}{RVM_{M/A(ICI), i}}} \quad (20)$$

em que: $F_{s,i}$ = fator de sazonalidade para o mês i ; $\frac{1}{F_{s(1^{\text{a}} \text{ aprox.}), m}}$ = fator de ajuste considerando o menor fator de sazonalidade (1ª aprox.) do ano e $\overline{RVM}_{M/A(ICI), i}$ = limite inferior do intervalo de confiança associado à média dos valores obtidos da relação entre a vazão mínima mensal e anual para o mês i .

3.2.5 Determinação do fator manancial de captação

A determinação do fator manancial de captação foi embasado nos estudos das relações mensais entre o escoamento subterrâneo e total (R_{EST}), e se baseia no princípio da lei da oferta e da procura. Considerando que a oferta é representada pela soma do escoamento subterrâneo e do superficial direto, o período no qual a oferta de água é representada majoritariamente pelo escoamento subterrâneo, à água subterrânea é associada um valor menor, e no período em que se tem água superficial em maior disponibilidade, o uso da água subterrânea receberá maior valoração com vistas à promover o uso mais racional deste recurso.

Assim, Ribeiro (2016) propôs três aproximações para o fator manancial de captação. A primeira aproximação consiste na inversão do valor correspondente à (R_{EST}), considerando que a utilização de um coeficiente multiplicador na cobrança pelo uso da água é de mais fácil compreensão que um divisor, conforme a equação:

$$F_{MC (1^a \text{ aprox.})} = \frac{1}{R_{EST\ m}} \quad (21)$$

em que: $F_{MC (1^a \text{ aprox.})}$ = a primeira aproximação obtida para o fator manancial de captação, adimensional; $R_{EST\ m}$ = relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total média para o mês m , adimensional.

A criação do fator manancial de captação tem como objetivo incentivar o uso mais racional dos recursos hídricos, tornando-se contraditório o aumento do valor da água subterrânea nos meses em que a disponibilidade hídrica superficial é mínima. Assim, foi proposta a 2ª aproximação do fator manancial de captação, levando em consideração a frequência de ocorrência da $Q_{7,10}$, com base na equação:

$$F_{MC (2^a \text{ aprox.})} = \frac{1}{\frac{R_{EST\ m}}{1 - f_m}} \quad (22)$$

em que: $F_{MC (2^a \text{ aprox.})}$ = segunda aproximação obtida para o fator manancial de captação, adimensional; f_m = é a frequência média de ocorrência da $Q_{7,10}$ para cada mês m , adimensional.

E por fim, foi proposta a 3ª aproximação do fator manancial de captação, com o intuito de tornar o menor valor da água subterrânea igual à unidade no mês em que se tem menor disponibilidade hídrica, conforme a equação:

$$F_{MC (3^a \text{ aprox.})} = \frac{1}{\frac{R_{EST \ m}}{1 - f \ m}} \frac{1}{F_{MC (2^a \text{ aprox.}), m}} \quad (23)$$

em que: $F_{MC (3^a \text{ aprox.})}$ = terceira aproximação obtida para o fator manancial de captação para o mês m , adimensional; e $\frac{1}{F_{MC (2^a \text{ aprox.}), m}}$ = fator de ajuste considerando o menor fator manancial de captação (2ª aprox.) do ano.

3.3 Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica das culturas

IBIO e Funarbe (2013), em estudo para o aprimoramento de mecanismos de cobrança, desenvolveram um fator de uso da água de irrigação, que, estimado com base na efetiva demanda hídrica a ser suprida para a cultura, tinha como finalidade estimular o uso de boas práticas na agricultura irrigada. Ramos (2016) buscou o aprimoramento da metodologia proposta por IBIO e Funarbe (2013), propondo que o valor a ser cobrado pela água utilizada na irrigação fosse diretamente dependente da eficiência com que este recurso é utilizado. Dessa forma, no presente trabalho foi feita a aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica das culturas proposta por Ramos (2016) para as bacias em estudo.

3.3.1 Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico

A identificação das regiões homogêneas foi feita considerando o balanço hídrico obtido por meio da diferença entre a evapotranspiração de referência e a precipitação provável com 80% de probabilidade de ocorrência.

3.3.1.1 Balanço hídrico ($E_t - P_{80\%}$)

3.3.1.1.1 Evapotranspiração de referência – E_t

A evapotranspiração de referência consiste na evapotranspiração de uma superfície de referência coberta com grama em crescimento ativo, sem condição de restrição hídrica.

Para sua estimativa, foi utilizado o método combinado de Penman-Monteith-FAO, pela equação apresentada por Allen et al. (1998):

$$ET_0 = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (24)$$

em que: ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ; Δ = declividade da curva de pressão de vapor, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n = radiação líquida à superfície de cultura, $\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$; G = densidade do fluxo de calor do solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; Γ = constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; T = temperatura média do ar diária a 2 m de altura, $^\circ\text{C}$; U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, ms^{-1} ; e_s = pressão de vapor de saturação, kPa ; e_a = pressão atual de vapor, kPa ; e $e_s - e_a$ = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa .

A aplicação dessa equação foi feita pelo *software Reference Evapotranspiration Calculator* – RefEt 3.1.15 (ALLEN, 2013), em função do fornecimento de dados mensais de temperatura máxima e mínima, insolação, velocidade do vento e umidade relativa.

Com os valores estimados de evapotranspiração de referência, foi obtida uma média mensal de longa duração, e visando à obtenção de mapas que pudessem caracterizar toda a área de estudo, os valores mensais foram interpolados pelo método do inverso da distância ponderada (IDP), no *software ArcGis 10.1*.

3.3.1.1.2 Precipitação provável

A precipitação provável faz referência à quantidade mínima de precipitação associada à determinada probabilidade de ocorrência e é definida como de

fundamental importância para o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação complementar (BERNARDO et al. 2006).

Para sua estimativa, usou-se a Distribuição Gama, comumente vista na literatura como meio para análise de dados hidrológicos. O método consiste em estimar a probabilidade acumulada de ocorrência de determinada lâmina de precipitação. Esse cálculo foi feito por meio do fornecimento da probabilidade de interesse e dos parâmetros de forma e escala à função INV.GAMA no *software* Excel 2010, que retorna ao inverso da função gama definida por:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x e^{-\frac{x}{\beta}} x^{\alpha-1} dx \quad (25)$$

em que: $F(x)$ = probabilidade de ocorrência do evento, em decimal; x = precipitação em mm; β = parâmetro de escala; α = parâmetro de forma; e $\Gamma(\alpha)$ = função gama incompleta.

Como o valor de probabilidade representa a probabilidade da precipitação ocorrer até determinado valor de lâmina, utilizou-se o nível de probabilidade de 20%, o que significa 80% de probabilidade de que certa precipitação seja superada.

O método de inferência estatística usado para a obtenção dos parâmetros de ajuste para a distribuição foi o Método da Máxima Verossimilhança:

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (26)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \left(1 + \frac{4A}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (27)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (28)$$

em que: n = número de meses da série cuja precipitação é maior que zero; x_i = precipitação no período, mm; e \bar{x} = precipitação média no período, mm.

Em razão da existência de valores mensais nulos, em decorrência dos meses secos, fez-se uso de uma distribuição mista, conforme descrito por Thom, citado por Rodrigues e Pruski (1997):

$$F(x)_1 = Q_0 + Q_1 F(x) \quad (29)$$

$$Q_0 = \frac{n_0}{(n_0 + n)} \quad (30)$$

$$Q_1 = 1 - Q_0 \quad (31)$$

em que n_0 é igual ao número de meses iguais a zero em uma série de precipitação.

A aderência das distribuições de probabilidade foi estudada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os valores de precipitação provável mensais obtidos para cada uma das séries consideradas foram então subtraídos dos valores mensais de evapotranspiração de referência média de longa duração adquiridos para estação pluviométrica, para obtenção do balanço hídrico ($ET_0 - P_{80\%}$).

A identificação de regiões homogêneas foi feita com base na variável balanço hídrico com o recurso da análise de agrupamentos já descrita no item 3.2.3.2

3.3.2 Estimativa da demanda de água pela irrigação

Para o cálculo das vazões unitárias consumidas mensalmente pela irrigação de cada cultura específica e considerando condições de bombeamento a fio d'água, foi considerada a equação:

$$q_{u,i} = \left(\frac{(\sum_{j=1}^{30} ET_{pc}) - P_{80\%}}{E_a} \right) \frac{NHD}{NTFP} \frac{1}{259,2} \quad (32)$$

em que: $q_{u,i}$ = vazão unitária necessária para a cultura de interesse no mês i , $L s^{-1} ha^{-1}$; $ET_{pc,j}$ = evapotranspiração potencial da cultura para o dia j , $mm d^{-1}$; $P_{80\%}$ = precipitação provável mensal associada a 80% de probabilidade, $mm mes^{-1}$; E_a = eficiência de irrigação, adimensional; $NHD/NTFP$ = número de horas no dia/número de horas fora do horário de ponta para a tarifação da energia elétrica; e $1/259,2$ = fator de conversão de unidades.

Para aplicação dessa equação foram utilizados os valores médios mensais espacializados de evapotranspiração de referência de longa duração e de precipitações prováveis correspondentes a cada região homogênea identificada. A determinação das outras variáveis da equação foi feita segundo metodologias descritas na sequência.

No presente trabalho, não foram considerados na estimativa das vazões unitárias consumidas mensalmente pela irrigação, nem os aspectos fitossanitários referentes ao não plantio da cultura da soja em períodos específicos do ano, os quais são adotados com o objetivo de evitar doenças e pragas nas lavouras.

3.3.3 Evapotranspiração potencial da cultura – ET_{pc}

Foram consideradas algumas das principais culturas irrigadas nas bacias, sendo elas: soja e cana-de-açúcar – culturas temporárias; e banana e café - culturas permanentes. Para obtenção dos coeficientes dessas culturas e sua respectiva fase de duração, (Tabela 1), foi utilizado o boletim 33 FAO (DOORENBONS; KASSAM, 1994).

Tabela 1: Coeficiente da cultura e duração dos respectivos estádios fenológicos das culturas utilizados no estudo

| | Soja | |
|-----------------|------|----------------|
| | Kc | Duração (dias) |
| Estabelecimento | 0,35 | 10 |
| Vegetativo | 0,75 | 30 |
| Floração | 1 | 25 |
| Desenvolvimento | 0,75 | 30 |
| Maturação | 0,45 | 10 |

| | Cana-de-açúcar | |
|----------------------------------|----------------|----------------|
| | Kc | Duração (dias) |
| Do plantio até 0,25 de cobertura | 0,50 | 30 |
| De 0,25 a 0,50 de cobertura | 0,80 | 30 |
| De 0,50 a 0,75 de cobertura | 0,95 | 15 |
| De 0,75 a cobertura completa | 1,10 | 45 |
| Utilização máxima | 1,18 | 180 |
| Início da senescência | 0,93 | 30 |
| Maturação | 0,68 | 30 |

Para a banana e o café, foram adotados coeficientes iguais a 1,2 e 0,9, respectivamente.

Assim, a evapotranspiração potencial da cultura que corresponde à evapotranspiração máxima da cultura durante suas diversas fases de desenvolvimento foi então dada pela equação:

$$ET_{pc} = ET_0 Kc \quad (33)$$

em que: ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹; e Kc = coeficiente da cultura para determinada fase de desenvolvimento, adimensional.

3.3.4 Eficiência de irrigação – Ea

A eficiência de aplicação (Ea) é um fator de correção da quantidade total de água utilizada na irrigação, pois considera as possíveis perdas que podem ocorrer no sistema.

Para cada tipo de cultura, foi associado o método de irrigação de uso mais frequente, sendo o método de irrigação por aspersão associado às culturas temporárias e o de irrigação localizada, às culturas permanentes, sendo considerado, para ambos, o valor de eficiência de aplicação correspondente a 0,9.

3.3.5 Fator relativo às horas de bombeamento por dia (NHD/NHFP)

Esse fator foi considerado devido ao estabelecimento, pelos portos tarifários, de tarifas diferenciadas ao longo do dia. Exceto aos sábados, domingos e feriados nacionais, há o que é denominado tarifas de ponta e intermediária. A tarifa de ponta corresponde ao período de 3 horas consecutivas diárias, das 18:00 às 21:00h, e a intermediária corresponde ao período formado pela hora imediatamente anterior e a hora imediatamente posterior ao período de ponta, totalizando 2 horas, das 17:00 às 18:00h e das 21:00 às 22:00h. Logo, a tarifa diferenciada recairia sobre o período de 5 horas de duração entre as 17:00 às 22:00h. Assim, o uso da relação NHD/NHFP representa uma compensação de vazão para irrigação correspondente às horas do dia fora do horário de tarifa diferenciada, estimado pela razão 24/19 (IBIO; FUNARBE, 2013).

3.3.6 Aprimoramento do fator de uso da água na irrigação

O fator de uso da água na irrigação proposto por IBIO e Funarbe (2013), apresentado na equação 38, buscou a determinação de uma demanda a ser suprida pela irrigação que pudesse servir de referência aos mecanismos de cobrança como um incentivo ao aumento da eficiência do uso da água.

$$F_{ui} = \frac{q_{out,i}}{q_{u,i (tab)}} \quad (34)$$

em que: $q_{out,i}$ = vazão unitária outorgada para cada cultura por mês, $L s^{-1} ha^{-1}$; e $q_{u,i (tab)}$ = vazão unitária tabelada com base na demanda necessária para a cultura de interesse no mês i , $L s^{-1} ha^{-1}$.

Os valores de vazões unitárias tabeladas foram definidos com base em valores mensais de vazões correspondentes à efetiva demanda de água para irrigação, e valores mínimos prefixados, justificados pelo fato de a oferta de água em alguns meses dispensar a imposição de severas restrições.

Tendo em vista uma alocação mais eficiente do uso da água no decorrer do ano frente à variação de disponibilidade hídrica na hidrografia e às incertezas associadas ao processo de definição das vazões mínimas prefixadas, buscou-se no presente estudo uma aplicação dos aprimoramentos dos valores $q_{u,i (tab)}$.

O primeiro ajuste foi proposto somente para as culturas temporárias, uma vez que as culturas permanentes apresentam K_c fixo. Este ajuste consiste no desestímulo do uso da água nos meses de maior escassez, buscando-se associar aos valores da máxima vazão unitária necessária $q_{u,i (máx.)}$ um fator de desestímulo ao uso da água na irrigação, de modo a evitar, em condições a fio d'água, a ocorrência dos maiores valores de $q_{u,i (máx.)}$ no período de menor disponibilidade hídrica. Com isso, os valores de $q_{u,i (máx.)}$ decorrentes da consideração desse ajuste passam a ser chamados de máxima vazão unitária necessária com fator de restrição ($q_{u,i (rest.)}$). Considerou-se para o critério de definição dos meses de menores disponibilidades um valor limite de $RVM_{M/A}$ (relação de vazões mínimas mensais e anual) igual a 1,5, logo, nesses meses evita-se a coincidência do máximo valor de K_c utilizado na estimativa de $q_{u,i (máx.)}$ para as culturas temporárias.

No caso da soja que possui o máximo valor de K_c é igual a 1, correspondente aos 25 dias de floração, a adoção desse ajuste implicou para este estágio de desenvolvimento, que fosse considerado um valor de K_c igual a 0,75, o qual corresponde ao valor de K_c imediatamente inferior ao valor máximo.

No caso da cana-de-açúcar o K_c máximo é igual a 1,18 e corresponde à fase de utilização máxima da cultura, com duração de 180 dias, e a utilização do K_c imediatamente anterior em sua substituição, igual 1,10, correspondente à fase que se estende de 75% de cobertura à cobertura completa, com duração de 45 dias. Esta alteração faria com que a vazão unitária necessária obtida ainda fosse expressivamente alta para ser utilizada no período de menor disponibilidade hídrica, assim, estabeleceu-se, para essas situações, que o K_c utilizado não deve exceder a unidade, ou seja, a demanda das culturas temporárias nesse período deve apresentar no máximo a demanda correspondente à evapotranspiração de referência. Considerou-se, portanto, para a estimativa dos valores de $q_{u,i (rest.)}$ correspondentes a esse período, que para as fases correspondentes à finalização da cobertura e à utilização máxima da cultura, fosse adotado um valor de K_c igual a 0,95.

O segundo ajuste foi proposto para as culturas temporárias e permanentes, e consiste em corrigir a inconsistência associada à aplicação dos valores de $q_{u,i (rest.)}$ nulos, ou expressivamente baixos nos meses mais chuvosos, pois a utilização desses valores como denominadores na equação 38 resultaria na obtenção de valores infinitos para o F_{ui} , o que, em termos práticos, acarreta em inconsistência na cobrança pelo uso da água nesses meses. Além desse fato, há que se considerar a análise da frequência de ocorrência de decêndios em que a evapotranspiração de referência é superior à precipitação. Desse modo, foi proposto um segundo ajuste, que consiste no estabelecimento de uma máxima vazão unitária com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico ($q_{u,i (rest. corrig.)}$) que atenda ao déficit hídrico decendial em 80% do tempo.

3.4 Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões

3.4.1 Impacto dos reservatórios na disponibilidade hídrica com base na legislação atual

A legislação atual considera que o volume associado à vazão de 50% da $Q_{7,10}$ corresponde ao volume residual mínimo que deve ser garantido a jusante de cada derivação com a finalidade de atender as exigências ambientais. A esse volume, portanto, não se atribui um valor econômico, visto não estar disponível para captação.

O restante do volume associado a uma vazão de 50% da $Q_{7,10}$ ($Q_{7,10} - 50\%Q_{7,10}$) representa a disponibilidade hídrica em condições naturais.

Em situações em que a disponibilidade hídrica natural não é suficiente para atender as demandas, pode ser adotada a regularização de vazões, em que são construídos reservatórios para o armazenamento de água nos períodos de excedente hídrico para uso nos períodos de escassez. Nessa situação, a garantia de suprimento de água aproxima-se do potencial da bacia, e a vazão de referência para outorga passa a ser a vazão média de longa duração. O volume que representa a disponibilidade hídrica em condições de regularização de vazões, está associado à vazão média de longa duração menos a vazão mínima residual.

A alteração da vazão de referência para outorga da $Q_{7,10}$ para Q_{mld} possibilita o aumento na utilização dos recursos hídricos. Com o intuito de estimar o aumento de disponibilidade, que se tem com a utilização da regularização de vazões em substituição à condição a fio d'água, gerou-se, para cada bacia, um mapa de "ΔDisp.", estimada pela equação:

$$\Delta \text{Disp. \%} = \frac{(Q_{mld} - 0,5 Q_{7,10}) - (0,5 Q_{7,10})}{(0,5 Q_{7,10})} 100 \quad (35)$$

em que: ΔDisp.% é o acréscimo em disponibilidade hídrica devido à alteração do critério de outorga em condições de regularização de vazão, %.

A utilização da regularização de vazões potencializa o aumento do uso da água com base no acréscimo de disponibilidade hídrica, contudo, de acordo com as legislações de recursos hídricos vigentes, esse volume correspondente ao aumento da oferta de água em condições de regularização, está associado ao mesmo custo unitário do volume em condições a fio d'água. Esse procedimento contradiz o princípio clássico de que os preços dos bens ou serviços devem refletir a relação existente entre a oferta e a demanda desses bens e serviços (GARRIDO citado por CARVALHO et al. 2005), visto o volume potencial de aproveitamento em condições de regularização supera muito, em geral, o volume disponível em condições a fio d'água.

Outro aspecto que merece consideração é o fato de, embora todo o aumento da disponibilidade seja possível em condições de regularização, a vazão remanescente

requerida pelas legislações de recursos hídricos vigentes no Brasil, normalmente, é a mesma vazão remanescente que em condições a fio d'água. Esse procedimento causa uma interferência expressiva para os usuários de jusante, inclusive para os que se valem do uso da água em condições naturais.

Na sequência, são apresentadas as proposições de adoção de um critério diferenciado para a cobrança pelo uso da água e de alteração da vazão mínima residual em condições de regularização de vazões.

3.4.2 Proposição de adoção de um critério diferenciado de cobrança pelo uso da água em condições de regularização e de alteração da vazão mínima residual

Em razão dos benefícios relacionados a uma melhor locação da água pelo emprego da construção de reservatórios, foi proposto por Ribeiro (2016) a criação de um fator de deplecionamento do custo unitário da água para as condições de regularização de vazões.

Com a finalidade de favorecer a utilização mais racional dos recursos hídricos, sugere-se que, quando da utilização de reservatórios de regularização, haja uma alteração da vazão mínima residual de 50% da $Q_{7,10}$ para 100% da $Q_{7,10}$ visando a preservar as condições de disponibilidade natural, permitindo, desta forma, que o uso de água em condições de regularização não interfira nas condições de gestão a fio d'água.

Com base nesse propósito, procedeu-se a uma nova análise dos impactos da construção dos reservatórios na disponibilidade hídrica, considerando a alteração da vazão mínima residual para um valor igual a 100% da $Q_{7,10}$, em condições de regularização. Para esta condição, vão ser gerados mapas correspondente à “ Δ Disp.mod” para as bacias:

$$\Delta \text{Disp. mod \%} = \frac{(Q_{\text{mld}} - Q_{7,10}) - (Q_{7,10})}{(0,5 Q_{7,10})} 100 \quad (36)$$

em que $\Delta \text{Disp. mod \%}$ é o acréscimo na disponibilidade hídrica em relação à condição a fio d'água e considerando, portanto, a alteração da vazão mínima residual para 100% da $Q_{7,10}$.

A proposição de alteração da vazão mínima residual, de 50% da $Q_{7,10}$ para 100% $Q_{7,10}$, tem como consequência: a manutenção do volume destinado às finalidades ambientais; o volume reservado para as retiradas a fio d'água, que anteriormente correspondia a parte do volume de água que podia ser aproveitado pela regularização, passar a ser uma reserva destinada somente aos usuários a fio d'água; e o volume correspondente a disponibilidade obtida pela regularização, considerando a proposição de alteração da vazão mínima residual sofre uma abstração de 100% da $Q_{7,10}$ que antes era de 50% da $Q_{7,10}$.

No que diz respeito à proposição da criação de um fator de deplecionamento do custo unitário, essa proposição se baseia no fato da regularização de vazões permitir agregação de valor a um volume de água que, em condições naturais, não seria utilizado para a realização de atividades econômicas. Outro aspecto que deve ser analisado é que a água, quando considerada como um bem econômico, deve atender o princípio da oferta e demanda, sendo, conseqüentemente, seu valor estabelecido pela interação entre oferta e demanda (CARVALHO et al. 2005).

Considerando que a disponibilidade em condições naturais é representada pelas vazões mínimas e que essas vazões, segundo estudos realizados por Oliveira et al. (2013) e Pruski et al. (2014), apresentam variações de 10% nos meses de menor disponibilidade a 200% nos meses de maior disponibilidade, atribuiu-se às retiradas em condições de regularização o valor correspondente ao mês de maior oferta de água em condições naturais. Esse valor é obtido através do critério de cobrança pelo uso da água, com base no comportamento sazonal das vazões, ou seja, o mês com maior disponibilidade hídrica representado pelo menor fator de sazonalidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação das metodologias relacionadas à valoração da água foi dividida em três etapas. A primeira consiste na análise para a bacia do Rio Grande, a segunda para a bacia do Paranaíba e a terceira consiste na comparação entre os resultados obtidos para as bacias citadas e a bacia do Paracatu, a partir de metodologias desenvolvidas por Ramos (2016) e Ribeiro (2016).

4.1 Bacia do Rio Grande

4.1.1 Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação

4.1.1.1 Análise *Box Plot* aplicada às relações entre as vazões mínimas específicas mensais e anual

Foram calculadas as relações entre as vazões específicas mínimas mensais e anual ($RVM_{M/A}$) para cada uma das 61 estações fluviométricas. Para cada um dos valores mensais de $RVM_{M/A}$ foi aplicada a análise estatística *box plot* para identificação de outliers (Figura 4). Os limites superiores e inferiores, marcados pelas linhas em cinza, foram estimados com base nos quartis obtidos dos valores mensais das $RVM_{M/A}$ para as diferentes estações, e definem os intervalos para os quais as $RVM_{M/A}$ são aceitáveis. Os pontos em azul e vermelho constituem valores outliers, sendo que os destacados em vermelho são outliers extremos.

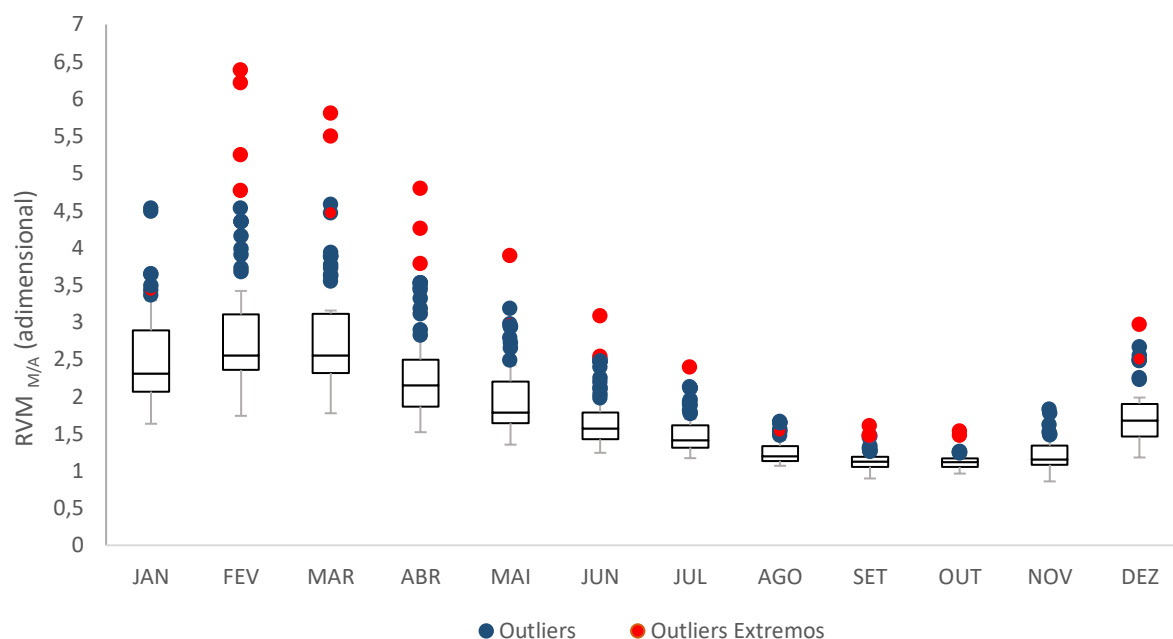


Figura 4: Box plot para os valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e anual.

Observa-se que a ocorrência de outliers se deu ao longo de todo ano, portanto, optou-se por excluir todas as estações que apresentaram mais de um valor outlier. Assim, foram excluídas 20 estações com dados discrepantes (61085000, 61107000, 61150000, 61140000, 61202000, 61250000, 61295000, 61320000, 61343000, 61350000, 61530000, 61565000, 61770000, 61795000, 61800500, 61815000, 61826000, 61865000, 61895000, 61902000) sendo que nove estações apresentaram valores classificados como outliers extremos.

Nos meses de junho a novembro não houve uma grande amplitude nos limites do *box plot*, o que acarreta a ocorrência de outliers devido a pequenos desvios de uma estação em relação às demais. Isso está relacionado ao fato desses meses apresentarem uma maior contribuição advinda do lençol freático para a formação das vazões, fazendo com que ocorra pequena variação nos valores das vazões. A partir do mês de dezembro quando há sobreelevação do lençol freático e o escoamento superficial surge como componente adicional para a formação das vazões, ocorre uma maior amplitude dos valores de vazões e um maior limite de dados aceitáveis.

A análise de cluster foi feita a partir dos valores de $RVM_{M/A}$ para as 41 estações fluviométricas, e verificou-se que nenhum resultado se mostrou satisfatório, uma vez que os clusters formados não guardavam uma relação de continuidade geográfica

entre si (Figura 5). Diante desse resultado, considerou-se a bacia do Grande como uma única região hidrologicamente homogênea.

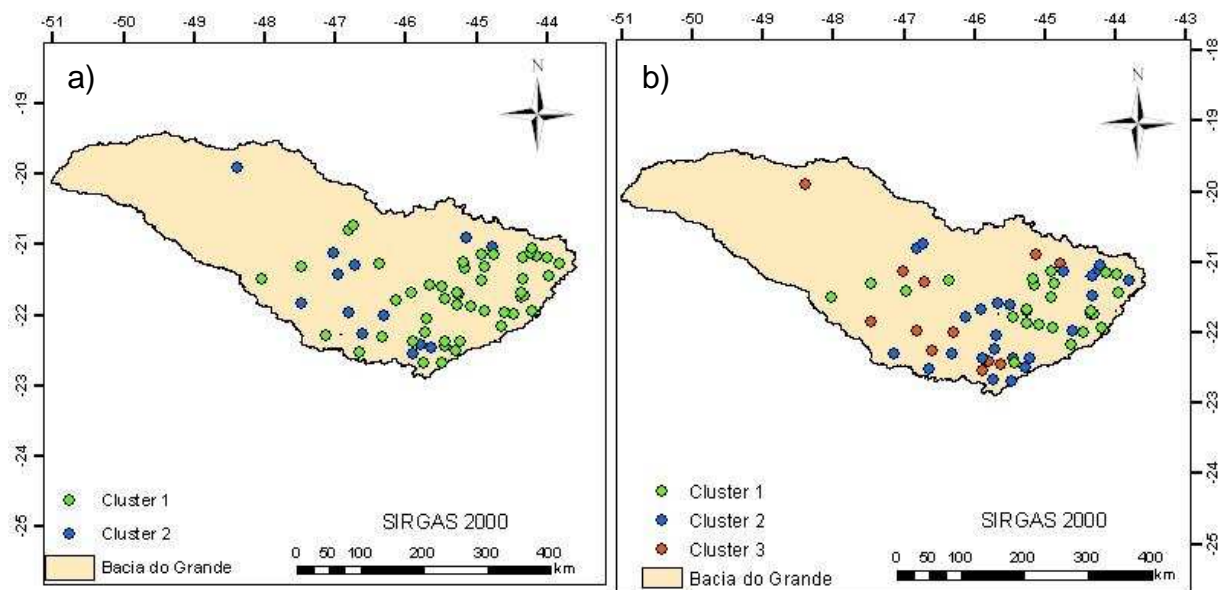


Figura 5: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos a) e 3 agrupamentos b).

4.1.1.2 Análise da variação sazonal das vazões mínimas e da lâmina de escoamento subterrâneo

Após a exclusão das estações que apresentaram valores outliers, os resultados referentes às relações entre as vazões mínimas específicas mensais e anual ($RVM_{M/A}$) foram estimados e são apresentados na Figura 6 para cada uma das 41 estações fluviométricas consideradas no estudo. As linhas presentes na figura servem somente para uma melhor visualização da variação dos valores de $RVM_{M/A}$ ao longo do ano. No Apêndice A (Tabela 4A) são apresentados os valores de $Q_{7,10}$ estimados em base mensal e anual para cada estação fluviométrica.

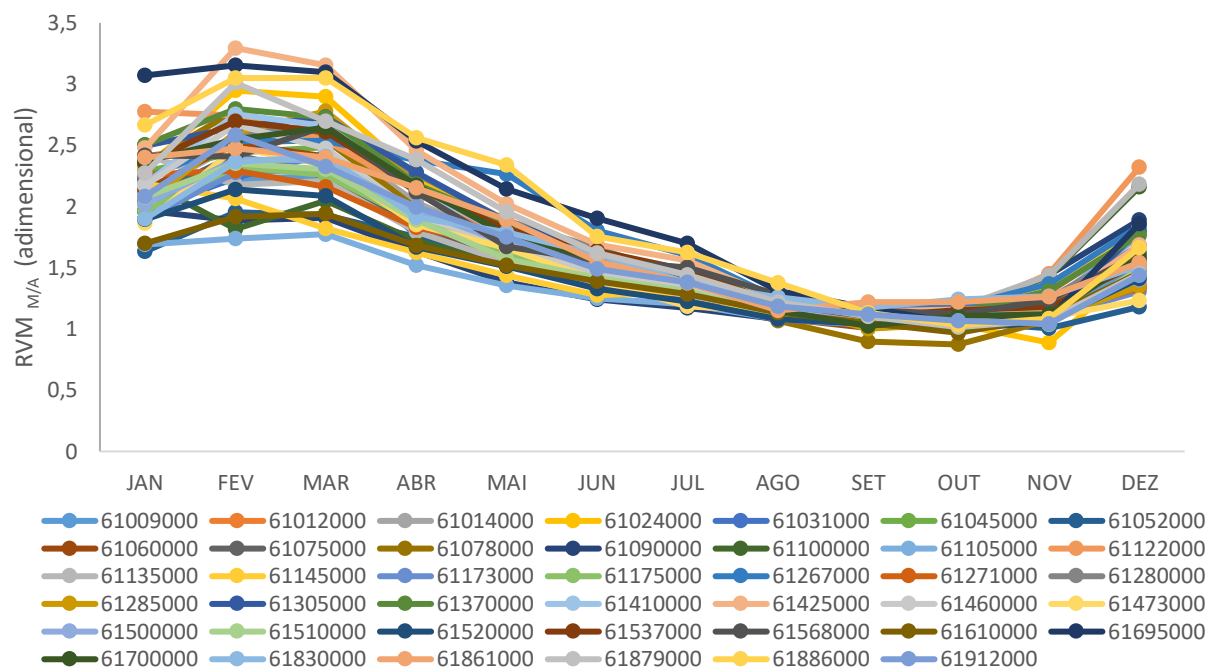


Figura 6: Valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e anual para cada estação fluviométrica.

As relações entre as vazões mínimas mensais e anual apesar de apresentarem uma amplitude considerável entre os valores obtidos para cada estação fluviométrica ao longo do ano, possuem uma tendência de variação semelhante ao longo do ano.

No período de abril a outubro há um declínio dos valores de RVM_{M/A}, que, associadas ao escoamento subterrâneo, têm tendência de diminuição devido ao deplecionamento do lençol freático, o que é consequência de um forte declínio das precipitações a partir do mês de março para abril e persistindo até o mês de agosto (Figura 7). A partir do mês de novembro as RVM_{M/A} começam a aumentar e apresentar uma maior variação para as diferentes estações fluviométricas, devido ao aumento do nível do lençol freático e da lâmina de escoamento superficial.

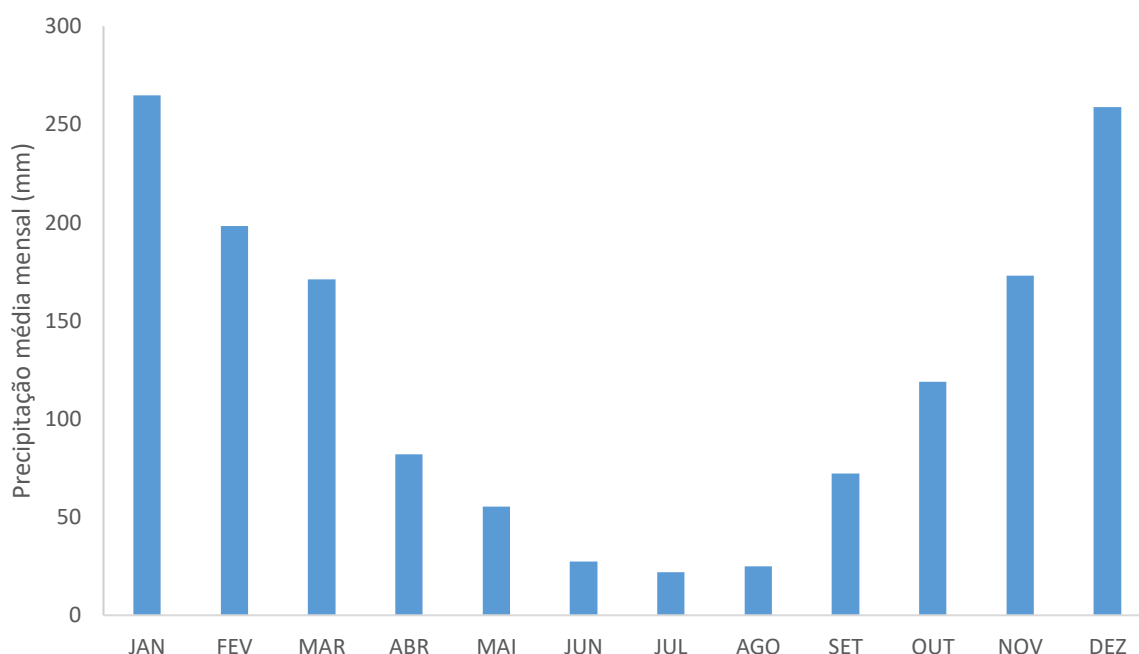


Figura 7: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 118 estações pluviométricas.

Considerando o gráfico de precipitação média mensal (Figura 7), constata-se que apesar de ocorrer um aumento acentuado do total precipitado no mês de setembro, as vazões continuam a decrescer (Figura 6), o que pode ser justificado pelo fato da recarga do lençol freático não ocorrer logo após o início das precipitações. A água precipitada após um longo período de estiagem serve, primeiramente, para suprir o déficit de umidade do solo, e, segundo Rego (2013) uma expressiva parte da precipitação que infiltra é retida na zona aerada do solo, não acarretando aumentos expressivos no escoamento superficial direto. Conseqüentemente, as vazões mínimas, vinculadas ao escoamento subterrâneo não são influenciadas pelas precipitações ocorridas no período, o que envolve uma defasagem entre o início do período de chuvas e o início do aumento das vazões.

O comportamento das vazões mínimas ao longo do ano está diretamente relacionado ao movimento da água subterrânea, assim, pode-se observar na Figura 8 três hidrogramas, que representam o resultado da separação da lâmina de escoamento total em lâminas de escoamento superficial direto e lâmina de escoamento subterrâneo para a estação Airuoca (61024000) para dois anos do período base adotado.

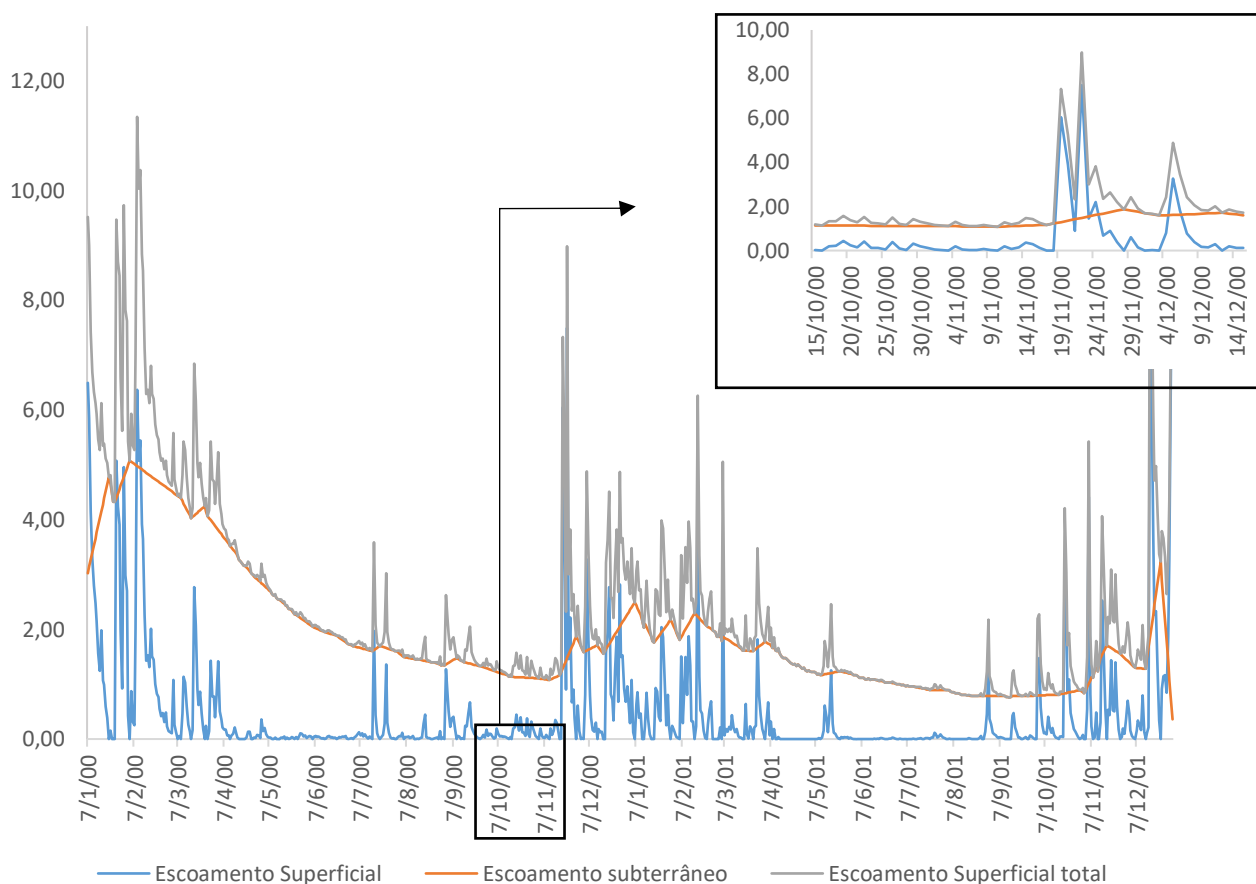


Figura 8: Lâminas diárias de escoamento superficial total, superficial direto e subterrâneo para a estação Airuoca (61024000).

Verifica-se na Figura 8 que as vazões no período de estiagem, abril a setembro, são advindas essencialmente da contribuição do escoamento subterrâneo, sendo a variação do hidrograma nesses meses relacionada à contribuição do escoamento subterrâneo, com exceção de alguns picos de escoamento superficial que ocorrem devido a eventos isolados de chuva. Com o início do período chuvoso, tem-se um aumento da lâmina de escoamento superficial direto, já o escoamento subterrâneo não apresenta alterações, devido à defasagem entre o início das chuvas e aumento do nível do lençol freático.

Com a continuidade dos eventos de precipitação e, após o déficit de umidade do solo ser suprido, ocorre o início da recarga do lençol freático em meados de novembro e se estende até o mês de março, quando se observa o início da recessão do escoamento subterrâneo.

Compreender a dinâmica da precipitação ao longo da bacia, bem como o processo de variação das vazões que ocorre ao longo do ano é de extrema

importância para a melhor gestão dos recursos hídricos, e, conseqüentemente, para a adoção de uma precificação do valor da água de acordo com a disponibilidade hídrica mensal dos recursos hídricos.

As relações entre as vazões mínimas mensais e anual representadas na Figura 6, mostram as relações entre as disponibilidades hídricas mensais para a bacia do Grande. Nota-se que, com a aproximação do período de estiagem os valores de $RVM_{M/A}$ se aproximam da unidade, principalmente nos meses com maior frequência de ocorrência da $Q_{7,10}$ (agosto, setembro, outubro e novembro), pois com a recessão do escoamento subterrâneo a vazão mínima mensal se aproxima da vazão mínima anual.

Com o início do período chuvoso e o aumento do nível do lençol freático, ocorre uma maior amplitude de variação dos valores de $RVM_{M/A}$. No mês de fevereiro, mês que apresentou um maior aumento na disponibilidade hídrica, os valores de $RVM_{M/A}$ variaram de 1,7 a 3,3 vezes suas respectivas vazões específicas mínimas anuais, indicando um aumento expressivo da disponibilidade hídrica quando comparado com o mês mais crítico (outubro), quando os valores de $RVM_{M/A}$ variaram de 0,9 a 1,2 vezes.

Ramos (2016) estimou os valores de $RVM_{M/A}$ para a bacia do rio Paracatu, e também observou um grande aumento da disponibilidade hídrica nos meses de novembro a maio em relação ao período mais crítico (junho a outubro). Oliveira et al. (2013) em um estudo para a bacia do Ribeirão Entre Ribeiros identificou que a substituição da $Q_{7,10}$ calculada em base anual pelas calculadas em base mensal resultou em um aumento de disponibilidade hídrica ao longo do ano, variando de 70% a 235% nos meses de dezembro a junho. Isso mostra a potencialidade da utilização das vazões mínimas mensais, e, conseqüentemente, a adoção de um critério diferenciado de cobrança ao longo do ano.

De acordo com Hartmann (2010), no Brasil as taxas de cobrança pelo uso da água normalmente são orientadas pelos custos advindos das medidas necessárias para a eliminação de danos ecológicos, pela escassez de água e/ou para a manutenção de um determinado nível de qualidade de água. Dessa forma, o custo está sendo investido em medidas com o intuito de reverter situações que já são consequência de uma má gestão dos recursos hídricos.

A utilização da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de acordo com uma valoração diferenciada ao longo do ano, visa atuar na causa dos problemas de gestão, estimulando o pagador a ter uma maior conscientização para utilização da água superficial nos períodos com maior disponibilidade, e, ao mesmo tempo, ser beneficiado com os descontos pelo uso da água, além do benefício para o meio ambiente, pois a consideração da $RVM_{M/A}$ faz com que seja respeitada a sazonalidade de vazões presente na bacia hidrográfica.

Assim, com o intuito de se ter um fator multiplicador que valorize a água de acordo com a sua disponibilidade hídrica mensal foi feita a aplicação do fator sazonalidade para a bacia do Grande.

4.1.1.3 Aplicação do fator de sazonalidade

A partir dos valores mensais da relação entre as $Q_{7,10}$ mensais e anual, estimou-se, para cada mês, uma média das $RVM_{M/A}$ para as 41 estações fluviométricas, como pode ser visto na Figura 9. Associados aos valores médios da $RVM_{M/A}$ observa-se os intervalos de confiança com 95% de probabilidade, representados pelas barras cinzas.

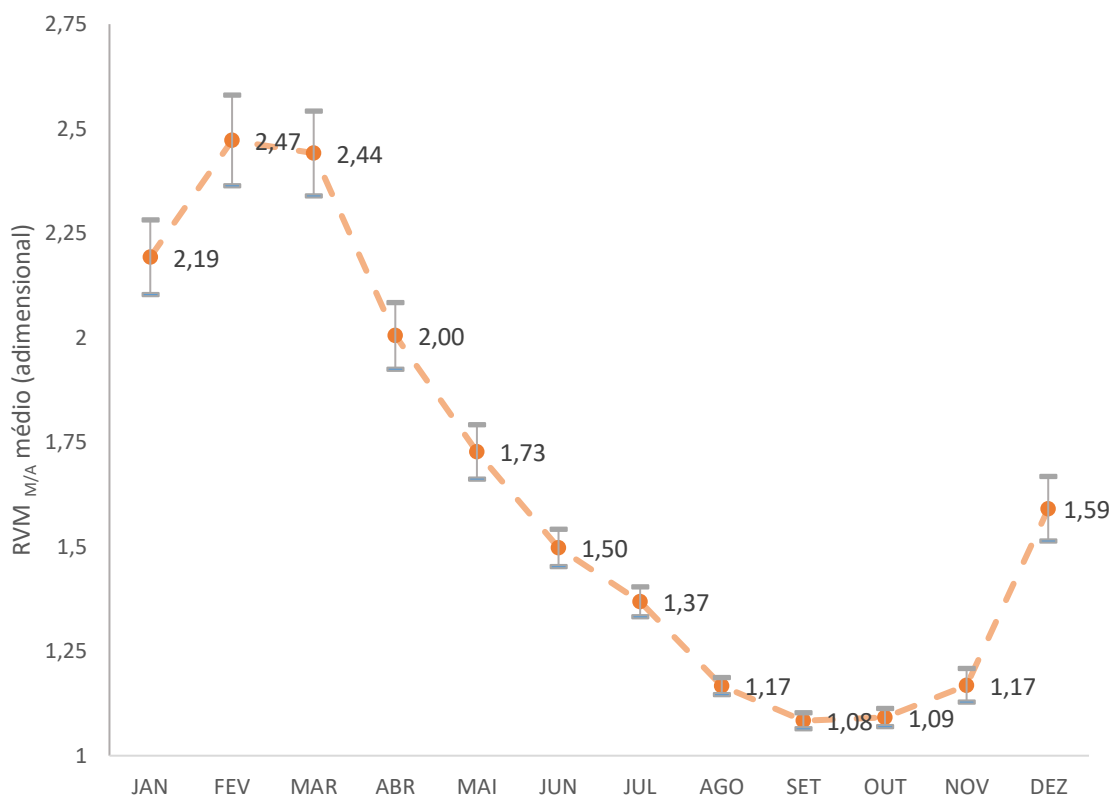


Figura 9: Médias mensais das RVM M/A associadas aos intervalos de confiança para as 41 estações fluviométricas.

Pode-se observar que os intervalos de confiança associados ao período de estiagem apresentam baixas amplitudes, principalmente nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, quando se tem maior frequência de ocorrência de vazões mínimas. Este comportamento está relacionado ao fato do escoamento subterrâneo ser o principal responsável pela formação de vazões nesse período, fazendo com que a margem de erro seja pequena e se tenha maior confiabilidade no valor médio estimado.

A partir do mês de dezembro observa-se que há um aumento da amplitude do intervalo de confiança, pois, após o suprimento do déficit de umidade do solo e sobrelevação do nível do lençol freático, ocorre uma maior variação da magnitude das vazões mínimas mensais em relação às mínimas anuais ao longo da bacia. Esse comportamento é ainda mais expressivo devido à parcela de contribuição do escoamento superficial, que surge como componente adicional para a formação de vazões nesse período.

Observa-se que os maiores valores médios da $RVM_{M/A}$ ocorrem de janeiro a março, devido ao incremento das vazões mínimas mensais. A partir de março há um decréscimo dessa relação até o mês de outubro, devido ao deplecionamento do lençol freático.

Ramos (2016), no estudo desenvolvido para a bacia do Rio Paracatu, também estimou os valores médios da $RVM_{M/A}$ e observou um grande potencial quanto à consideração da sazonalidade de vazões. A bacia do Paracatu apresentou uma maior amplitude de variação sazonal se comparada à bacia do Grande, sendo que essa diferença de amplitude nos valores de $RVM_{M/A}$ para as duas bacias está relacionada principalmente aos padrões de chuva, à hidrogeologia e as condições do solo.

Apesar das diferenças quantitativas observadas entre as bacias, pode-se constatar um comportamento bastante similar no que diz respeito à sazonalidade de vazões ao longo do ano, o que mostra a potencialidade da consideração do fator de sazonalidade como critério de cobrança pelo uso da água.

Hartmann (2010), em estudo realizado sobre a Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental, ressaltou a importância de se ter coeficientes multiplicadores orientados para a sazonalidade de vazões. Neste mesmo estudo é mencionada a metodologia que o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo propôs em 1997 para a simulação da cobrança pelo uso da água, através da proposição da utilização de coeficientes multiplicadores para o cálculo da cobrança pela captação e pelo consumo de água. A metodologia supõe a utilização de dois coeficientes referentes à sazonalidade, diferenciando os períodos chuvoso e seco do ano. Mas, apesar de ter sido desenvolvida em 1997, essa metodologia ainda não se encontra implementada quanto à aplicação desses coeficientes multiplicadores.

O fator de sazonalidade proposto no presente trabalho potencializa ainda mais a utilização dos recursos hídricos, já que, diferentemente da metodologia proposta pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo em 1997, considera a aplicação de um fator multiplicador, que associa um desconto ao valor da água proporcional ao incremento de disponibilidade hídrica correspondente a cada mês.

A determinação do fator sazonalidade é fundamentado na análise da inversão dos valores médios das $RVM_{M/A}$ e dos aprimoramentos descritos na metodologia. Na

Figura 10 pode-se observar o fator sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) e a frequência de ocorrência das vazões mínimas para as 41 estações fluviométricas da bacia do Grande.

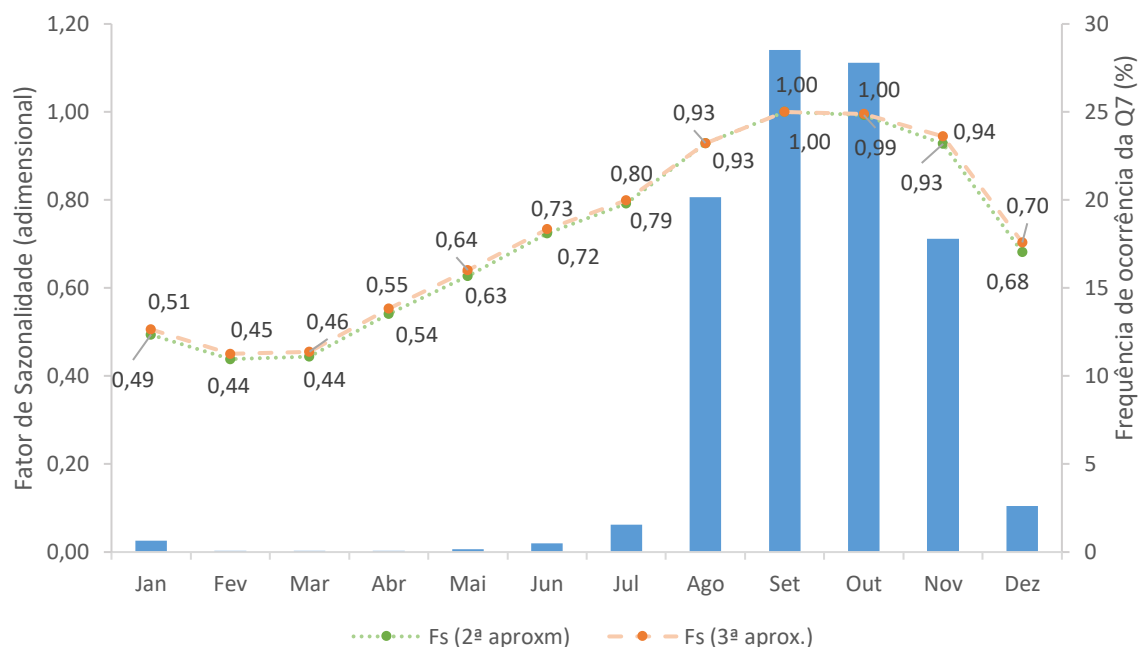


Figura 10: Fator de sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) e frequência de ocorrência das vazões mínimas para 41 estações fluviométricas em estudo.

Analisando a Figura 10, observa-se que os meses de janeiro a março apresentaram os maiores descontos associados ao uso da água, isso é reflexo da maior disponibilidade hídrica existente nesses meses pela análise da RVM_{M/A} e da baixa frequência de ocorrência de vazões mínimas neste período.

Após o mês de março, o escoamento subterrâneo surge como principal responsável pelo processo de formação de vazões, como consequência do reabastecimento do lençol freático ocorrido no período chuvoso. Assim, os valores do fator de sazonalidade aumentam nesse período, devido a menor parcela de contribuição do escoamento superficial.

O mês que apresentou maior disponibilidade hídrica foi o mês de fevereiro, conferindo um desconto de 55% pela utilização dos recursos hídricos, enquanto que os meses de setembro e outubro não acarretaram nenhum desconto pelo uso da água, por serem os meses com maior escassez hídrica na bacia.

Considerando que o objetivo do fator sazonalidade é incentivar o uso mais racional dos recursos hídricos, observa-se que entre os meses de agosto e novembro os valores do fator de sazonalidade se aproximam da unidade (Figura 10), o que pode ser justificado pelo fato do desconto na cobrança pelo uso da água ser reduzido no período em que se tem baixa oferta hídrica superficial. Esse fato está relacionado também a frequência de ocorrência de vazões mínimas na bacia, pois, quanto maior a frequência, maior o deplecionamento do lençol freático.

Avaliando a relação entre a frequência de ocorrência de vazões mínimas e os valores do fator de sazonalidade (Figura 10), pode-se observar que os meses que apresentaram as maiores frequências foram os meses que também apresentaram os maiores valores do fator de sazonalidade, como esperado.

A aplicação da terceira aproximação do fator de sazonalidade para a bacia do Grande não apresentou variações expressivas para os meses de agosto e novembro Figura 10, já que, mesmo ocorrendo uma considerável frequência de ocorrência de vazões mínimas nesses meses, o fator de sazonalidade estimado pela 2ª aproximação foi de 0,93 para ambos os meses e pela terceira aproximação foi de 0,93 e 0,94, respectivamente. A justificativa para esse aumento inexpressivo é devido ao pequeno intervalo de confiança associado ao limite inferior nesses meses, fazendo com que não haja diferenças significativas em utilizar o limite inferior do intervalo de confiança associado às $RVM_{M/A}$, ao invés do valor médio das $RVM_{M/A}$ para estimativa da 3ª aproximação do F_s . Diante disso, considerou-se que 2ª aproximação apresentou resultados satisfatórios em relação a estimativa do fator de sazonalidade

Desta forma, considerando que a bacia do rio Grande sofre pressão por causa da escassez hídrica, assim como a bacia do Paracatu, para a qual Ramos (2016) propôs a metodologia de valoração diferenciada dos recursos hídricos ao longo do ano, a aplicação desta metodologia pode conduzir a uma maior racionalização e conscientização do uso da água.

4.1.1.4 Estimativa das relações anuais e mensais entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação

Com base na aplicação da metodologia de separação do escoamento total, foram gerados, para cada uma das 61 estações fluviométricas estudadas, valores

diários das lâminas de escoamento superficial direto e escoamento subterrâneo. A partir dos valores diários das lâminas de escoamento individualizadas, foram estimadas as relações mensais entre o escoamento subterrâneo e o escoamento total (R_{EST}) para cada estação. A esses valores de R_{EST} foi aplicada a estatística *box plot* para a identificação de outliers (Figura 11).

Os limites superiores e inferiores, marcados em cinza, foram estimados com base nos quartis obtidos dos valores mensais das R_{EST} para as diferentes estações, e definem os intervalos para os quais as R_{EST} são aceitáveis. Os pontos em verde e vermelho constituem valores outliers, sendo que o destacado em vermelho é um outlier extremo.

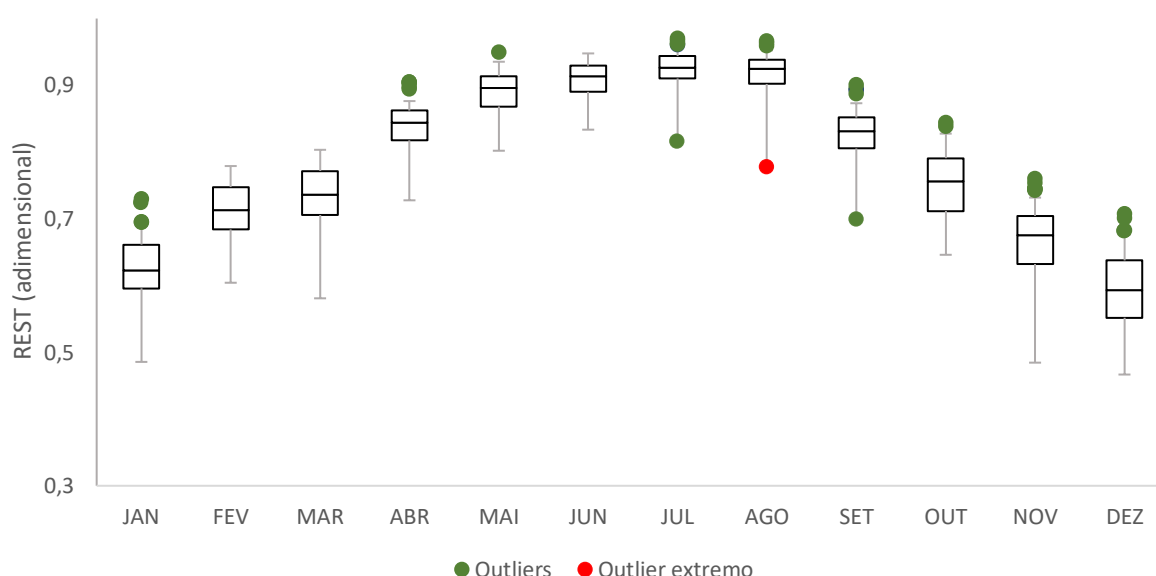


Figura 11: Gráfico Box Plot da relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total (R_{EST}).

Apesar da menor ocorrência de outliers no período chuvoso, pode-se notar que na maioria dos meses do ano houve ocorrência de outliers, portanto, optou-se por excluir todas as estações que apresentaram mais de um valor outlier. Assim, foram excluídas 11 estações (61014000, 61024000, 61052000, 61105000, 61173000, 61250000, 61280000, 61473000, 61695000, 61830000 e 61912000), sendo que a estação 61695000 apresentou um valor classificado como outlier extremo.

Observa-se que entre os meses de abril e setembro ocorre pequena variação dos limites do *box plot*, isso é devido, principalmente, à recessão do escoamento

subterrâneo. Na Figura 8 pode-se observar que a vazão que ocorre nesse período se deve basicamente à contribuição do escoamento subterrâneo, apresentando pouco volume de escoamento superficial direto. Sendo assim, há um predomínio da contribuição do escoamento subterrâneo para a formação do escoamento superficial total, fazendo com que haja uma baixa dispersão dos valores da R_{EST} e a amplitude de variação seja pequena, favorecendo a ocorrência de outliers devido a pequenos desvios de uma estação em relação às demais.

Com o início do período chuvoso ocorre o aumento do nível do lençol freático e o escoamento superficial direto surge como componente adicional à formação do escoamento superficial total, fato que ocasiona maior dispersão dos valores e induz, conseqüentemente, um maior limite de dados aceitáveis, tornando menos frequente a ocorrência de outliers.

A identificação de regiões homogêneas foi feita a partir da análise de cluster, considerando os valores das R_{EST} para as 49 estações fluviométricas. Verificou-se que nenhum resultado se mostrou satisfatório, uma vez que os clusters formados não apresentam uma relação de continuidade geográfica entre si (Figura 12). Diante desse resultado, considerou-se a bacia do Grande como uma única região hidrologicamente homogênea com base nos valores de R_{EST} .

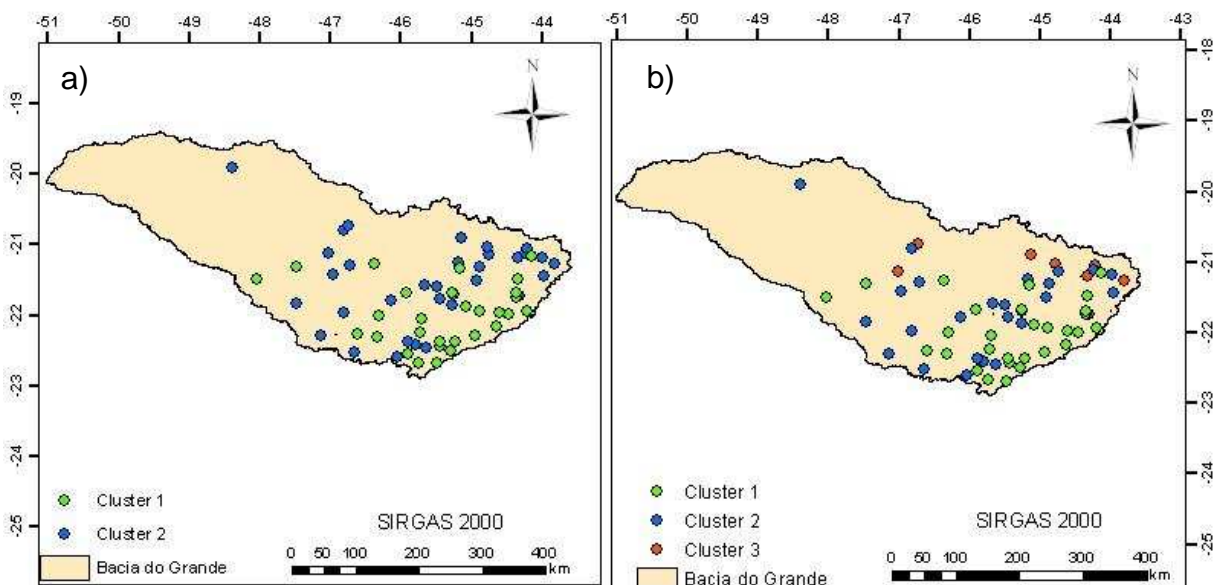
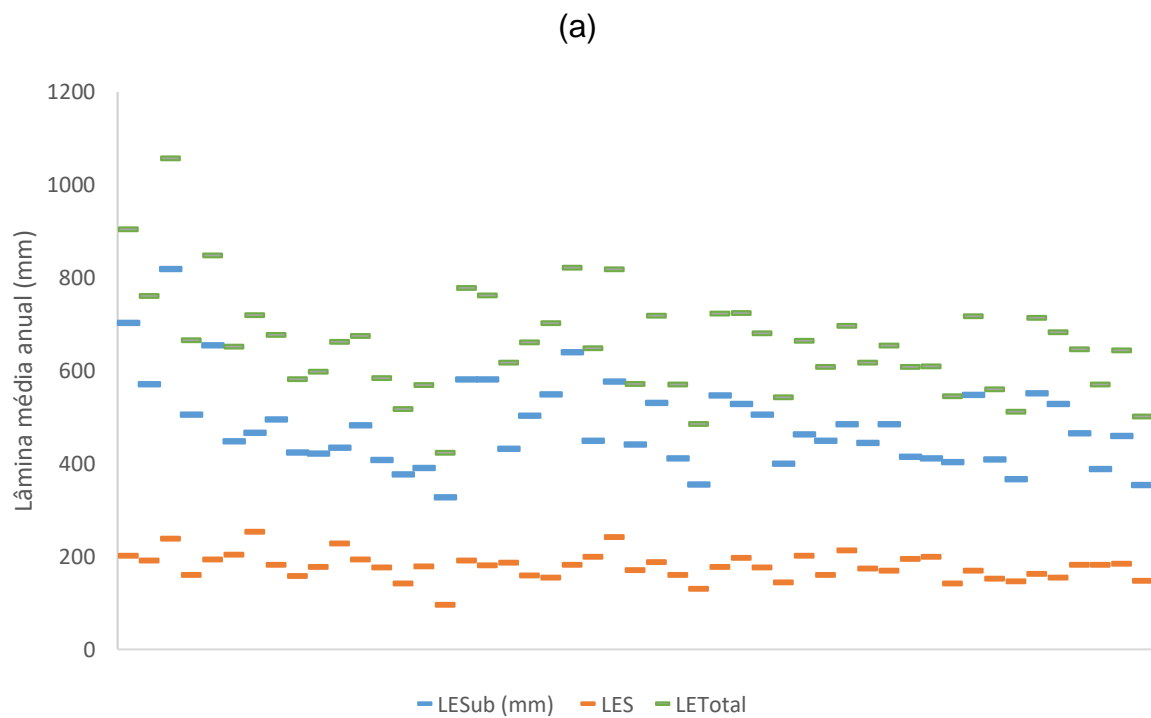


Figura 12: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos a); e 3 agrupamentos b).

Na Figura 13a são mostrados os valores médios anuais das lâminas de escoamento subterrâneo (LESub), lâmina de escoamento superficial direto (LES) e lâmina de escoamento total (LETtotal) para cada uma das 49 estações fluviométricas. A Figura 13b mostra as porcentagens de contribuição anual do escoamento subterrâneo para a formação do escoamento superficial total (LESub/LETtotal). Os valores dessas variáveis se encontram no Apêndice A (Tabela 5A).



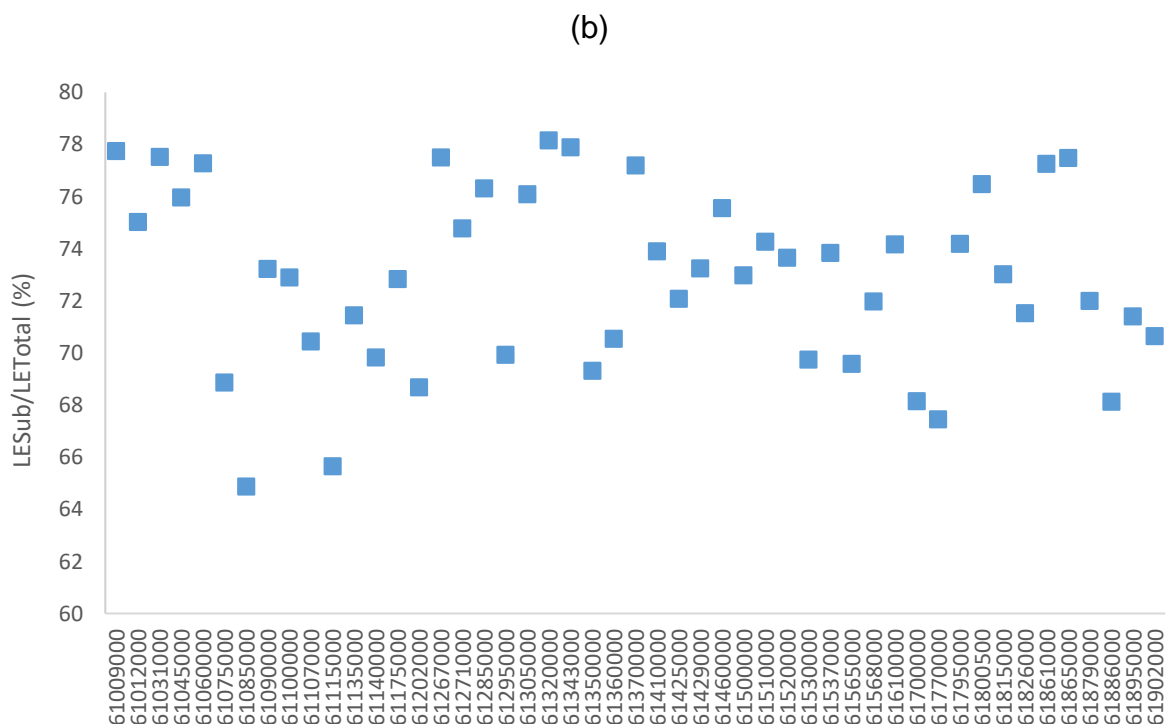


Figura 13: Lâmina média anual (a) e relação anual entre escoamento subterrâneo e escoamento superficial total (b) para cada uma das 49 estações fluviométricas da bacia do Grande.

Pode-se observar na Figura 13a que a amplitude da LES variou de 95 a 252 mm, enquanto a L_{Sub} variou de 327 a 818 mm e a L_{Total} de 422 a 1070 mm. A grande variabilidade dos valores entre as estações reflete a influência de diversos fatores que condicionam o processo de circulação da água na bacia hidrográfica, como, por exemplo, as condições hidrogeológicas, as condições de uso e ocupação do solo, a pedologia, a magnitude de precipitação e a sazonalidade de vazões.

A lâmina que apresentou menor variação foi a LES, devido ao fato do escoamento superficial direto não depender diretamente das condições hidrogeológicas da bacia, já o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total apresentaram maior variação. De acordo com o MMA (2006), a bacia do Grande apresenta diversos tipos de solos, com predominância do latossolo roxo, latossolo vermelho-escuro e podzólico vermelho amarelo, além de alguns sistemas de aquíferos, como: Bauru-Caiuá, Serra Geral e Guarani. Todas essas características influenciam a variação do potencial de recarga, a infiltração da água no solo e o armazenamento da água subterrânea.

As proporções de escoamento subterrâneo em relação ao escoamento superficial total, Figura 13(b), oscilaram entre 65 a 78%, o que permite concluir que, em média, 73% do escoamento superficial total anual é advindo do escoamento subterrâneo, indicando boas condições de infiltração de água na bacia.

Os resultados anteriores foram apresentados em base anual para se avaliar a magnitude e a amplitude de variação das lâminas de escoamento subterrâneo, superficial direto e superficial total. Como o objetivo do presente estudo é propor uma cobrança diferenciada mensalmente pelo uso da água, na Figura 14 estão representados os valores de R_{EST} para as 49 estações fluviométricas. As linhas que ligam os marcadores não indicam continuidade dos valores, sendo utilizadas apenas para facilitar a visualização da variação das proporções.

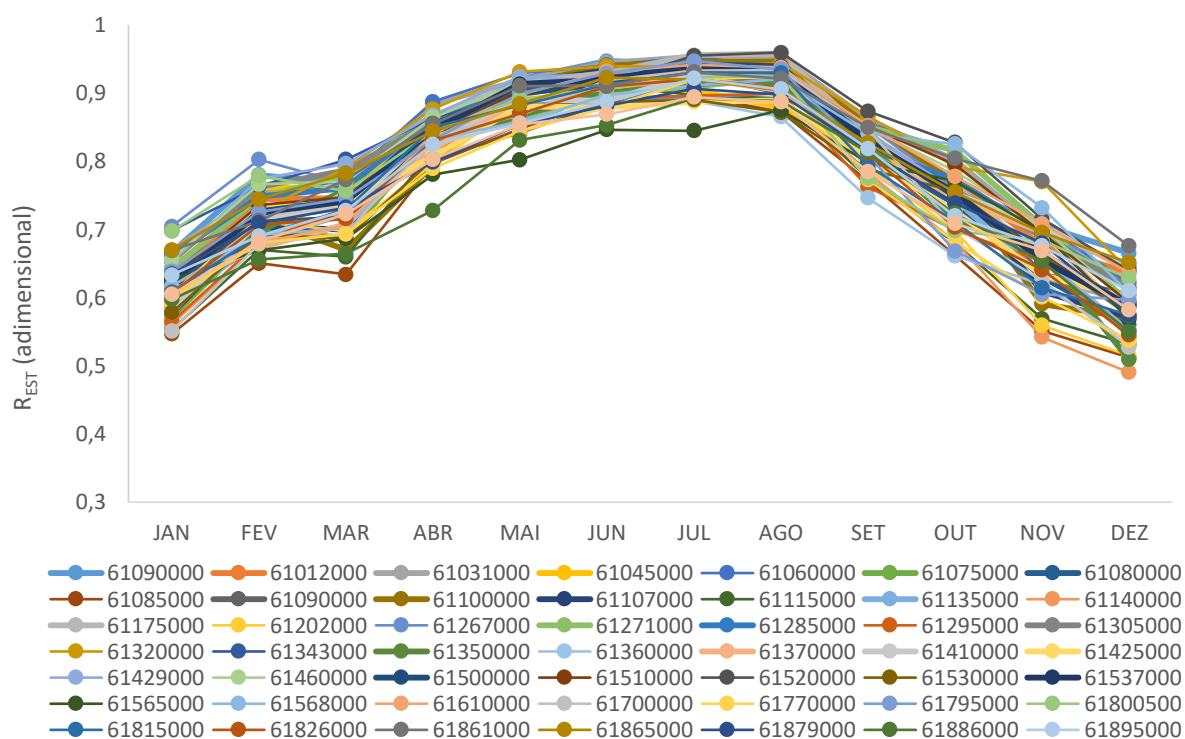


Figura 14: Valores das R_{EST} obtidos para as 49 estações fluviométricas analisadas.

Pode-se observar na Figura 14 que, apesar das distintas magnitudes encontradas para os valores de R_{EST} , as estações apresentaram um comportamento semelhante ao longo do ano. Os meses de abril a setembro, se caracterizam pelas menores lâminas precipitadas do ano (Figura 7) e os maiores valores de R_{EST} , uma vez que a contribuição do escoamento subterrâneo é decorrente da recarga do lençol

freático ocorrida no período chuvoso. Nesse período de escassez, o escoamento subterrâneo é o principal responsável pela formação das vazões nos cursos d'água, fazendo com que haja uma menor variação dos valores de R_{EST} entre as estações.

Com o início do período chuvoso há o incremento do escoamento superficial direto, fazendo com que haja uma maior variação dos valores de vazão e um aumento do escoamento superficial total. Assim, evidenciam-se, nesse período, uma maior variação e uma menor magnitude dos valores da R_{EST} , já que, com o aumento da LET_{Total} , a relação entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total decresce.

Os valores das R_{EST} variaram de 0,49 a 0,96, sendo estes valores associados aos meses de dezembro e julho, respectivamente. O maior valor no mês de julho está associado ao fato que entre os meses de maio a agosto, a LET_{Total} é sustentada basicamente pelo escoamento subterrâneo, enquanto no período chuvoso há incremento das LE_{Sub} e LE_{S} e, conseqüentemente, a LET_{Total} aumenta em maior proporção.

4.1.1.5 Aplicação do fator manancial de captação

A partir dos valores mensais das relações entre a lâmina de escoamento subterrâneo e a lâmina de escoamento superficial total estimou-se, para cada mês, uma média das R_{EST} para as 49 estações fluviométricas, como pode ser visto na Figura 15. Associados aos valores médios da R_{EST} observa-se os intervalos de confiança com 95% de probabilidade, representados pelas barras cinzas.

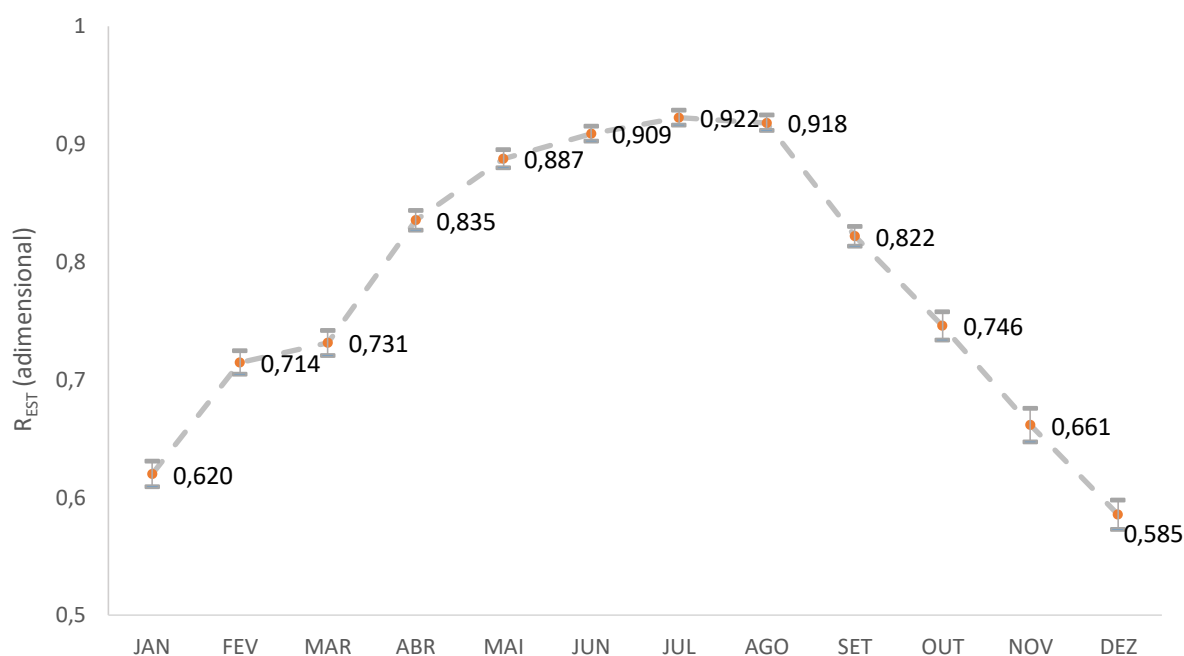


Figura 15: Médias mensais das R_{EST} associadas aos intervalos de confiança para as 49 estações fluviométricas.

Os valores médios das R_{EST} mostram a existência de um comportamento sazonal ao longo do ano, em que os menores valores ocorrem de outubro a março, devido ao aumento da LE_{Sub} e da LE_S , e os maiores valores de R_{EST} ocorrem de abril a setembro, caracterizando uma maior participação do escoamento subterrâneo na formação das vazões nesse período.

Pode-se observar que durante o chuvoso tem-se uma maior amplitude do intervalo de confiança, se comparado com o período de estiagem, isso ocorre devido à maior contribuição do escoamento superficial direto para a formação do escoamento total nos meses mais chuvosos, fazendo com haja maior dispersão dos valores de R_{EST} .

Com o objetivo da utilização mais racional da água subterrânea, foram estimados os valores do fator manancial de captação (F_{MC}), que, como um coeficiente multiplicador, associa a cada mês uma cobrança diferenciada dos recursos hídricos com base na disponibilidade da água subterrânea. Esse fator corresponde a uma inversão dos valores médios da R_{EST} e aplicação das aproximações propostas na metodologia. Na Figura 16 estão representados os valores mensais do fator manancial de captação, considerando a 3ª aproximação posposta na metodologia.

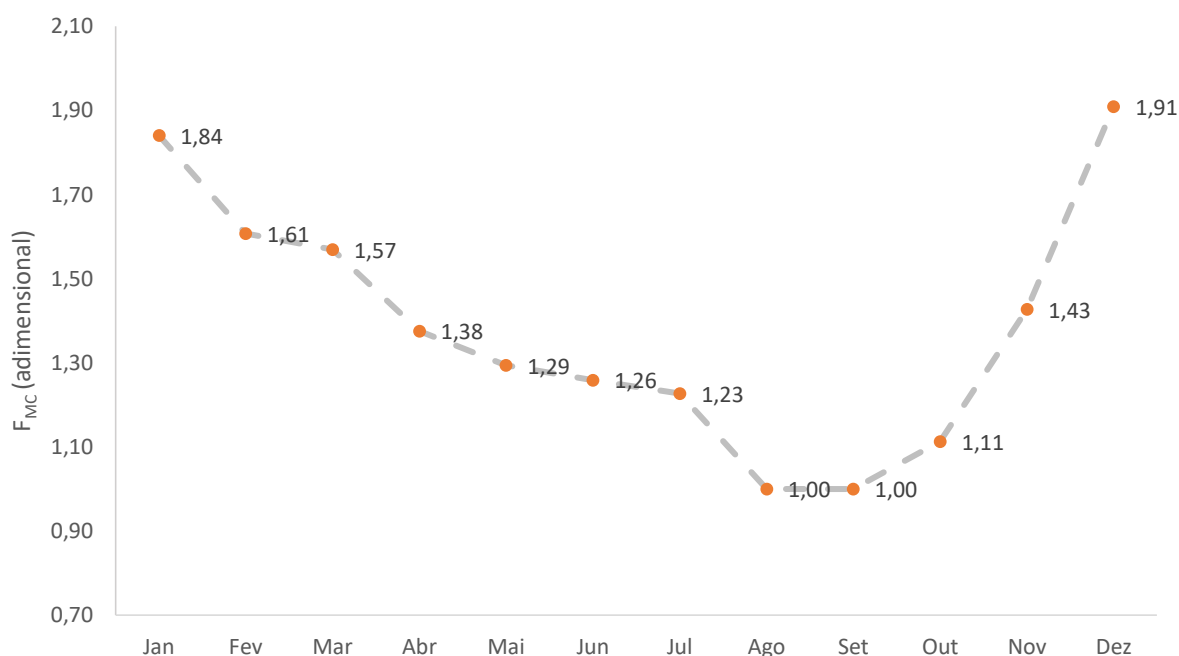


Figura 16: Valores mensais do fator manancial de captação para as 49 estações fluviométricas.

Observa-se que o período de janeiro a abril apresenta valores decrescentes do F_{MC} , e, a partir de abril os valores tendem a se estabilizar, comprovando que a formação das vazões nesses meses está fortemente relacionada à contribuição subterrânea.

De acordo com a 2ª e 3ª aproximações do fator manancial propostas na metodologia, torna-se contraditório o aumento do valor da água subterrânea nos meses em que a disponibilidade hídrica superficial é mínima, logo, nos meses de agosto, setembro e outubro pode-se observar os menores valores do fator manancial. Isso se deve ao fato desses meses apresentarem uma grande ocorrência de vazões mínimas (Figura 10), e, levando-se em conta que as vazões mínimas estão associadas ao escoamento subterrâneo, seria inapropriado cobrar a mais pela retirada de água subterrânea freática nesses meses. Dessa forma, propõe-se que o mês de outubro tenha um fator manancial igual a unidade, devido a expressiva frequência de vazões mínimas.

O mês de novembro, apesar de conter uma considerável frequência de ocorrência de vazões mínimas, apresentou um aumento acentuado do fator manancial. Isso ocorre porque a partir do mês de outubro há um aumento do nível do lençol freático e a escoamento superficial surge como componente adicional para

formação das vazões, fazendo com que haja aumento da LETotal. O ideal seria a utilização da água superficial nesse período, por exemplo, no mês de novembro a utilização da água superficial acarretaria ao usuário um desconto de aproximadamente 6% no valor final da água, já a utilização da água subterrânea nesse mês, aumentaria o custo final da água em 84%.

Os fatores de sazonalidade e manancial de captação estimados para a bacia do Grande, apresentaram resultados bastante expressivos quanto à aplicação da metodologia de cobrança pelo uso da água. A cobrança diferenciada mês a mês mostra o potencial de utilização mais racional da água superficial e subterrânea, incentivando a utilização da água superficial quando esta for abundante e a utilização da água subterrânea nos meses mais críticos.

4.1.2 Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica das culturas

4.1.2.1 Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico

A partir do balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência e a precipitação provável com 80% de probabilidade de ocorrência para as 106 estações pluviométricas, foi feita a análise de cluster para a identificação de regiões homogêneas. Os clusters formados apresentaram uma relação de continuidade geográfica entre si, e, a partir da medida de heterogeneidade (Tabela 2), a melhor distribuição das estações pluviométricas foi em duas regiões homogêneas, como pode ser observada na Figura 17. Nota-se que na região noroeste da bacia a evapotranspiração é predominante, enquanto na região leste chove mais que evapotranspira.

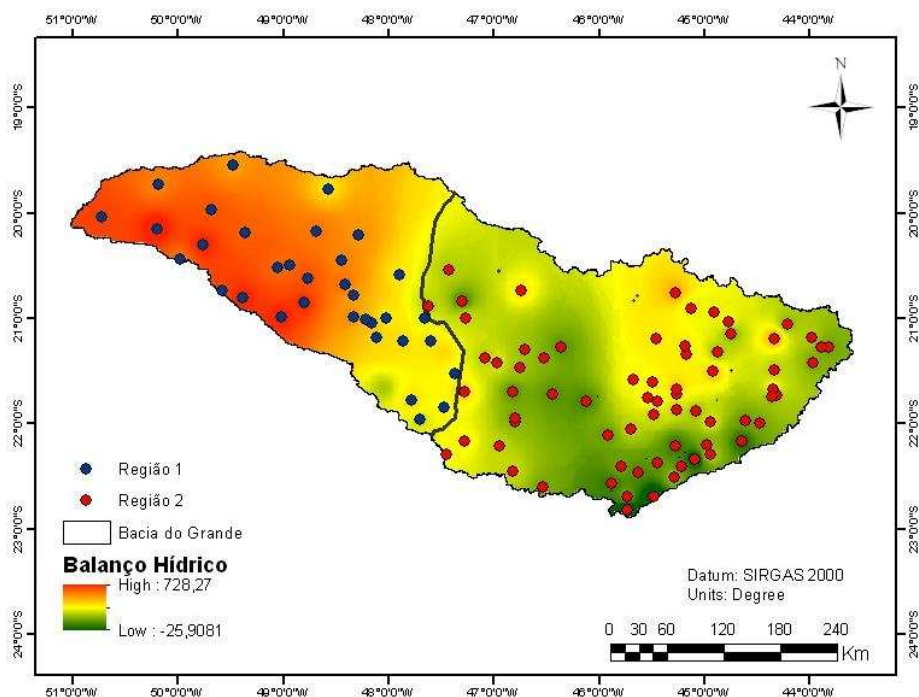


Figura 17: Representação das regiões homogêneas e do balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência anual e a precipitação provável total anual para as 106 estações pluviométricas.

Na Tabela 2 estão representados os resultados da medida estatística de heterogeneidade. Hosking e Wallis (1997) sugerem que quando dos valores de (H_1 , H_2 e H_3) forem menores que 1, a região é considerada aceitavelmente homogênea, mas considera o valor de H_1 como principal indicador de heterogeneidade.

Tabela 2: Medidas de heterogeneidade por região homogênea

| Região | Número de estações | H_1 | H_2 | H_3 | Conclusão |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------------|
| Região 1 | 34 | -0,20 | -0,24 | -5,74 | Aceitavelmente homogênea |
| Região 2 | 72 | -0,03 | -0,03 | -8,82 | Aceitavelmente homogênea |

Conforme visto, as duas regiões foram consideradas aceitavelmente homogêneas. Desta forma, foi feito o balanço hídrico específico para cada região homogênea da bacia do Grande (Figura 18), sendo os valores obtidos pela média do balanço hídrico mensal espacializado para cada região.

Oliveira (2008), em estudo realizado para a bacia do Grande, constatou que o relevo exerce forte influência na distribuição das chuvas na região fisiográfica do alto do Rio Grande (região 2), próximo à cabeceira da bacia. Nesta região registrados os maiores índices pluviométricos e também as maiores variações, e o restante da bacia apresenta um relevo de baixas altitudes e com pequenas variações e as chuvas, por consequência, também se distribuem com poucas modificações.

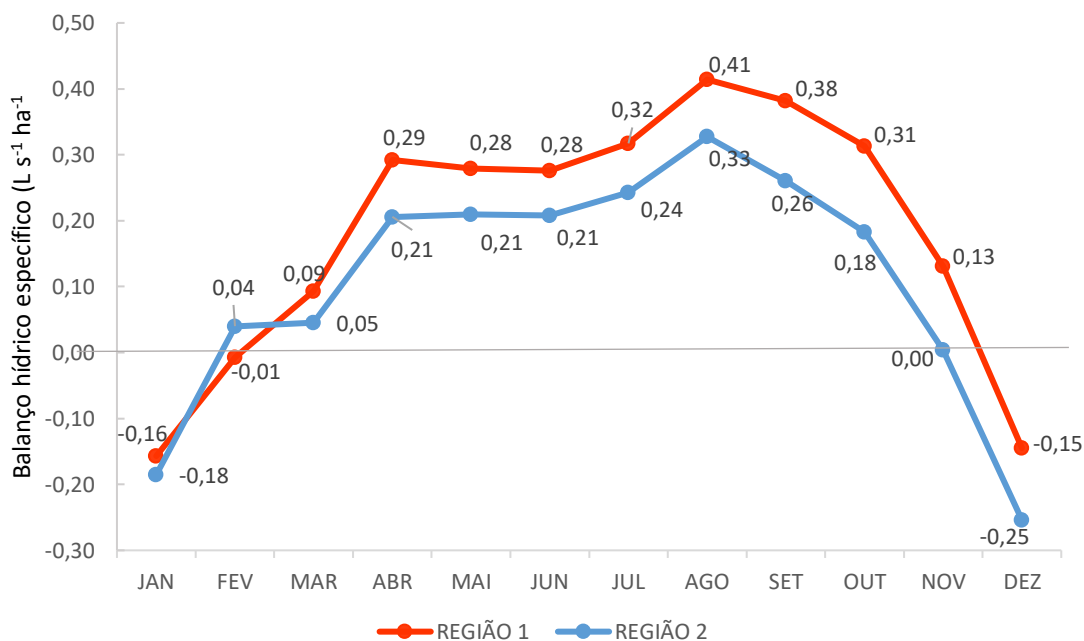


Figura 18: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas.

Observa-se na Figura 18 que a região hidrologicamente homogênea 1 apresentou durante todo o ano maior evapotranspiração que a região 2, sendo o balanço específico médio anual da região 1 quase duas vezes maior.

Observa-se que no período de abril a outubro a bacia apresentou os maiores valores de déficit hídrico para ambas as regiões homogêneas, o que está relacionado com o declínio acentuado da $P_{80\%}$ a partir do mês de março, influenciando diretamente o valor do déficit hídrico nesse período (Figura 18). Até o mês de agosto as precipitações continuam a decrescer, sendo que de abril a agosto chove apenas 15% da precipitação média anual da bacia (Figura 7), mostrando que a evapotranspiração é a variável governante do valor do déficit hídrico nesse período.

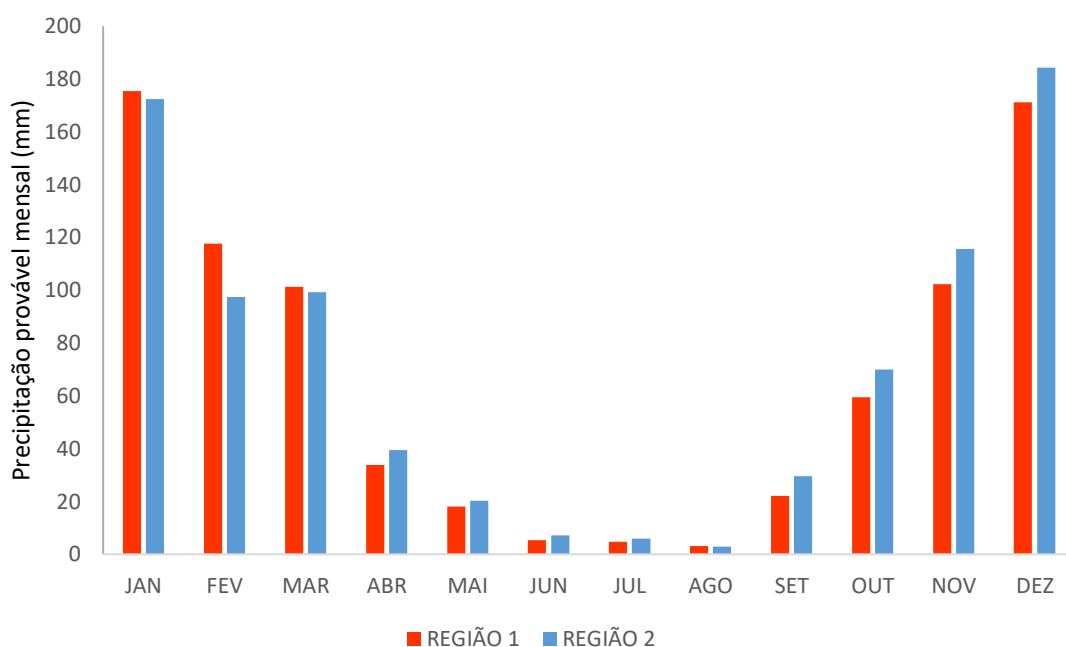


Figura 19: Precipitações prováveis mensais com 80% de probabilidade de ocorrência, obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 106 estações pluviométricas.

Pode-se observar que o mês de setembro marca o início de uma pequena mudança de comportamento das precipitações nas duas regiões, mas, os meses de setembro e outubro ainda apresentarem valores elevados de déficit hídrico se comparado aos outros meses. Isso pode ser explicado pelo fato que esse pequeno aumento das precipitações é seguido também de um aumento da evapotranspiração, fazendo com que o déficit hídrico ainda apresente valores elevados.

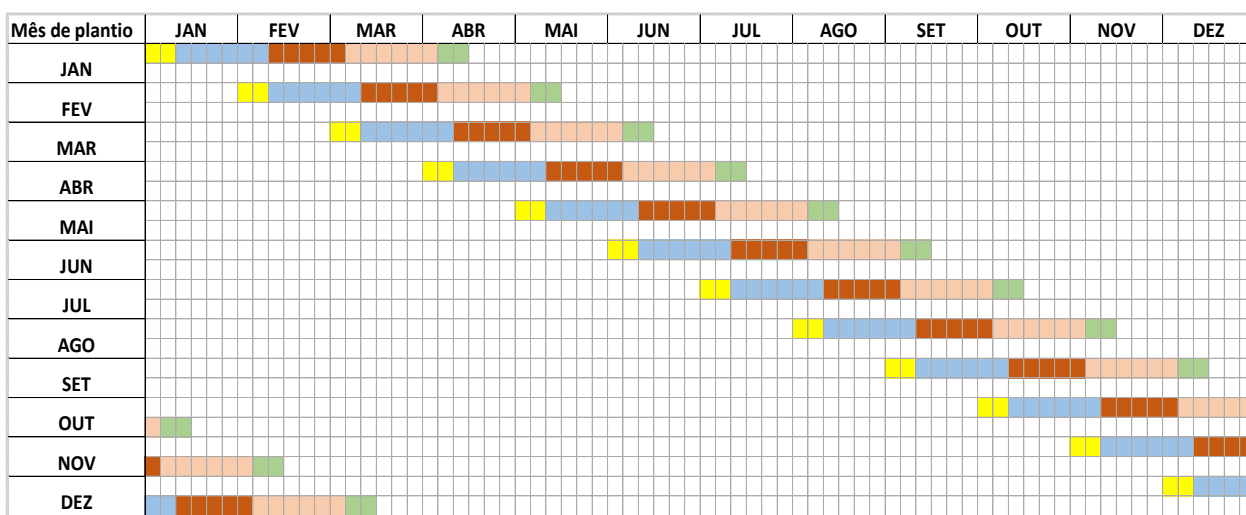
A partir do mês de novembro pode-se perceber a ocorrência de um declínio acentuado do valor de déficit hídrico em ambas as regiões. Sendo que na região 1 os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram excesso hídrico, e na região 2 apenas os meses de dezembro e janeiro apresentaram excedente hídrico.

Diante desta diferenciação das regiões homogêneas na bacia do Grande, pode-se inferir há diferentes necessidades de suplementação hídrica para cada região homogênea. A seguir foi feita uma aplicação do fator de uso da água para a região homogênea 1 da bacia do Grande considerando as principais culturas da bacia.

4.1.2.2 Aplicação do fator de uso da água na irrigação

4.1.2.2.1 Soja

Para a estimativa da vazão unitária necessária para a cultura da soja foram utilizados 12 calendários de cultivo ao longo do ano, correspondentes ao plantio no primeiro dia de cada mês (Figura 20).



*cada divisão na vertical corresponde a 5 dias

Legenda

| Fase | Kc | Duração (dias) |
|-------------------|-----|----------------|
| █ Estabelecimento | 0,4 | 10 |
| █ Des. Vegetativo | 0,8 | 30 |
| █ Floração | 1 | 25 |
| █ Desenvolvimento | 0,8 | 30 |
| █ Maturação | 0,5 | 10 |

Figura 20: Calendário de cultivo da soja considerando todos os estádios de desenvolvimento da cultura.

Na Tabela 3 estão representados os valores da vazão demandada pela cultura da soja estimada pela equação 36, considerando 12 calendários de cultivo e os respectivos estádios de desenvolvimento apresentados na Figura 20. A linha correspondente ao $q_{u,i}(\max)$ corresponde a máxima vazão unitária necessária à cultura entre os calendários de cultivo propostos.

Tabela 3: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cultura da soja na região hidrologicamente homogênea 1

| Mês de plantio | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| JAN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | | | | | | | | |
| FEV | | 0,00 | 0,08 | 0,28 | 0,17 | | | | | | | |
| MAR | | | 0,00 | 0,36 | 0,29 | 0,20 | | | | | | |
| ABR | | | | 0,18 | 0,35 | 0,30 | 0,23 | | | | | |
| MAI | | | | | 0,21 | 0,35 | 0,35 | 0,31 | | | | |
| JUN | | | | | | 0,23 | 0,41 | 0,46 | 0,24 | | | |
| JUL | | | | | | | 0,27 | 0,53 | 0,40 | 0,10 | | |
| AGO | | | | | | | | 0,35 | 0,48 | 0,28 | 0,00 | |
| SET | | | | | | | | | 0,29 | 0,38 | 0,03 | 0,00 |
| OUT | 0,00 | | | | | | | | | 0,15 | 0,12 | 0,00 |
| NOV | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | 0,00 |
| $q_{ui\ max}$ | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,41 | 0,53 | 0,48 | 0,38 | 0,12 | 0,00 |

Pela análise do comportamento dos valores de $q_{u,i\ (max)}$ ao longo do ano, pode-se observar que as maiores vazões demandadas ocorrem nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, correspondente aos plantios efetuados em junho, julho, agosto e setembro, respectivamente. Comparando com o comportamento sazonal das vazões mínimas ao longo do ano (Figura 9), pode-se notar que os meses que apresentaram as maiores vazões demandadas pelo uso da água foram os meses que apresentaram baixa disponibilidade hídrica.

Observa-se que independente da data de plantio, nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março as vazões demandadas são nulas ou extremamente baixas, o que está associado às altas taxas pluviométricas que ocorrem nesses meses (Figura 19), fazendo com que a vazão demandada seja inexpressiva.

Considerando essas duas peculiaridades, a alta demanda irrigada nos meses com baixa disponibilidade hídrica e as demandas extremamente baixas nos meses mais chuvosos, foram aplicadas as duas modificações para os valores mensais de $q_{u,i}$ conforme visto na metodologia.

A primeira modificação consistiu no desestímulo do uso da água para irrigação no período em que ocorre menor disponibilidade hídrica na bacia. Considerou-se como critério para definição dos meses de menor disponibilidade hídrica um valor limite de RVM_{MA} igual a 1,5, que, para a bacia do Grande, corresponde aos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro (Figura 9). Para esses meses,

considerando o ajuste proposto do valor de K_c de 1 para 0,75, conforme exposto na metodologia, os valores da vazão unitária necessária com fator de restrição ($q_{u,i \text{ rest}}$) foram 0,33; 0,43; 0,37; 0,25 e 0,00 $L s^{-1} ha^{-1}$, respectivamente.

A segunda modificação consistiu na correção das inconsistências associadas aos valores nulos da vazão demandada. Nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, os valores de $q_{u,i \text{ rest}}$ foram iguais a 0,00 $L s^{-1} ha^{-1}$, como pode ser visto na Figura 21. A utilização desses valores na equação 38 para determinação do fator F_{ui} resultaria em valores infinitos e não condizentes com a cobrança pelo uso da água nesses meses, além disso, analisando a frequência de ocorrência de decêndios com déficit hídrico, verificou-se que, nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, a evapotranspiração de referência foi superior à precipitação provável em 52,4; 32,3; 30 e 43,4% dos casos, respectivamente.

Uma vez que os meses de dezembro a fevereiro são caracterizados por uma maior disponibilidade hídrica, o segundo ajuste propõe que, para a estimativa das q_{ui} (rest. corrig.) e o suprimento dos déficits que ocorrem neste período, seja utilizado o máximo valor de K_c da cultura. Já para o mês de novembro, que apresenta uma menor disponibilidade hídrica, segue-se a mesma restrição de K_c , já especificada. Assim, no caso da soja, enquanto dezembro e janeiro têm seu déficit estimado com valor de K_c igual a 1, para o mês de novembro, é utilizado K_c igual a 0,75.

Dessa forma, para esses meses foram calculadas as máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico ($q_{u,i \text{ (rest. corrig.)}}$), com intuito de atender ao déficit hídrico decendial em 80% do tempo nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Os valores estimados de $q_{u,i \text{ (rest. corrig.)}}$ foram correspondentes a 0,08, 0,16, 0,15 e 0,12 $L s^{-1} ha^{-1}$, respectivamente.

Na Figura 21 pode-se observar os três ajustes dos valores de $q_{u,i}$, sendo o valor final representado pela linha tracejada cinza ($q_{u,i \text{ rest corrig}}$).

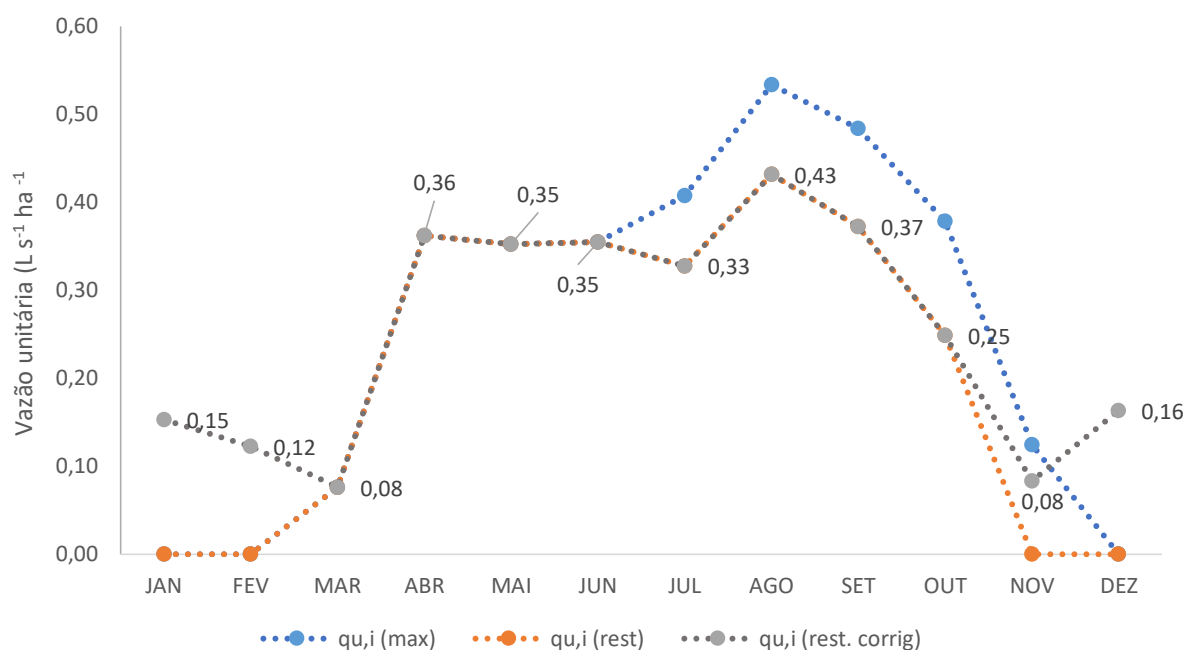
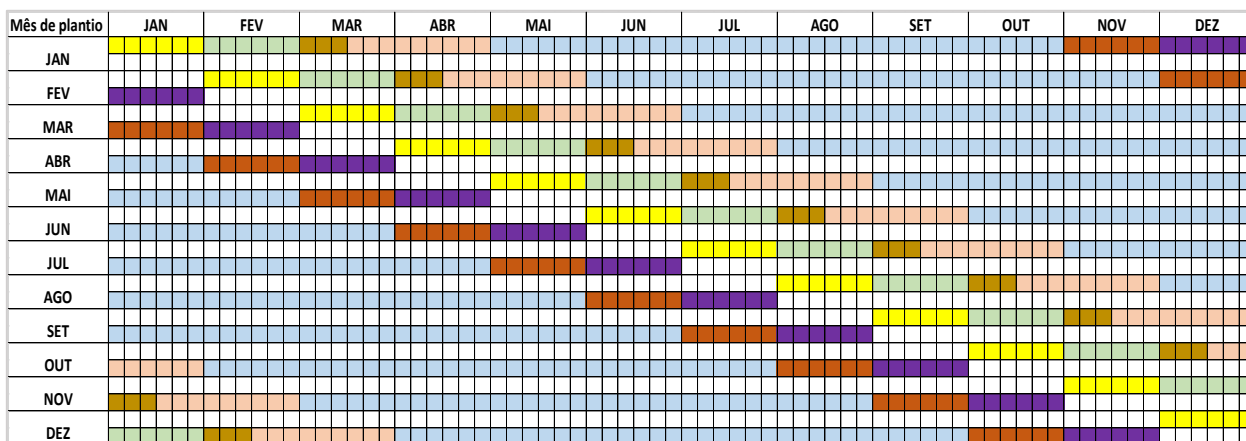


Figura 21: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da soja na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande.

Observa-se que os valores de $q_{u,i} \text{ (máx.)}$ e $q_{u,i} \text{ (rest.)}$ se sobrepõem durante a maior parte do ano, pelo fato do primeiro ajustar suas alterações apenas no período de menor disponibilidade hídrica (julho a novembro). Os valores de $q_{u,i} \text{ (rest. corrig)}$ também sobrepõem durante a maior parte do ano os valores de $q_{u,i} \text{ (rest.)}$, somente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro há uma sobre-elevação da curva, resultando em uma vazão demandada mais elevada.

4.1.2.2.2 Cana-de-açúcar

Assim como para a cultura da soja, na estimativa da vazão unitária necessária para a cultura da cana-de-açúcar, foram considerados 12 calendários de cultivo ao longo do ano, correspondentes ao plantio no primeiro dia de cada mês conforme a Figura 22.



*cada divisão na vertical corresponde a 5 dias

Legenda








| | Fase | Kc | Duração (dias) |
|---|-----------------------|------|----------------|
|  | até 0,25 cob | 0,5 | 30 |
|  | 0,25 a 0,50 cob. | 0,8 | 30 |
|  | 0,50 a 0,75 cob | 0,95 | 15 |
|  | 0,75 a cob. Comp. | 1,10 | 30 |
|  | Utilização max. | 1,18 | 180 |
|  | Início da senescência | 0,93 | 30 |
|  | Maturação | 0,68 | 30 |

Figura 22: Calendário de cultivo da cana-de-açúcar considerando todos os estágios de desenvolvimento da cultura.

Na Tabela 3 estão representados os valores da vazão demandada pela cultura da cana estimada pela equação 36, considerando 12 calendários de cultivo e os respectivos estágios de desenvolvimento apresentados na Figura 22. A linha correspondente ao $q_{u,i}(\max)$ corresponde a máxima vazão unitária necessária à cultura considerando os calendários de cultivo propostos.

Tabela 4: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 1

| Mês de Plantio | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| JAN | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,47 | 0,48 | 0,46 | 0,53 | 0,69 | 0,65 | 0,58 | 0,13 | 0,00 |
| FEV | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,53 | 0,69 | 0,65 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |
| MAR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,40 | 0,43 | 0,53 | 0,69 | 0,65 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |
| ABR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,29 | 0,40 | 0,49 | 0,69 | 0,65 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |
| MAI | 0,00 | 0,10 | 0,08 | 0,22 | 0,15 | 0,30 | 0,46 | 0,64 | 0,65 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |
| JUN | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,37 | 0,23 | 0,18 | 0,35 | 0,60 | 0,60 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |
| JUL | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,52 | 0,36 | 0,25 | 0,21 | 0,46 | 0,55 | 0,52 | 0,32 | 0,00 |
| AGO | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,52 | 0,48 | 0,36 | 0,29 | 0,28 | 0,41 | 0,46 | 0,26 | 0,00 |
| SET | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,41 | 0,39 | 0,21 | 0,29 | 0,20 | 0,00 |
| OUT | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,53 | 0,54 | 0,33 | 0,06 | 0,04 | 0,00 |
| NOV | 0,00 | 0,05 | 0,25 | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,53 | 0,69 | 0,49 | 0,20 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | 0,00 | 0,01 | 0,20 | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,53 | 0,69 | 0,65 | 0,39 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{u,i} (máx.)$ | 0,00 | 0,10 | 0,25 | 0,52 | 0,48 | 0,46 | 0,53 | 0,69 | 0,65 | 0,58 | 0,32 | 0,00 |

Observa-se na Tabela 4 que os maiores valores da $q_{u,i} (máx.)$ ocorrem de julho a outubro, isso acontece quando o plantio da cultura é efetuado de janeiro a maio, fazendo com que a fase de utilização máxima de água ocorra entre esses meses. Assim, da mesma forma que acontece com a cultura da soja, as maiores vazões demandas pela irrigação da cana-de-açúcar ocorrem nos meses em que se tem a menor disponibilidade hídrica da bacia do Grande.

A opção pela mudança da data do plantio traz como consequência uma menor $q_{u,i} (máx.)$ nos meses de menor disponibilidade hídrica. O plantio nos meses de julho a setembro, por exemplo, acarretaria uma vazão máxima demandada ao longo do ano de $0,55 L s^{-1} ha^{-1}$, enquanto que o plantio nos meses de janeiro a abril acarreta uma vazão máxima anual de $0,69 L s^{-1} ha^{-1}$. Dessa forma, o deslocamento da data de plantio da cultura diminuiria a vazão demandada ao longo de todo o ano.

A aplicação do primeiro ajuste para a cultura da cana-de-açúcar traz uma particularidade em relação a cultura da soja, uma vez que, o desestímulo do uso da água nos meses de melhor disponibilidade hídrica implicou uma mudança do K_c de 1,10 (fase que se estende de 75% de cobertura à cobertura completa) e do K_c de 1,18 (fase de utilização máxima da cultura) para um valor que não excedesse a unidade, ou seja, as demandas da cultura nos meses de julho a novembro devem apresentar no máximo a demanda correspondente à evapotranspiração de referência. Considerou-se, portanto, que para a estimativa dos valores de $q_{u,i} (rest.)$ nesses meses fosse adotado um

valor de K_c igual a 0,95, que corresponde a fase que se estende de 50 a 75% da cultura. Com isso, os valores de $q_{u,i} \text{ (rest.)}$ decorrentes desse ajuste para os meses de julho a novembro passaram a ser 0,42, 0,55, 0,50, 0,40 e 0,15 $L s^{-1} ha^{-1}$, respectivamente.

Observa-se que os valores expressamente baixos ou nulos de $q_{u,i} \text{ (rest.)}$ nos meses de dezembro a fevereiro, iguais à 0,00, 0,00 e 0,10 $L s^{-1} ha^{-1}$, respectivamente, evidenciaram a necessidade de aplicação do segundo ajuste. Seguindo o mesmo procedimento descrito para a cultura da soja, e considerando o K_c para os meses de dezembro a fevereiro igual a 1,18, foram obtidos os valores de $q_{u,i} \text{ (rest. corrig.)}$ para a cultura da cana-de-açúcar. Os valores estimados de $q_{u,i} \text{ (rest. corrig.)}$ para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, foram, 0,19, 0,18 e 0,14, respectivamente.

Na Figura 23 pode-se observar os três ajustes dos valores de $q_{u,i}$, sendo o valor final representado pela linha tracejada cinza ($q_{u,i} \text{ rest corrig.}$).

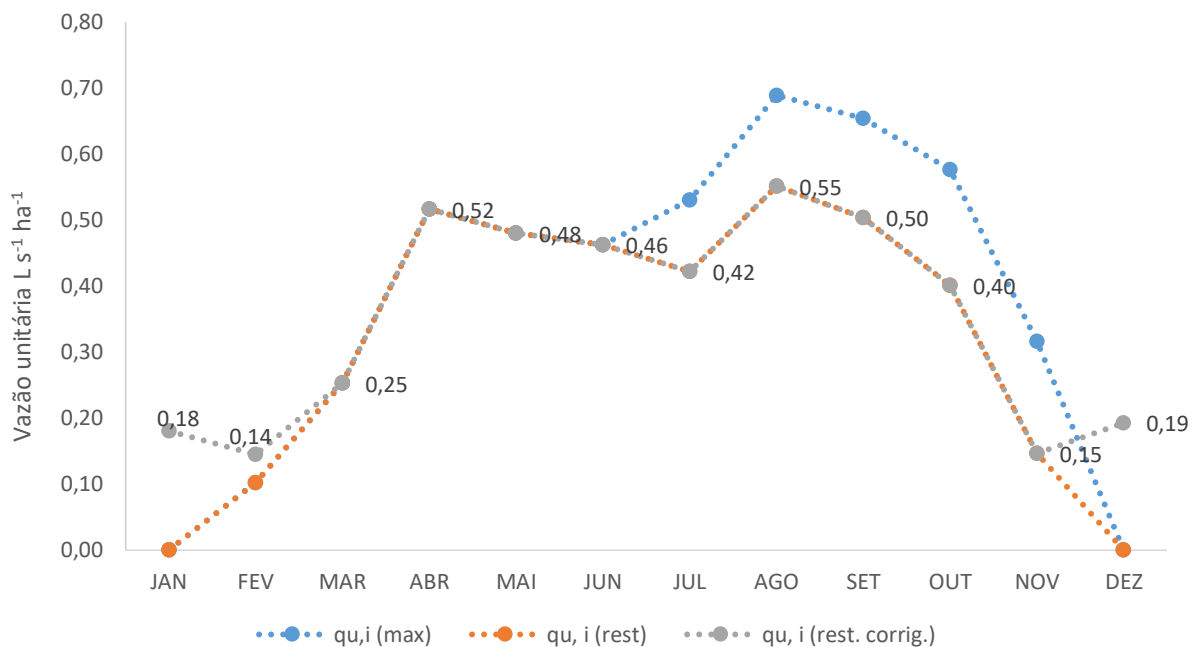


Figura 23: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande.

Os valores de $q_{u,i} \text{ rest corrig}$ mostram que a mudança data de plantio é um fator preponderante para maior eficiência do uso da água na irrigação. O plantio da cana-de-açúcar estabelecido nos meses de julho a outubro faz com que as demandas de

uso da água na irrigação para essa cultura sejam limitadas aos valores de demanda propostos de desestímulo pelo uso da água na irrigação.

4.1.2.2.3 Banana

A $q_{u,i (max)}$ foi estimada para a cultura da banana, mas sendo esta uma cultura permanente, tem-se um único valor de K_c ao longo do ano. Assim, o único fator variável para a estimativa dos valores de $q_{u,i}$ foram as variáveis climáticas, mantendo-se constante quanto as diferentes datas de plantio, o que pode ser visto na Tabela 5 quando os valores de $q_{u,i (max)}$ são os mesmos da linha anterior.

Tabela 5: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da banana na região hidrologicamente homogênea 1

| Mês de plantio | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Jan-Dez | 0,00 | 0,11 | 0,27 | 0,53 | 0,49 | 0,47 | 0,54 | 0,70 | 0,67 | 0,59 | 0,33 | 0,00 |
| $q_{ui (máx.)}$ | 0,00 | 0,11 | 0,27 | 0,53 | 0,49 | 0,47 | 0,54 | 0,70 | 0,67 | 0,59 | 0,33 | 0,00 |

Pode-se observar na Tabela 5 que, em função do K_c fixo das culturas permanentes, não tem como aplicar o 1º ajuste que considera as demandas reduzidas no período de baixa disponibilidade hídrica. Assim, o aprimoramento dos valores de $q_{u,i}$ se baseou apenas no 2º aprimoramento apresentado, que consiste na estimativa de uma vazão unitária necessária à cultura para o atendimento do déficit hídrico ($q_{u,i (corrig.)}$) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, devido aos valores nulos ou extremamente baixos.

Para aplicação do segundo ajuste aos valores de $q_{u,i}$, outra particularidade em relação as culturas permanentes é que não há distinção do valor de K_c para os meses de dezembro à fevereiro em questão. Assim, considerando o valor de K_c igual a 1,2, os valores de $q_{u,i (corrig.)}$ para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram, 0,20, 0,18 e 0,15 $L s^{-1} ha^{-1}$. Na Figura 24 estão apresentados os valores de $q_{u,i (máx.)}$ e $q_{u,i (corrig.)}$ estimados para a cultura da banana.

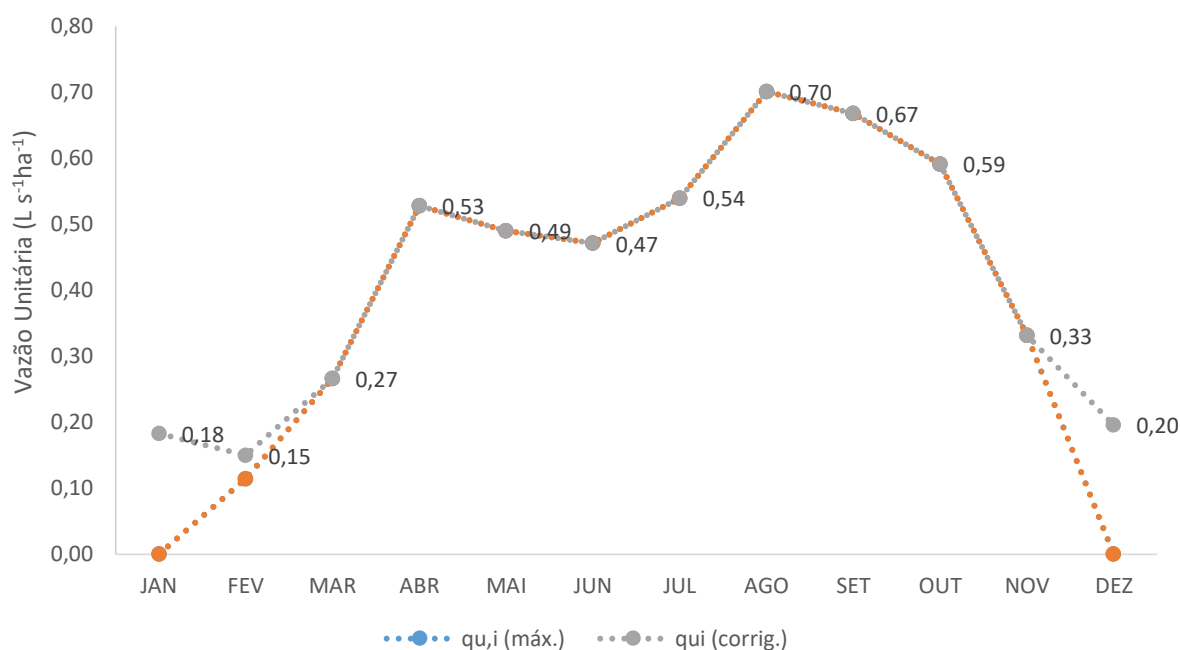


Figura 24: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da banana na região hidrologicamente homogênea 1 da bacia do Grande.

4.1.3 Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões

4.1.3.1 Impacto do efeito das alterações propostas para a condição de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do Grande

A utilização da regularização das vazões visa aumentar a disponibilidade hídrica quando as condições a fio d'água não são capazes de suprir as demandas de água para todos os setores usuários. A análise do efeito que a regularização tem sobre a oferta de água se balizará em duas condições: a disponibilidade hídrica com base na legislação atual e a disponibilidade hídrica quando se altera a vazão mínima residual.

No que diz respeito a consideração do valor econômico da água regularizada, ele foi fundamentado na lei da oferta e da demanda da água, e no potencial de regularização dos reservatórios. Como descrito na metodologia, o valor da água regularizada foi baseado no fator de sazonalidade, considerando o mês de maior disponibilidade hídrica da bacia. Assim, para a bacia do Grande o valor de desconto pelo uso da água em condições de regularização foi atribuído o valor de 0,44,

correspondente ao mês de fevereiro, que apresentou o mesmo valor do mês de março na (Figura 10) mas considerando um maior número de casas decimais, fevereiro apresentou menor valor.

4.1.3.2 Aplicação da metodologia com base na legislação atual

Com o objetivo de avaliar o efeito da construção de reservatórios na disponibilidade hídrica da bacia do Grande, é mostrado na Figura 25 o aumento da disponibilidade hídrica quando da mudança do percentual permissível para outorga de 50% da $Q_{7,10}$, condição a fio d'água, para $Q_{mld} - 50\%Q_{7,10}$, condição com a regularização de vazões.

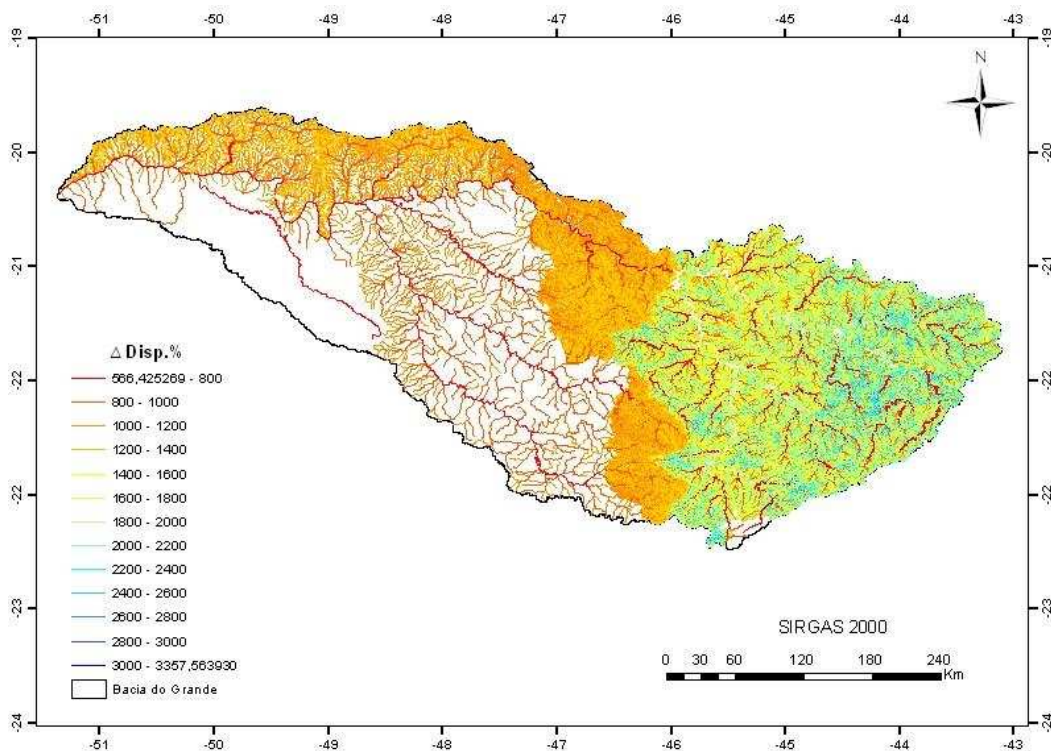


Figura 25: Incremento da disponibilidade hídrica devido a alteração da vazão permissível para outorga da condição a fio d'água para a condição de regularização de vazões.

Observa-se na Figura 25 que a mudança no critério para concessão de outorga da água, da condição a fio d'água para a condição de regularização potencializa expressivamente a utilização da água ao longo da bacia, de 566% a 3358%, aproximadamente.

O aumento da disponibilidade hídrica na bacia foi maior no lado leste da bacia, no sentido das cabeceiras. Isso é ocorre devido ao fato da $Q_{7,10}$ está associada a contribuição do escoamento subterrâneo, e a Q_{mld} está associada tanto ao escoamento subterrâneo quanto do escoamento superficial, assim, como existe um declive mais acentuado nas regiões de cabeceira a água tende a escoar rapidamente e tem menos oportunidade de infiltrar do que em um declive suave, favorecendo a maior formação da Q_{mld} em relação à $Q_{7,10}$. Consonante a isso, de modo geral as precipitações tendem a diminuir da cabeceira para a foz (HAAN et al. 1994; PEREIRA et al. 2007).

4.1.3.3 Aplicação da metodologia com base na alteração da vazão mínima residual

Na Figura 26 pode-se observar o mapa do aumento da disponibilidade hídrica quando da mudança do critério de outorga de 50% da $Q_{7,10}$, para $Q_{mld} - Q_{7,10}$.

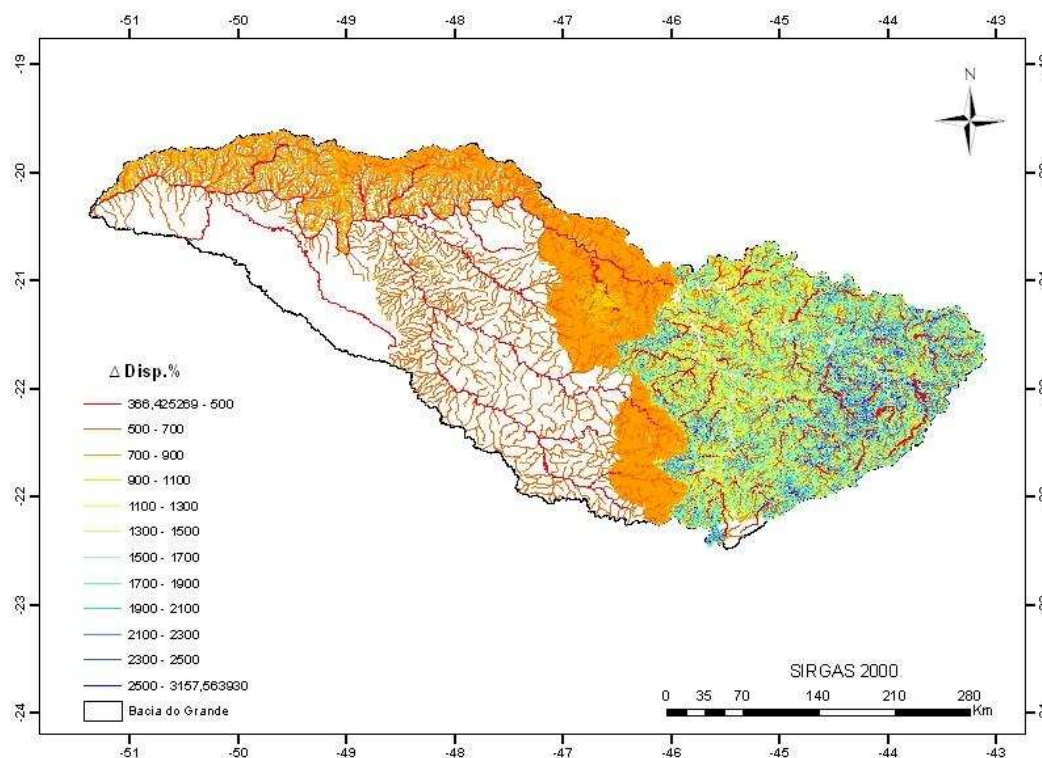


Figura 26: Incremento da disponibilidade hídrica quando da construção de reservatórios de regularização considerando a proposição de alteração da vazão mínima residual para essas condições.

A aplicação da alteração da vazão mínima residual de 50% da $Q_{7,10}$ para 100% da $Q_{7,10}$ fez com que houvesse um aumento da disponibilidade hídrica de 366% a 3158%, aproximadamente. Esses valores mostram que a alteração da vazão mínima residual, apesar de apresentar uma redução da disponibilidade hídrica ao longo da bacia ainda mantém um valor expressivo em relação ao seu aumento.

A alteração da vazão mínima residual permite no âmbito da gestão dos recursos hídricos, que haja uma maior preservação das condições ambientais a fio d'água, mantendo a disponibilidade hídrica natural dos cursos d'água e ao mesmo tempo permite a agregação de valor a um volume de água que, em condições naturais, não seria utilizado para a realização de atividades econômicas.

4.2 Bacia do Paranaíba

4.2.1 Critérios de cobrança relacionados à sazonalidade de vazões e ao manancial de captação

4.2.1.1 Análise *Box Plot* aplicada às relações entre as vazões mínimas específicas mensais e anual

Foram estimadas as relações mensais entre as vazões mínimas mensais e anual ($RVM_{M/A}$) para as 50 estações fluviométricas da bacia do Paranaíba, e a estes valores de $RVM_{M/A}$ foi aplicada a análise estatística de *box plot* para a identificação de outliers (Figura 27). Os pontos em azul constituem valores outliers, e os limites superiores e inferiores, marcados pela barra cinza, foram obtidos a partir dos quartis estimados com base nos valores mensais das $RVM_{M/A}$ para as diferentes estações, e definem os intervalos para os quais as $RVM_{M/A}$ são aceitáveis.

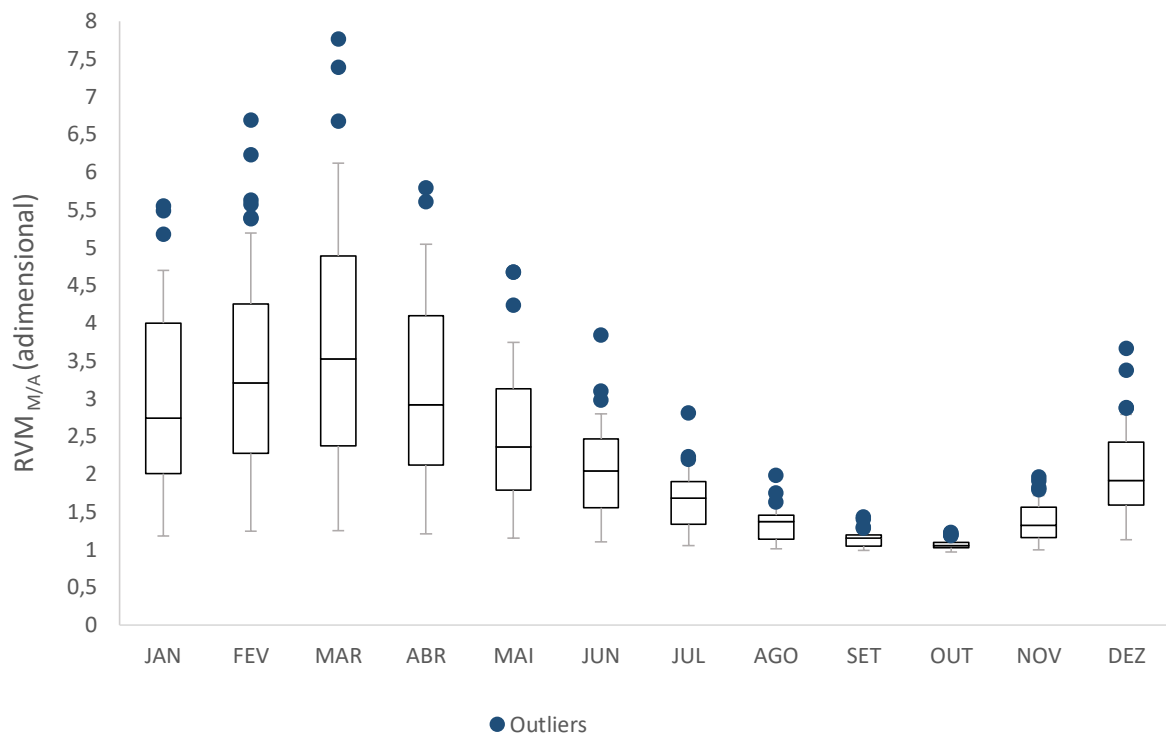


Figura 27: *Box plot* para os valores mensais das relações entre as vazões mínimas mensais e a anual.

Observa-se que a ocorrência de outliers se deu ao longo de todo ano, portanto, optou-se por excluir todas as estações que apresentaram mais de um valor outlier. Assim, foram excluídas 11 estações com dados discrepantes (60011000, 60020000, 60110000, 60130000, 60145000, 60635000, 60750000, 60765000, 60772000, 60835000, 60925001), sendo que todos os valores foram classificados como outliers, não houve nenhum outlier extremo.

Observa-se na Figura 27 que a partir do mês de dezembro, com a sobre-elevação do lençol freático ocorre um maior limite de dados aceitáveis. Nos meses de julho a novembro ocorre pequena variação dos valores, visto que nesses meses o escoamento subterrâneo é o principal responsável pela formação das vazões.

A análise de cluster foi feita a partir dos valores de $RVM_{M/A}$ para as 39 estações fluviométricas (Figura 28).

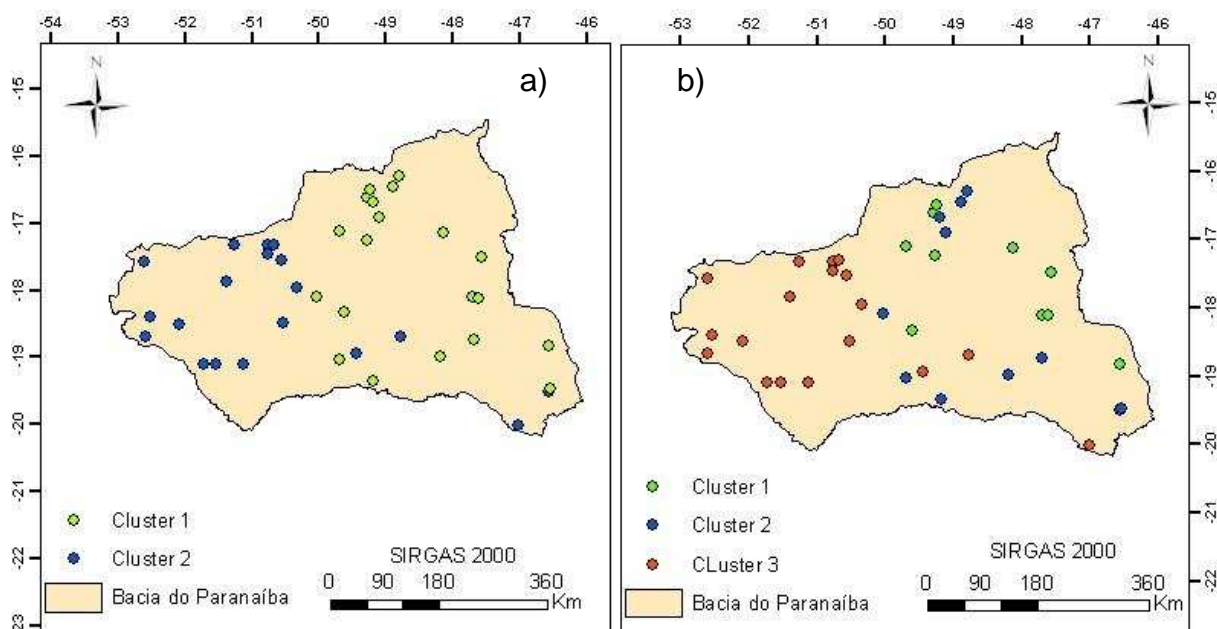


Figura 28: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos a); e 3 agrupamentos b).

Verificou-se que nenhum resultado se mostrou satisfatório, uma vez que os clusters formados considerando os 3 agrupamentos (à direita) não guardavam uma relação de continuidade geográfica entre si, e os clusters formados considerando 2 agrupamentos (à esquerda), apesar de mostrarem uma relação de continuidade geográfica, os resultados referentes a medida de heterogeneidade não deram satisfatórios (Tabela 6).

Tabela 6: Medidas de heterogeneidade para a bacia do Paranaíba, considerando 2 agrupamentos de cluster

| Região | Número de estações | H ₁ | H ₂ | H ₃ | Conclusão |
|-----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|
| Cluster 1 | 20 | 0,72 | -3,25 | -4,18 | Aceitavelmente homogênea |
| Cluster 2 | 19 | 9,06 | -2,95 | -4,80 | Definitivamente heterogênea |

Diante desse resultado, para a aplicação da metodologia referente a cobrança pelo uso da água com base no coeficiente de sazonalidade considerou-se a bacia do Paranaíba como uma única região hidrologicamente homogênea.

4.2.1.2 Análise da variação sazonal das vazões mínimas

Após a exclusão das estações que apresentavam mais de um valor outlier, foram calculadas as relações entre as vazões mínimas mensais e anuais ($RVM_{M/A}$) para as 39 estações fluviométricas, e estão apresentadas na Figura 29. As linhas presentes na figura servem somente para uma melhor visualização da variação dos valores de $RVM_{M/A}$ ao longo do ano. No Apêndice B (Tabela 4B) são apresentados os valores de $Q_{7,10}$ estimados em base mensal e anual para cada estação fluviométrica.

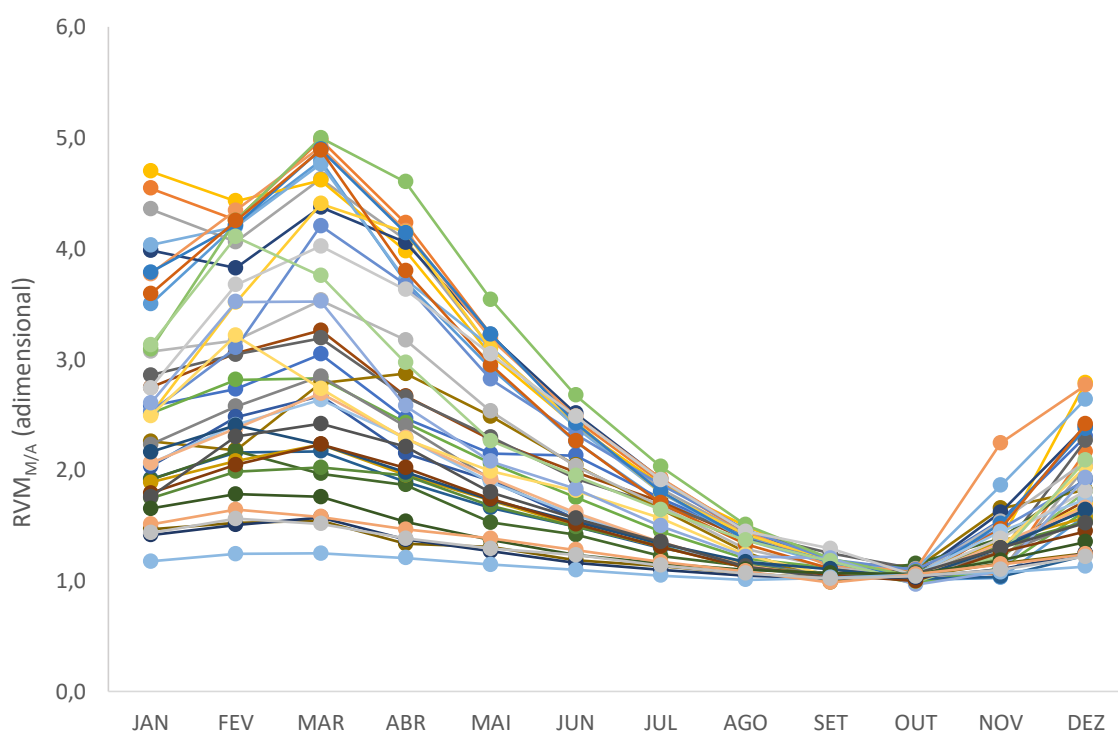


Figura 29: Valores mensais das relações entre $q_{7,10}$ mensais e anual para cada estação fluviométrica.

O comportamento sazonal da bacia do Paranaíba é bastante similar ao da bacia do Grande, desta forma, o processo hidrológico relacionado a variação dos valores de $RVM_{M/A}$ ao longo do ano que foi descrito para a bacia do Grande, não será discriminado para a bacia do Paranaíba novamente.

Os valores de $RVM_{M/A}$ apresentaram maiores magnitudes no período chuvoso, devido aos maiores totais precipitados (Figura 30) e o incremento do escoamento

superficial direto, enquanto no período de estiagem os valores se aproximaram da unidade devido a contribuição ser basicamente subterrânea.

Observa-se como característica peculiar da bacia do Paranaíba uma maior variação e amplitude dos valores de $RVM_{M/A}$ no período chuvoso em relação a bacia do Grande, isso está relacionado às condições de recarga das bacias, já que a bacia do Paranaíba apresenta uma maior ascensão do lençol freático em relação à bacia do Grande.

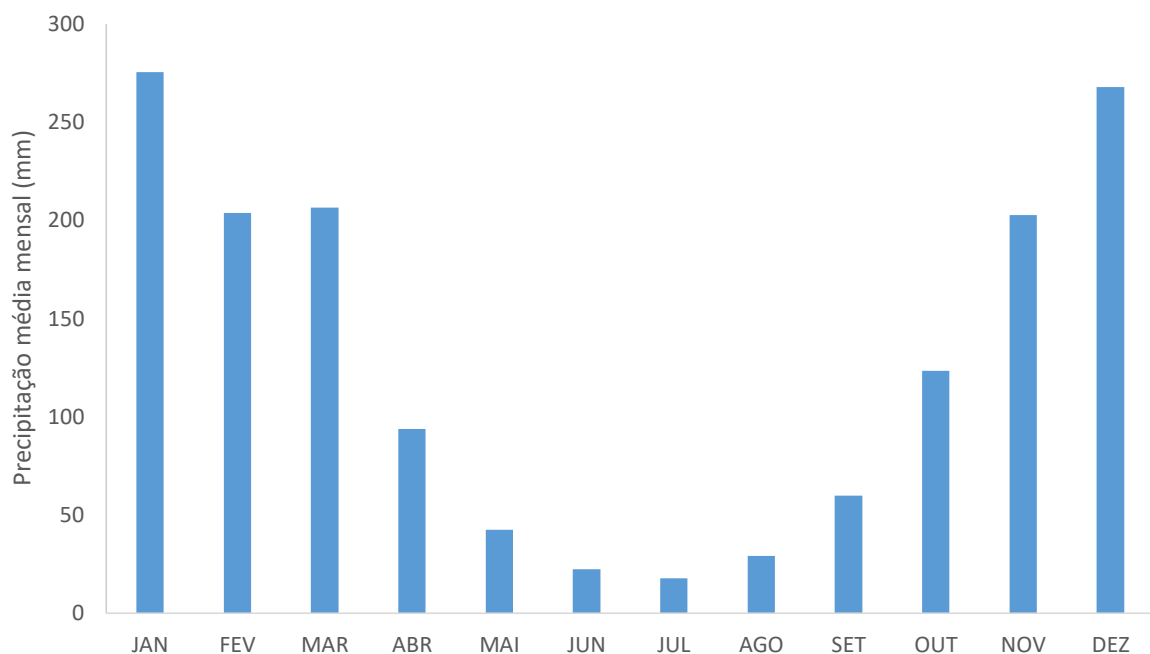


Figura 30: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem da bacia do Paranaíba para as 128 estações pluviométricas.

No mês de março (Figura 29), mês que apresentou um maior aumento na disponibilidade hídrica, os valores de $RVM_{M/A}$ variaram de 1,25 a 5,0 vezes suas respectivas vazões específicas mínimas anuais, indicando um aumento expressivo da disponibilidade hídrica quando comparado com o mês mais crítico (outubro), quando os valores de $RVM_{M/A}$ variaram de 0,97 a 1,15 vezes. Na bacia do Grande, o mês de fevereiro foi o que apresentou um maior aumento na disponibilidade hídrica, os valores de $RVM_{M/A}$ variaram de 1,7 a 3,3 vezes suas respectivas vazões específicas mínimas anuais, indicando um aumento expressivo da disponibilidade hídrica quando comparado com o mês mais crítico (outubro), quando os valores de $RVM_{M/A}$ variaram

de 0,9 a 1,2 vezes. Diante desses resultados pode-se inferir que no período mais crítico do ano, os valores de $RVM_{M/A}$ se aproximam bastante entre as bacias, enquanto no período chuvoso a bacia do Paranaíba apresenta uma maior disponibilidade dos recursos hídricos.

Os resultados mensais referentes às $RVM_{M/A}$ para as 39 estações fluviométricas foram utilizados para estimar o fator de sazonalidade com intuito de avaliar a cobrança pelo uso da água na Bacia do Paranaíba por meio de um fator multiplicador.

4.2.1.3 Aplicação do fator de sazonalidade

A partir dos valores mensais da relação entre as $Q_{7,10}$ mensais e anual, estimou-se, para cada mês, uma média das $RVM_{M/A}$ para as 39 estações fluviométricas, como pode ser visto na Figura 9. Associados aos valores médios da $RVM_{M/A}$ observa-se os intervalos de confiança com 95% de probabilidade, representados pelas barras cinzas.

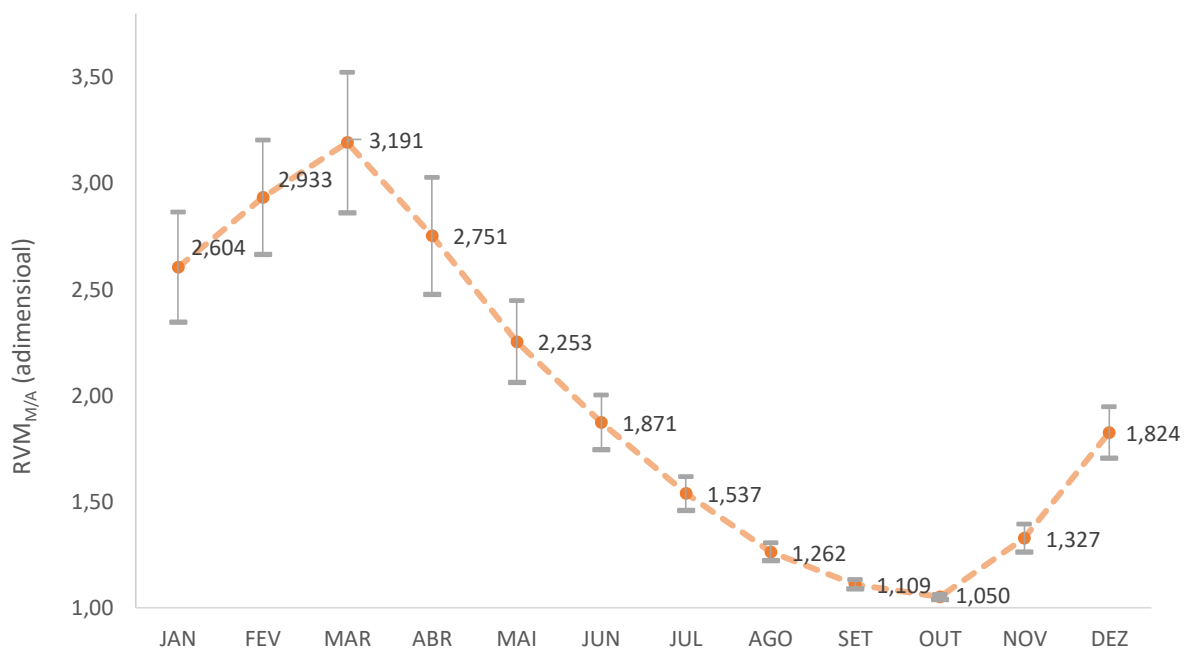


Figura 31: Médias mensais das $RVM_{M/A}$ associadas aos intervalos de confiança para as 39 estações fluviométricas.

Observa-se que o intervalo de confiança apresentou uma amplitude bastante expressiva de dezembro a maio, o que está associado a maior variação das vazões mínimas devido ao aumento do nível do lençol freático e o incremento do escoamento superficial direto na formação das vazões. Nos meses de junho a novembro, o intervalo de confiança apresenta menor variação, uma vez que o escoamento subterrâneo é o principal responsável pela formação das vazões nesse período, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, onde se tem maior frequência de ocorrência das vazões mínimas (Figura 32).

Diante dos resultados referentes aos valores médios mensais das $RVM_{M/A}$, foi estimado o fator de sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) para a bacia do rio Paranaíba (Figura 32).

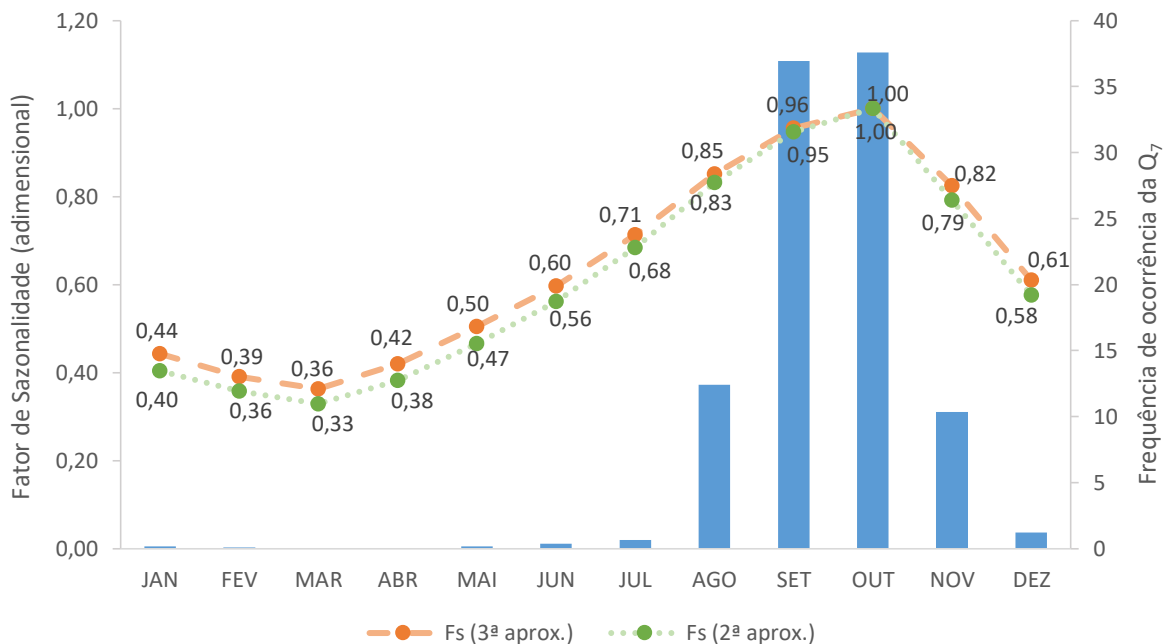


Figura 32: Fator de sazonalidade (2ª e 3ª aproximações) e frequência de ocorrência das vazões mínimas para as 39 estações fluviométricas em estudo.

Observa-se na Figura 32 que os meses de janeiro a abril apresentaram os maiores descontos relacionado a cobrança pelo uso da água, o que era esperado devido a maior disponibilidade hídrica presente nesses meses pela análise da $RVM_{M/A}$ (Figura 31) e a menor frequência de ocorrência das vazões mínimas.

À medida que se aproxima do período com maior escassez hídrica do ano, principalmente nos meses de setembro e outubro, o fator de sazonalidade tende a

unidade. Esse fato está relacionado a formação das vazões nesse período, que se deve basicamente à contribuição do escoamento subterrâneo, não justificando o fato de se cobrar a mais pela água superficial no período em que se encontra escassa.

O fator de sazonalidade estimado para a bacia do Paranaíba apresentou o mesmo comportamento do F_s estimado para a bacia do Grande, diferindo em termos quantitativos em relação ao desconto concedido ao usuário a cada mês.

Assim como para a bacia do Grande, a terceira aproximação não apresentou variações expressivas para os meses de agosto e novembro (Figura 32). Pelos mesmos motivos explicados para a bacia do Grande, considerou-se que 2ª aproximação apresentou resultados satisfatórios em relação a estimativa do fator de sazonalidade para a bacia do Paranaíba.

Apesar destas observações, o fator de sazonalidade apresentou uma diferenciação sazonal dos valores ao longo do ano, proporcionando um benefício ao usuário quando utilizar a água superficial nos meses em que esta for mais abundante, e nos meses mais críticos, o desconto pelo uso da água é reduzido devido ao princípio da utilização racional dos recursos hídricos.

4.2.1.4 Estimativa das relações anuais e mensais entre escoamento subterrâneo e escoamento total para cada estação

Com base na aplicação da metodologia de separação do escoamento total, foram gerados, para cada uma das 50 estações fluviométricas, valores diários das lâminas de escoamento superficial direto e escoamento subterrâneo. A partir desses valores diários, foram estimadas as relações mensais entre o escoamento subterrâneo e o escoamento total (R_{EST}) para cada estação. A esses valores de R_{EST} foi aplicada a estatística *Box Plot* para a identificação de *outliers* (Figura 11).

Os limites superiores e inferiores, marcados em cinza, foram estimados com base nos quartis obtidos dos valores mensais das R_{EST} para as diferentes estações, e definem os intervalos para os quais as R_{EST} são aceitáveis. Os pontos em azul e vermelho constituem valores *outliers*, sendo que os destacados em vermelho constituem valores de *outliers* extremos.

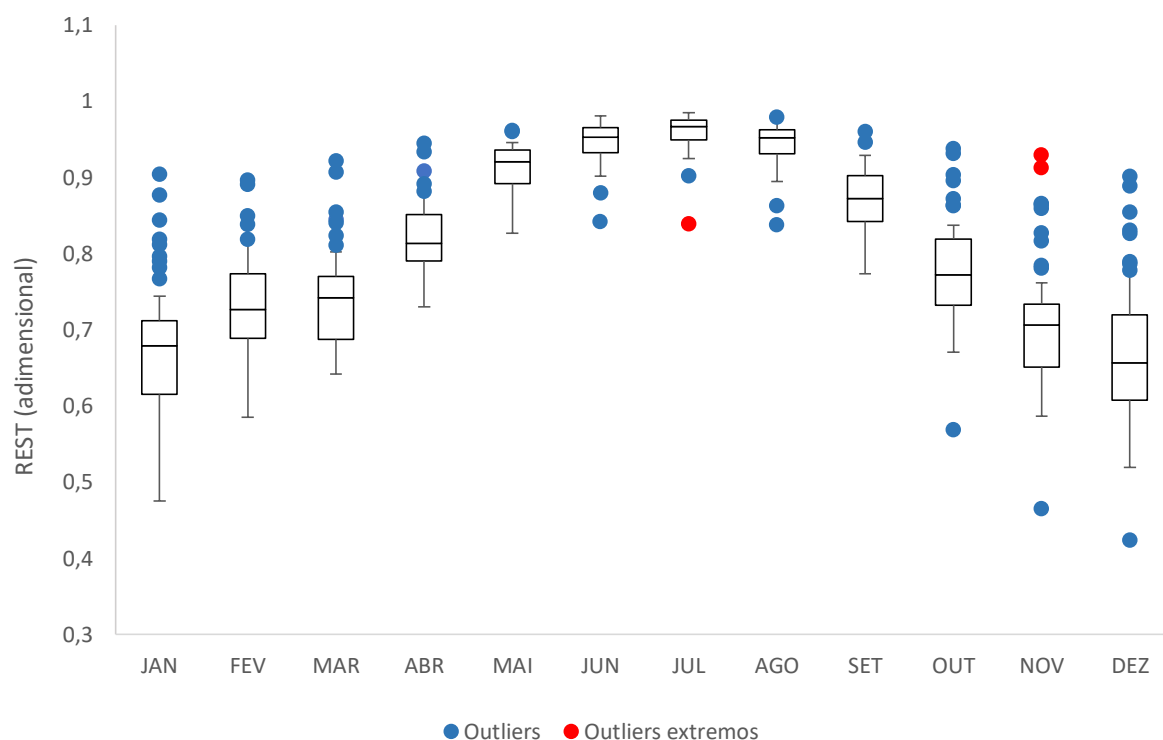


Figura 33: Gráfico *Box Plot* da relação entre escoamento subterrâneo e escoamento total (R_{EST}).

Pode-se notar que a ocorrência de *outliers* se deu ao longo de todo ano, portanto, optou-se por excluir todas as estações que apresentaram mais de um valor *outlier*. Assim, foram excluídas 13 estações (60110000, 60130000, 60381000, 60653000, 60778000, 60845000, 60895000, 60930000, 60940000, 60950000, 60960000, 60968000, 60970000), sendo que as estações 60381000, 60940000 e 60960000 apresentaram valores classificados como *outlier* extremo.

Apesar da maior variação dos dados de R_{EST} durante o período chuvoso, observa-se que nesse período houve uma maior incidência de valores *outliers*, principalmente relacionados ao limite superior, isso pode ser justificado pelo fato de algumas estações apresentarem um aumento da LE_{Sub} proporcionalmente maior do que o aumento da LE_{Total} em relação às outras estações, fazendo com que os valores de R_{EST} para algumas estações permaneçam altos durante o período chuvoso.

A identificação de regiões homogêneas foi feita a partir da análise de cluster, considerando os valores das R_{EST} para as 37 estações fluviométricas. Verificou-se que nenhum resultado se mostrou satisfatório, uma vez que os clusters formados não apresentam uma relação de continuidade geográfica entre si (Figura 12). Diante desse

resultado, considerou-se a bacia do Grande como uma única região hidrologicamente homogênea com base nos valores de R_{EST} .

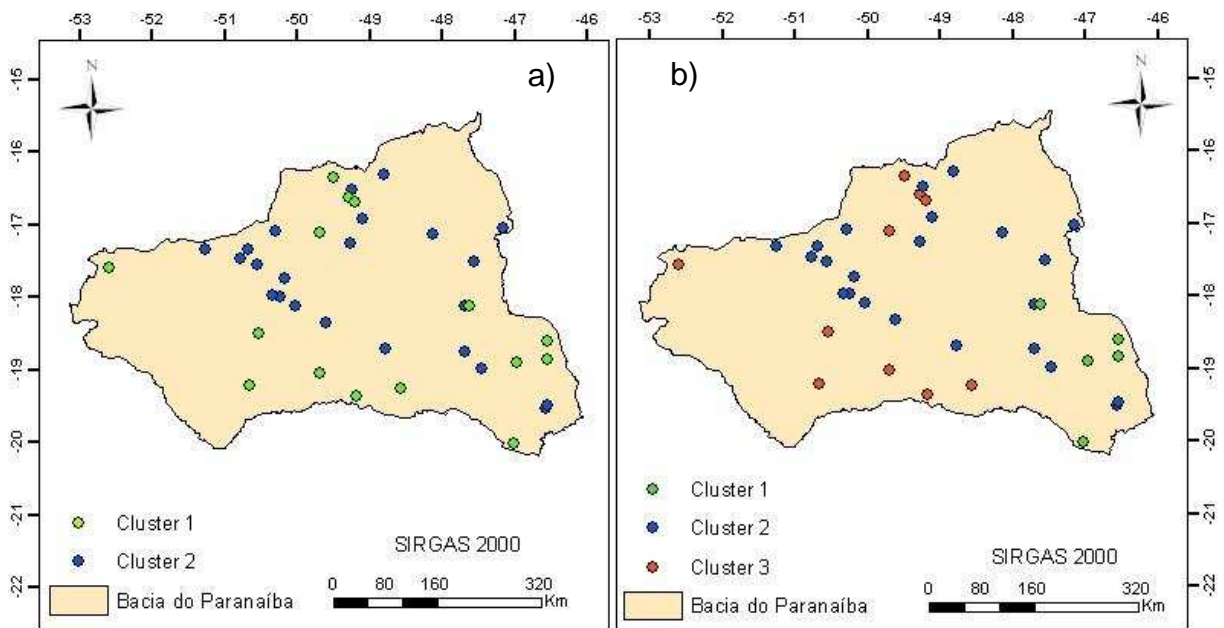


Figura 34: Definição das regiões homogêneas com base na análise de cluster, considerando 2 agrupamentos a); e 3 agrupamentos b).

Na Figura 13a são mostrados os valores médios anuais das lâminas de escoamento subterrâneo (LE_{Sub}), lâmina de escoamento superficial direto (LE_S) e lâmina de escoamento total (LE_{STotal}) para cada uma das 37 estações fluviométricas. A Figura 13b mostra as porcentagens de contribuição anual do escoamento subterrâneo para a formação do escoamento superficial total (LE_{Sub}/LE_{STotal}). Os valores dessas variáveis se encontram no Apêndice B (Tabela 5B).

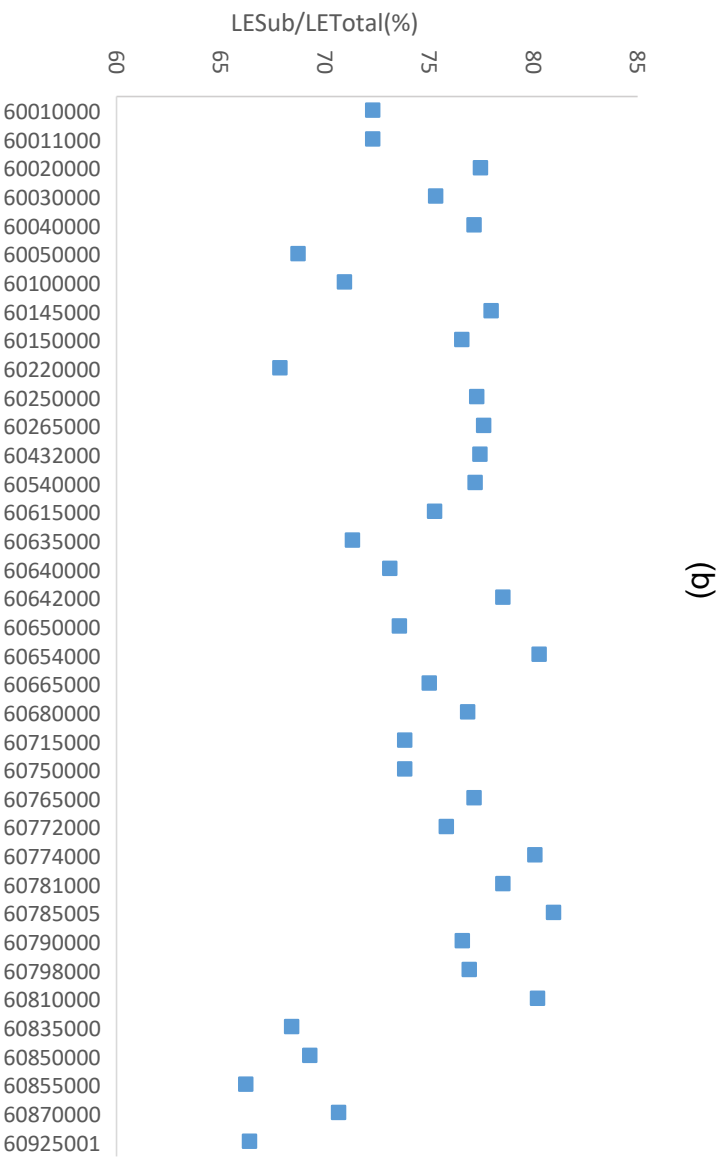
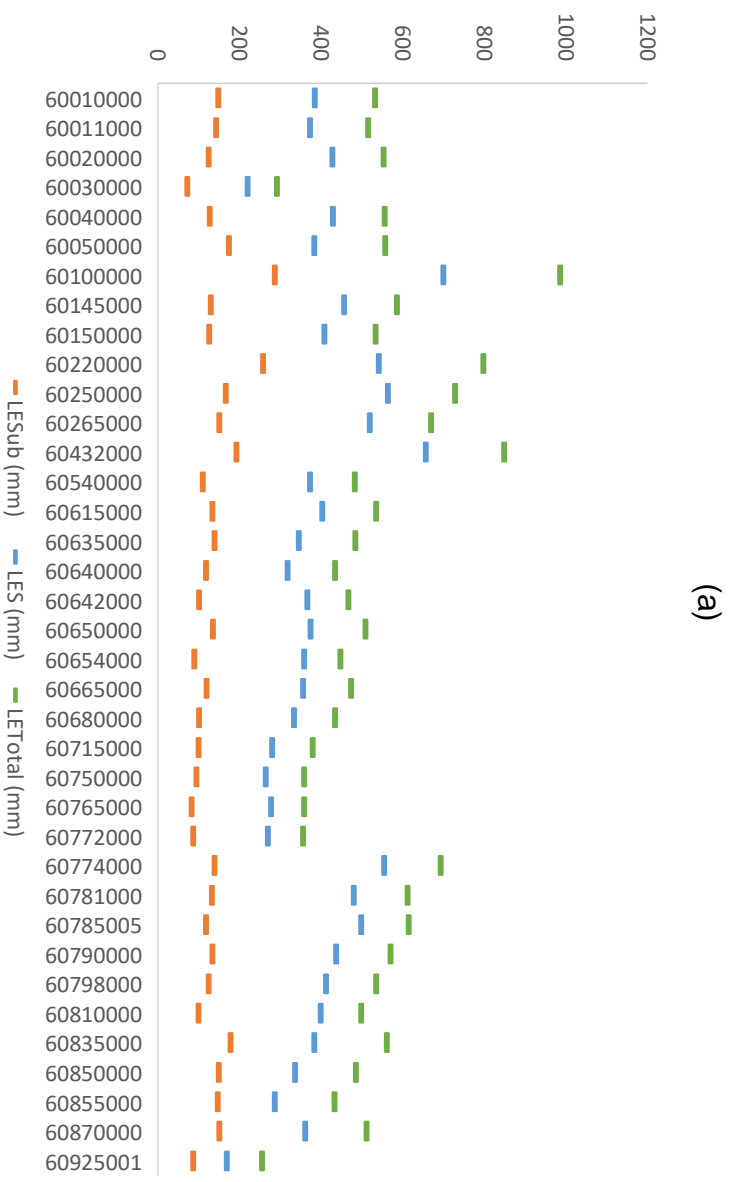


Figura 35: Lâmina média anual (a) e relação anual entre escoamento subterrâneo e escoamento superficial total (b) para cada uma das 37 estações fluviométricas da bacia do Paranaiíba.

Pode-se observar na Figura 35(a) que a LES variou de 72 a 286 mm, a LESub variou de 168 a 698 mm e a LETotal de 254 a 985 mm. Como mencionado em relação aos resultados obtidos para a bacia do Grande, essa variação reflete a grande variabilidade dos valores entre as estações reflete a influência de diversos fatores que condicionam o processo de circulação da água na bacia hidrográfica, como, por exemplo, as condições hidrogeológicas, as condições de uso e ocupação do solo, a pedologia, a magnitude de precipitação e a sazonalidade de vazões.

As proporções de escoamento subterrâneo em relação ao escoamento superficial total ficaram bem próximas às da bacia do Grande, Figura 35(b), oscilando entre 66 a 80%, o que permite concluir que, em média, 74% do escoamento superficial total anual é advindo do escoamento subterrâneo, indicando boas condições de infiltração de água na bacia.

Como o objetivo do presente estudo é propor uma cobrança diferenciada mensalmente pelo uso da água, na Figura 36 estão representados os valores de R_{EST} para as 49 estações fluviométricas. As linhas que ligam os marcadores não indicam continuidade dos valores, sendo utilizadas apenas para facilitar a visualização da variação das proporções.

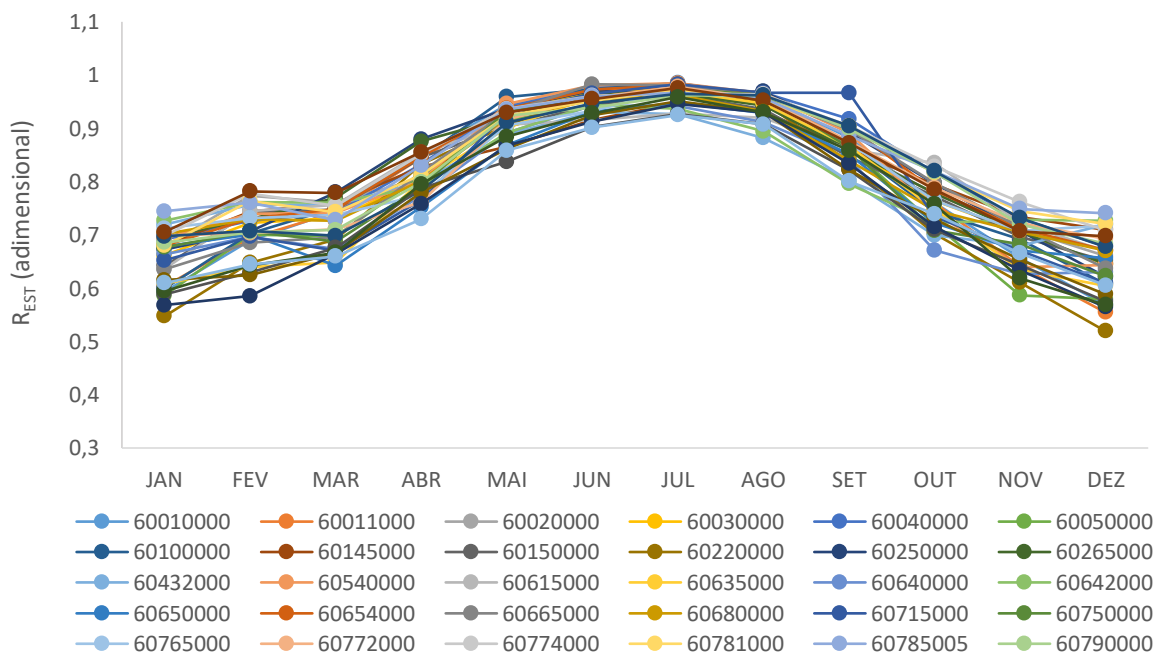


Figura 36: Valores das R_{EST} obtidos para as 37 estações fluviométricas analisadas.

Pode-se observar na Figura 36 que apesar das distintas magnitudes apresentadas pelas estações fluviométricas, estas apresentaram um comportamento

similar ao longo do ano. Os valores de R_{EST} , como ocorreu na bacia do Grande, apresentaram maior variação durante o período chuvoso devido o incremento da LES e aumento da LET_{Total} , em contrapartida, no período de estiagem a contribuição se deve basicamente do lençol freático, logo, a variação dos valores de R_{EST} foi menor.

Os valores das R_{EST} variaram de 0,52 a 0,98, sendo estes valores associados aos meses de dezembro e julho, respectivamente. A variação dos valores de R_{EST} na bacia do Paranaíba foi bastante semelhante aos da bacia do Grande, o que mostra a potencialidade de aplicação da metodologia e de um coeficiente multiplicador que leve em consideração o manancial de captação.

4.2.1.5 Aplicação do fator manancial de captação

A partir dos valores mensais das R_{EST} estimou-se, para cada mês, uma média das relações entre a lâmina de escoamento subterrâneo e a lâmina de escoamento superficial total para as 37 estações fluviométricas, como pode ser visto na Figura 37. Associados aos valores médios da R_{EST} observa-se os intervalos de confiança com 95% de probabilidade, representados pelas barras cinzas.

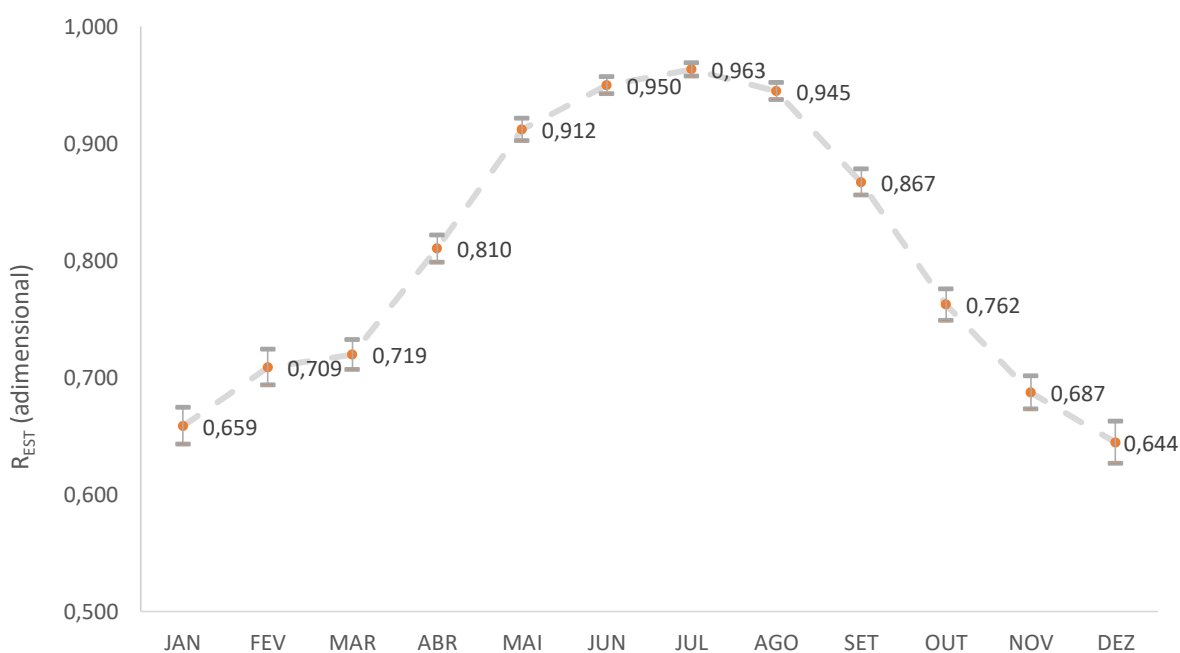


Figura 37: Médias mensais das R_{EST} associadas aos intervalos de confiança para as 37 estações fluviométricas.

Pode-se observar que os maiores valores de R_{EST} ocorreram no período de maio a setembro, isso ocorre devido a recessão do escoamento subterrâneo e um declínio proporcionalmente maior da LET_{Total} . Nos mais chuvosos há uma redução dos valores de R_{EST} devido ao incremento do escoamento superficial na formação da LET_{Total} , e, por esse mesmo motivo ocorre uma maior amplitude do intervalo de confiança.

O comportamento sazonal esperado dos valores de R_{EST} para a bacia do Paranaíba apresentou bastante similaridade com o comportamento da bacia do Grande, diferindo apenas quantitativamente.

A partir dos valores médios mensais dos valores de R_{EST} foi estimado o fator manancial de captação (F_{MC}) para a bacia do Paranaíba

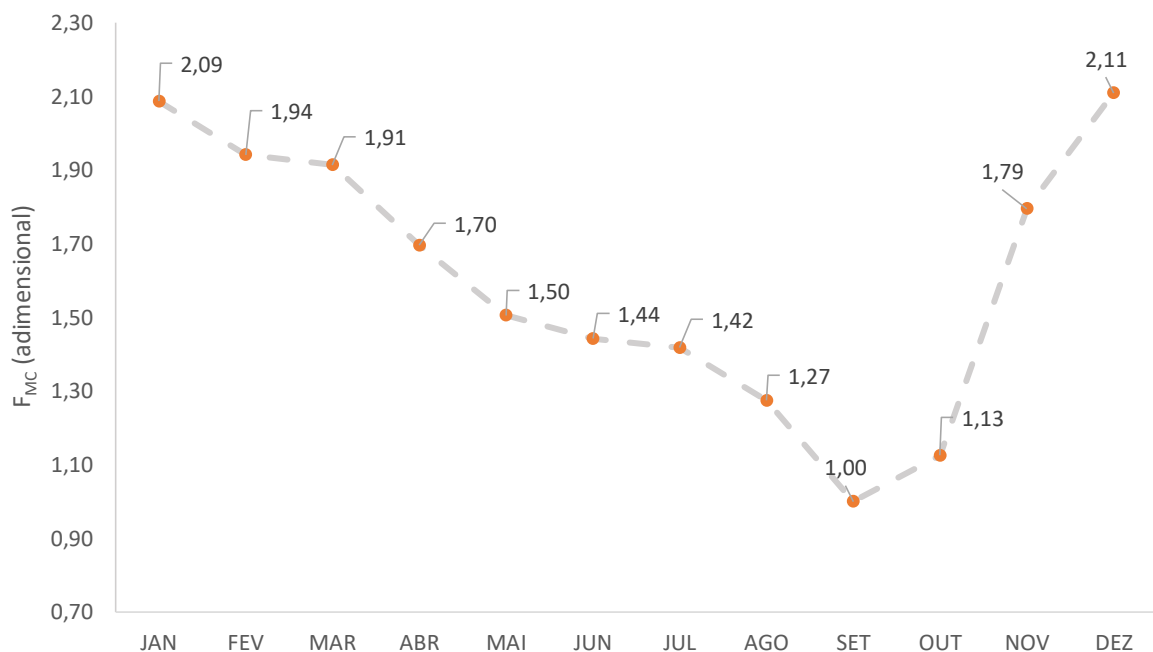


Figura 38: Valores mensais do fator manancial de captação.

Pode-se observar na Figura 38 que os maiores custos pela utilização da água subterrânea ocorrem no período chuvoso, devido a abundância da água superficial. À medida que ocorre a recessão do escoamento subterrâneo, e cessa a contribuição do escoamento superficial direto ocorre uma diminuição dos valores do F_{MC} , uma vez que as vazões são sustentadas basicamente pela contribuição subterrânea.

Os meses de setembro e outubro apresentaram as maiores frequências de ocorrência de vazões mínimas da bacia (Figura 32), sendo que o mês de outubro apresentou a maior frequência de ocorrência, 37,6%. De acordo com a 2ª e 3ª aproximações do fator manancial, propostas na metodologia, torna-se contraditório o aumento do valor da água subterrânea nos meses em que a disponibilidade hídrica superficial é mínima e o escoamento superficial total é sustentado basicamente pelo escoamento subterrâneo, o que justifica a mudança do F_{MC} do mês de outubro para um valor igual a unidade.

O mês de novembro apesar de ainda apresentar uma frequência de ocorrência de vazões mínimas de aproximadamente 10%, apresentou um aumento expressivo do F_{MC} , uma vez que, no mês de novembro já ocorre um aumento do total precipitado e um incremento do escoamento superficial direto.

Os fatores de sazonalidade e manancial de captação estimados para a bacia do Paranaíba apresentaram resultados bastante expressivos quanto à aplicação da metodologia de cobrança pelo uso da água. O comportamento qualitativo sazonal dos fatores foi bastante semelhante aos da bacia do Grande, havendo uma pequena diferença quantitativa, devido a diversos fatores que interferem na circulação da água da bacia.

Sendo assim, a metodologia de cobrança diferenciada pelo uso da água mês a mês, apresenta potencial de ser implementada em outras bacias que apresentam comportamento sazonal similar.

4.2.2 Aplicação da metodologia de valoração da água com base na efetiva demanda hídrica da cultura

4.2.2.1 Identificação de regiões homogêneas quanto ao balanço hídrico

Foi feito o balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência e a precipitação provável com 80% de probabilidade de ocorrência para as 115 estações pluviométricas, para a identificação de regiões homogêneas através da análise de *cluster*. Os *clusters* formados apresentaram uma relação de continuidade geográfica entre si, e a partir da medida de heterogeneidade (Tabela 7), a melhor distribuição das

estações pluviométricas foi em três regiões homogêneas, como pode ser observada na Figura 39.

Nota-se que na região oeste da bacia a evapotranspiração é predominante, enquanto na região leste chove mais que evapotranspira.

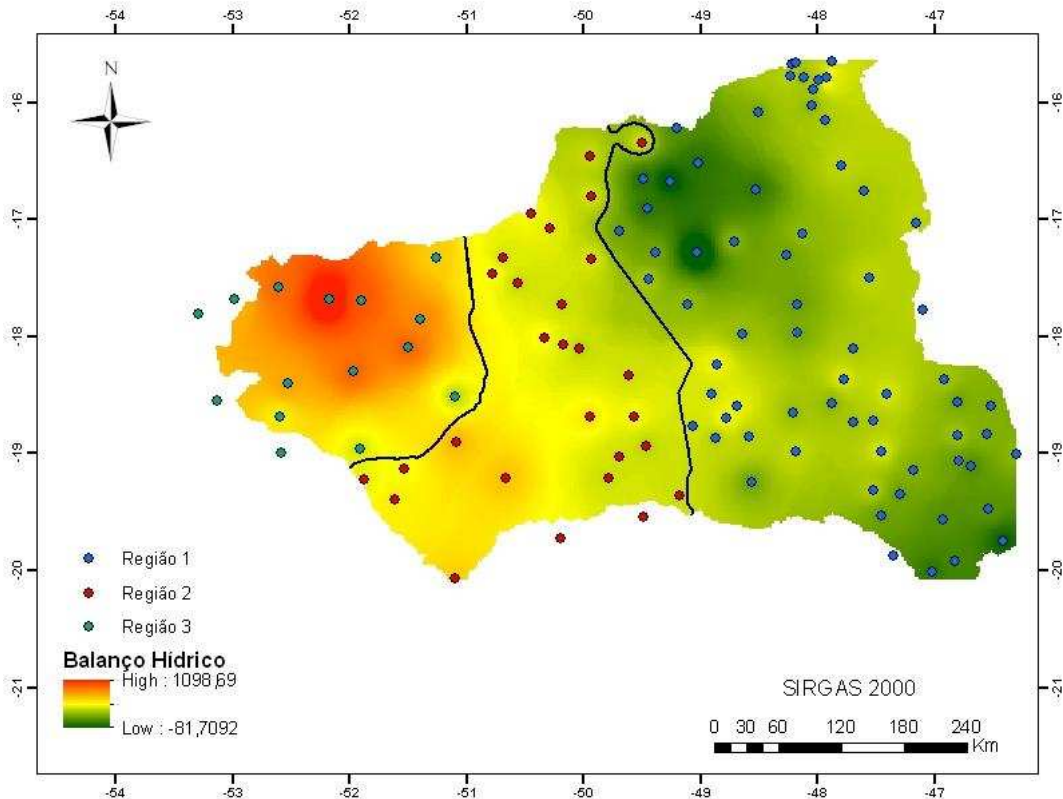


Figura 39: Representação das regiões homogêneas e do balanço hídrico entre a evapotranspiração de referência anual e a precipitação provável total anual para as 115 estações pluviométricas.

Na Tabela 7 estão representados o resultado da medida estatística de heterogeneidade para as duas regiões homogêneas. Hosking e Wallis (1997) sugerem que quando dos valores de (H_1 , H_2 e H_3) forem menores que 1, a região é considerada aceitavelmente homogênea, mas considera o valor de H_1 como principal indicador de heterogeneidade.

Tabela 7: Medidas de heterogeneidade por região homogênea

| Região | Número de estações | H ₁ | H ₂ | H ₃ | Conclusão |
|----------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|
| Região 1 | | -0,20 | -0,22 | -5,14 | Aceitavelmente homogênea |
| Região 2 | | -0,27 | -0,40 | -3,88 | Aceitavelmente homogênea |
| Região 3 | | -0,33 | -0,70 | -3,20 | Aceitavelmente homogênea |

Conforme visto na Tabela 7, as três regiões foram consideradas aceitavelmente homogêneas. Desta forma, foi feito o balanço hídrico específico para cada região homogênea da bacia do Paranaíba (Figura 40), sendo os valores obtidos pela média do balanço hídrico mensal espacializado para cada região.

Silva e Ferreira (2015) em um estudo sobre a pluviometria e balanço hídrico na bacia do rio Paranaíba, observaram que os meses entre outubro a março possuem os maiores valores de precipitação e temperatura, e ao mesmo tempo são os que ocorrem os maiores índices mensais de evapotranspiração. Mas, que apesar da alta demanda evapotranspirométrica no período chuvoso, as chuvas são capazes de superá-la, resultando na reposição de água no solo, ocorrendo excedente hídrico. Isso pode ser observado na Figura 40, onde os menores valores de déficit hídrico ocorrem de novembro a março, ocorrendo excesso hídrico em alguns meses.

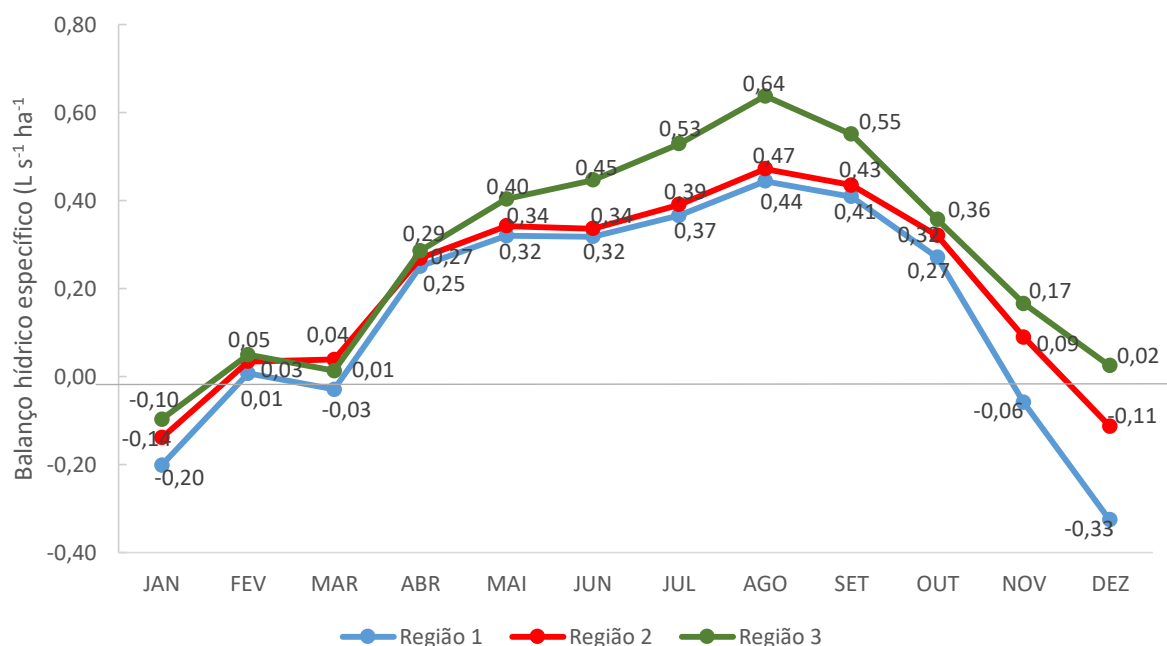


Figura 40: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas.

Pode-se observar na Figura 40 que as regiões 1 e 2 apresentaram bastante similaridade entre os valores de déficit hídrico ao longo do ano, somente nos meses de novembro e dezembro houve maiores diferenças, devido a maior variação que se tem da precipitação nesse período. A região 3 apresentou os maiores valores de déficit hídrico entre os meses de maio e novembro se comparada às outras regiões.

Observa-se na Figura 41 que a partir do mês de março tem-se um declínio acentuado do total precipitado, isso está diretamente relacionado ao comportamento do déficit hídrico na Figura 40, que a partir de março sofrem uma ascensão acentuada. No período de abril a setembro chove apenas 17% da precipitação média anual da bacia (Figura 30) mostrando que a evapotranspiração é a variável governante do valor do déficit hídrico nesse período.

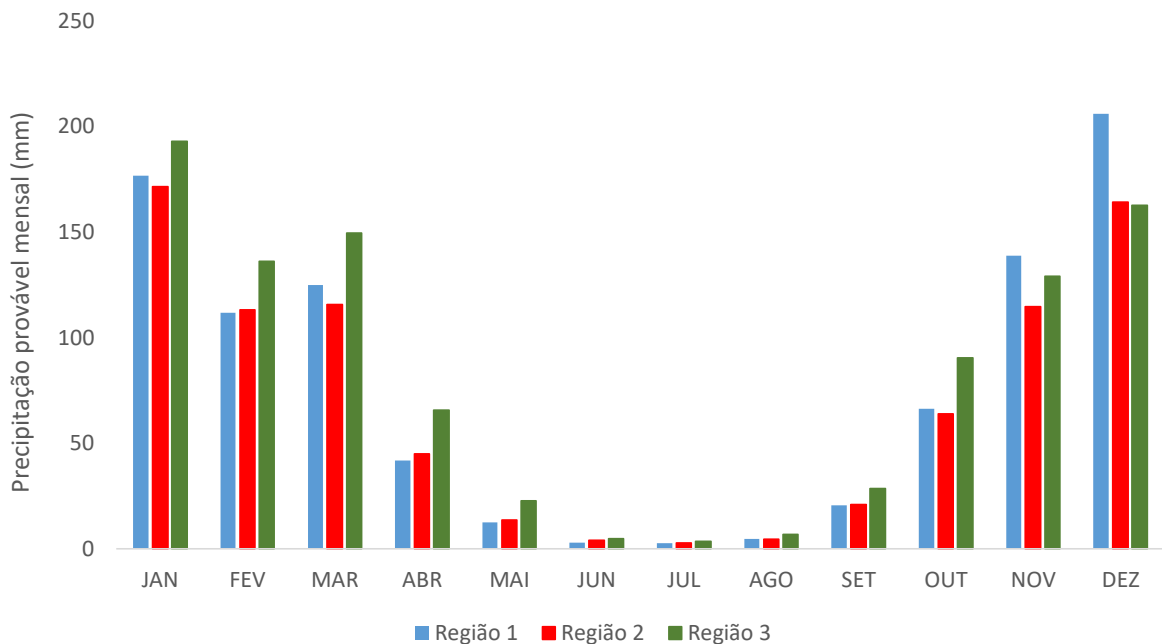


Figura 41: Precipitações prováveis mensais com 80% de probabilidade de ocorrência, obtidas na área de drenagem da bacia do Grande para as 115 estações pluviométricas.

Considerando a diferença observada entre as regiões homogêneas quanto ao déficit hídrico, pode-se inferir há diferentes necessidades de suplementação hídrica para cada região. A seguir foi feita uma aplicação do fator de uso da água para a região homogênea 3 da bacia do Paranaíba considerando as principais culturas da bacia, uma vez que essa região apresentou o maior déficit de água da bacia.

4.2.2.2 Aplicação do fator de uso da água na irrigação

4.2.2.2.1 Soja

Para a estimativa da vazão unitária necessária para a cultura da soja para a bacia do Paranaíba foram utilizados os mesmos 12 calendários de cultivo da bacia do Grande (Figura 20).

Na Tabela 8 estão representados os valores da vazão demandada pela cultura da soja estimada pela equação 36, considerando 12 calendários de cultivo e os respectivos estádios de desenvolvimento apresentados na Figura 20. A linha correspondente ao $q_{u,i (max)}$ corresponde à máxima vazão unitária necessária à cultura entre os calendários de cultivo propostos.

Tabela 8: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cultura da soja na região hidrologicamente homogênea 3

| Mês de Plantio | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| JAN | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | | | | | | | | |
| FEV | | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,26 | | | | | | | |
| MAR | | | 0,00 | 0,34 | 0,42 | 0,33 | | | | | | |
| ABR | | | | 0,11 | 0,51 | 0,49 | 0,40 | | | | | |
| MAI | | | | | 0,30 | 0,57 | 0,58 | 0,47 | | | | |
| JUN | | | | | | 0,38 | 0,68 | 0,70 | 0,36 | | | |
| JUL | | | | | | | 0,45 | 0,82 | 0,58 | 0,05 | | |
| AGO | | | | | | | | 0,54 | 0,70 | 0,29 | 0,00 | |
| SET | | | | | | | | | 0,42 | 0,42 | 0,04 | 0,00 |
| OUT | 0,00 | | | | | | | | | 0,12 | 0,16 | 0,00 |
| NOV | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | 0,00 |
| $q_{u,i (max)}$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,51 | 0,57 | 0,68 | 0,82 | 0,70 | 0,42 | 0,16 | 0,00 |

Pela análise do comportamento das vazões máximas unitárias ao longo do ano, pode-se inferir que os maiores valores ocorrem de junho a setembro, o que pode ser comprovado pelos maiores valores de déficit hídrico que ocorrem nesses meses (Figura 40).

Fazendo uma analogia com o comportamento sazonal das vazões (Figura 31), e considerando o critério de definição dos meses de menores disponibilidades um valor limite de $RVM_{M/A}$ igual a 1,5, pode-se observar que os meses que apresentaram

menor disponibilidade hídrica foram agosto, setembro, outubro e novembro. Os meses de outubro e novembro apesar de não apresentarem as maiores vazões demandadas pela cultura ao longo do ano, apresentam uma baixa disponibilidade hídrica.

Dessa forma, foi feito o primeiro ajuste para os valores mensais de $q_{u,i}$ conforme visto na metodologia, que consistiu na desestimulação do uso da água para irrigação no período em que ocorre menor disponibilidade hídrica na bacia. Logo, para os meses de agosto a novembro os valores da vazão unitária necessária com fator de restrição ($q_{u,i (rest)}$) foram 0,66; 0,54; 0,25; e 0,00 L s⁻¹ ha⁻¹, respectivamente.

O segundo ajuste consistiu na correção dos valores nulos de $q_{u,i}$ que ocorrem nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Como dito anteriormente, a utilização desses valores nulos na equação 36 para determinação do fator F_{ui} resultaria em valores infinitos. Além disso, verificou-se a presença de decêndios com déficit hídrico nesses meses, onde a evapotranspiração de referência foi superior à precipitação provável em 61,5; 49,6; 48,1; 51,6 e 50,7% dos casos, respectivamente.

Considerando as mesmas adaptações do valor de K_c que foram colocadas para a bacia do Grande, estimou-se as máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico ($q_{u,i (rest. corrig.)}$), com intuito de atender ao déficit hídrico decendial em 80% do tempo nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo os valores 0,12; 0,19; 0,18; 0,27 e 0,15 L s⁻¹ ha⁻¹, respectivamente.

Na Figura 42 são mostrados os valores das máximas vazões unitária necessária $q_{u,i (max.)}$, e dos ajustes propostos ($q_{u,i (rest.)}$ e $q_{u,i (rest. corrig.)}$).

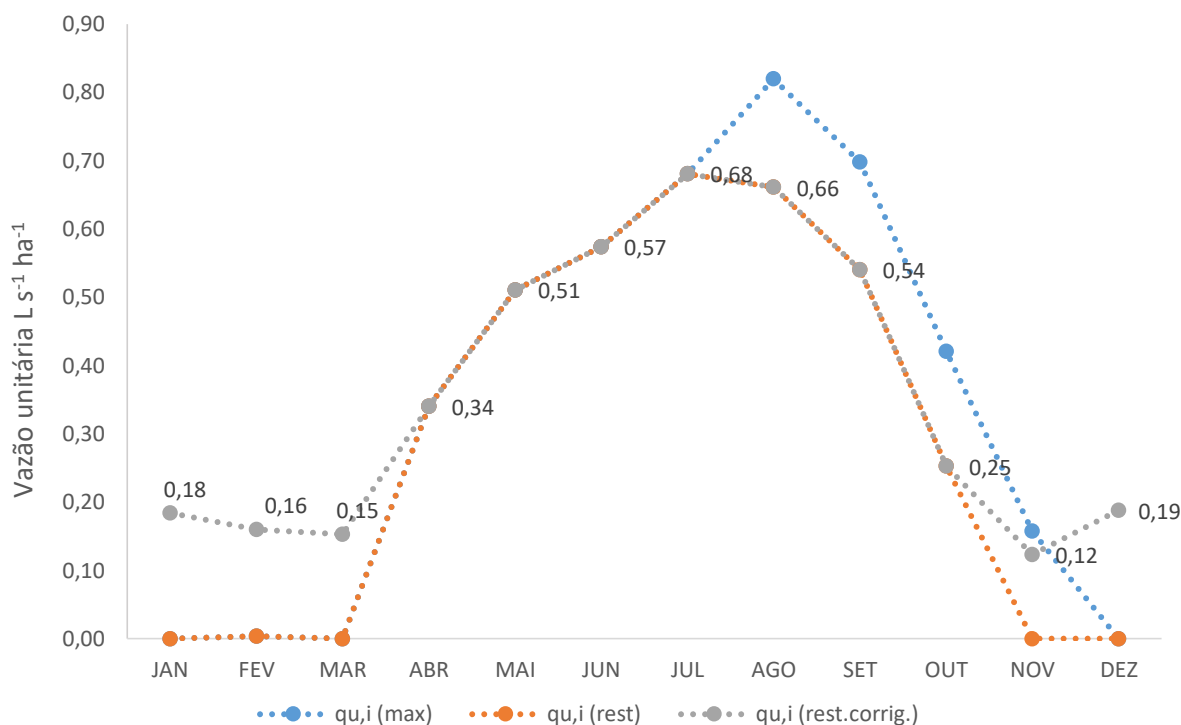


Figura 42: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba.

Os ajustes propostos ao valor de $q_{u,i} (max.)$ permitiram um uso mais racional da água no período em que se tem menor disponibilidade hídrica e nos meses que se tem excesso hídrico, uma vez que através dos valores de $q_{u,i} (rest.)$ houve uma diminuição das vazões demandadas nos meses de agosto a novembro, e um aumento dos valores das vazões demandadas nos meses de novembro a março, através dos valores de $q_{u,i} (rest. corrig.)$.

4.2.2.2 Cana-de-açúcar

Para estimativa das vazões demandadas necessárias para a cultura da cana-de-açúcar foram utilizados os mesmos calendários de cultivo e os respectivos estádios de desenvolvimento apresentados Figura 22 para a bacia do Grande.

Na Tabela 9 estão representadas as vazões unitárias necessárias para a irrigação da cana-de-açúcar ao longo do ano, na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba. A linha correspondente a $q_{ui} (máx.)$ corresponde à máxima vazão unitária necessária entre os calendários de cultivo considerados.

Tabela 9: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação da cana-de-açúcar na região hidrologicamente homogênea 3

| Mês de Plantio | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| JAN | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,48 | 0,69 | 0,74 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 0,17 | 0,00 |
| FEV | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,63 | 0,74 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 0,40 | 0,00 |
| MAR | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,58 | 0,69 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 0,40 | 0,20 |
| ABR | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,43 | 0,64 | 0,82 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 0,40 | 0,20 |
| MAI | 0,03 | 0,21 | 0,00 | 0,16 | 0,22 | 0,50 | 0,76 | 0,99 | 0,94 | 0,68 | 0,40 | 0,20 |
| JUN | 0,03 | 0,21 | 0,17 | 0,35 | 0,35 | 0,30 | 0,59 | 0,92 | 0,86 | 0,68 | 0,40 | 0,20 |
| JUL | 0,03 | 0,21 | 0,17 | 0,54 | 0,52 | 0,42 | 0,36 | 0,71 | 0,80 | 0,60 | 0,40 | 0,20 |
| AGO | 0,03 | 0,21 | 0,17 | 0,54 | 0,69 | 0,58 | 0,50 | 0,43 | 0,59 | 0,52 | 0,33 | 0,20 |
| SET | 0,03 | 0,21 | 0,17 | 0,54 | 0,69 | 0,74 | 0,69 | 0,60 | 0,31 | 0,30 | 0,26 | 0,12 |
| OUT | 0,00 | 0,21 | 0,17 | 0,54 | 0,69 | 0,74 | 0,88 | 0,83 | 0,48 | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| NOV | 0,00 | 0,15 | 0,17 | 0,54 | 0,69 | 0,74 | 0,88 | 1,06 | 0,71 | 0,18 | 0,00 | 0,00 |
| DEZ | 0,00 | 0,09 | 0,10 | 0,54 | 0,69 | 0,74 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 0,43 | 0,00 | 0,00 |
| $q_{ui} (máx.)$ | 0,03 | 0,21 | 0,17 | 0,54 | 0,69 | 0,74 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 0,68 | 0,40 | 0,20 |

Observa-se que as maiores vazões demandadas pela cultura da cana-de-açúcar ocorrem de junho a setembro. Considerando o critério de definição dos meses com menores disponibilidades hídricas o valor limite da $RVM_{M/A}$ de 1,5, conforme proposto na metodologia, o primeiro ajuste aos valores $q_{ui} (máx.)$ foi proposto aos meses de agosto a novembro, mesmo que não houve correspondência total entre os meses que apresentaram maior vazão demandada com os meses com menor disponibilidade hídrica.

Assim, com intuito de desestimular o uso da água na irrigação nesse período com menor disponibilidade hídrica, os valores estimados da vazão unitária necessária com fator de restrição ($q_{u,i} (rest)$) para os meses de agosto a novembro foram, 0,85; 0,73; 0,45; e 0,19 $L s^{-1} ha^{-1}$, respectivamente.

O segundo ajuste que consistiu na correção dos baixos valores de $q_{u,i}$ que ocorrem nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Seguindo um procedimento similar ao descrito para a cultura da cana-de-açúcar para a bacia do Grande, foram estimados os valores de ($q_{u,i} (rest. corrig.)$) para os meses de novembro a março, sendo iguais a 0,16; 0,22; 0,22; 0,19 e 0,18 $L s^{-1} ha^{-1}$. Os valores correspondentes aos meses de novembro e fevereiro foram mantidos inalterados em

virtude de serem inferiores a 0,19 e 0,21 L s⁻¹ ha⁻¹ correspondente ao $q_{u,i} (rest)$, respectivamente.

Na Figura 43 são mostrados os valores das máximas vazões unitária necessária $q_{u,i} (max.)$, e dos ajustes propostos ($q_{u,i} (rest.)$ e $q_{u,i} (rest.corrig)$).

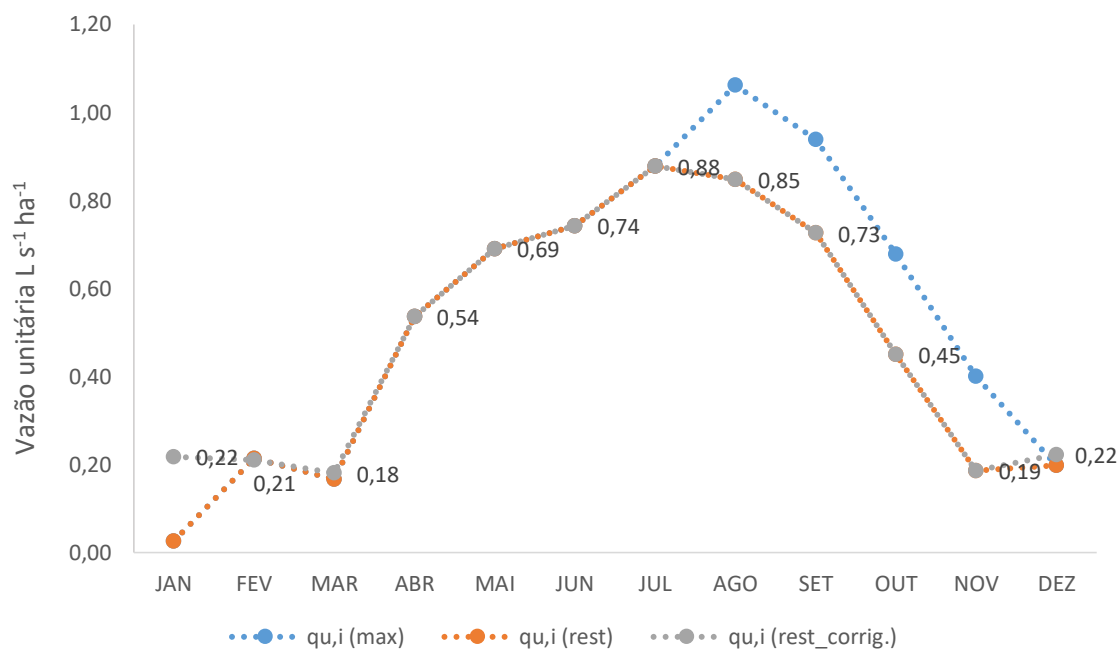


Figura 43: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura da cana-de-açúcar na região hidrológica homogênea 3 da bacia do Paranaíba.

As $q_{u,i} (rest.)$ e $q_{u,i} (rest.corrig)$ estimadas para a região homogênea 3 da bacia do Paranaíba, para a cultura da cana de açúcar, apresentaram os resultados esperados para os aprimoramentos. Em comparação com a bacia do Grande, os valores de $q_{u,i} (rest.)$ foram, em média, 35% superiores nos meses de julho a outubro, o que está relacionado ao maior déficit hídrico na região homogênea 3 da bacia do Paranaíba.

4.2.2.2.3 Café

A $q_{u,i} (max)$ foi estimada para a cultura do café, mas sendo esta uma cultura permanente, tem-se um único valor de K_c ao longo do ano, logo, as datas de plantio foram mantidas constantes, o que pode ser visto na Tabela 10 quando os valores de $q_{u,i} (max)$ são os mesmos da linha anterior.

Tabela 10: Vazão unitária necessária ($L s^{-1} ha^{-1}$) para irrigação do café na região hidrologicamente homogênea 3

| Mês de plantio | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Jan-Dez | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,50 | 0,56 | 0,67 | 0,80 | 0,68 | 0,40 | 0,14 | 0,00 |
| $q_{u,i}$ (máx.) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,50 | 0,56 | 0,67 | 0,80 | 0,68 | 0,40 | 0,14 | 0,00 |

Devido ao fato da cultura do café apresentar um K_c fixo durante todo o ano, o primeiro ajuste dos valores de $q_{u,i}$ não foi aplicado. O aprimoramento dos valores de $q_{u,i}$ se baseou apenas no 2º ajuste que consiste na estimativa de uma vazão unitária necessária à cultura para o atendimento do déficit hídrico ($q_{u,i}$ corrig) nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março devido aos valores nulos.

Da mesma forma que a cultura da banana na bacia do Grande, não há distinção do valor de K_c para os meses de dezembro à fevereiro em questão. Assim, considerando o valor de K_c igual a 0,9, os valores de $q_{u,i}$ corrig para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram, 0,17; 0,17 e 0,15 $L s^{-1} ha^{-1}$. Na Figura 44 estão apresentados os valores de $q_{u,i}$ (máx.) e $q_{u,i}$ (corrig.) estimados para a cultura do café.

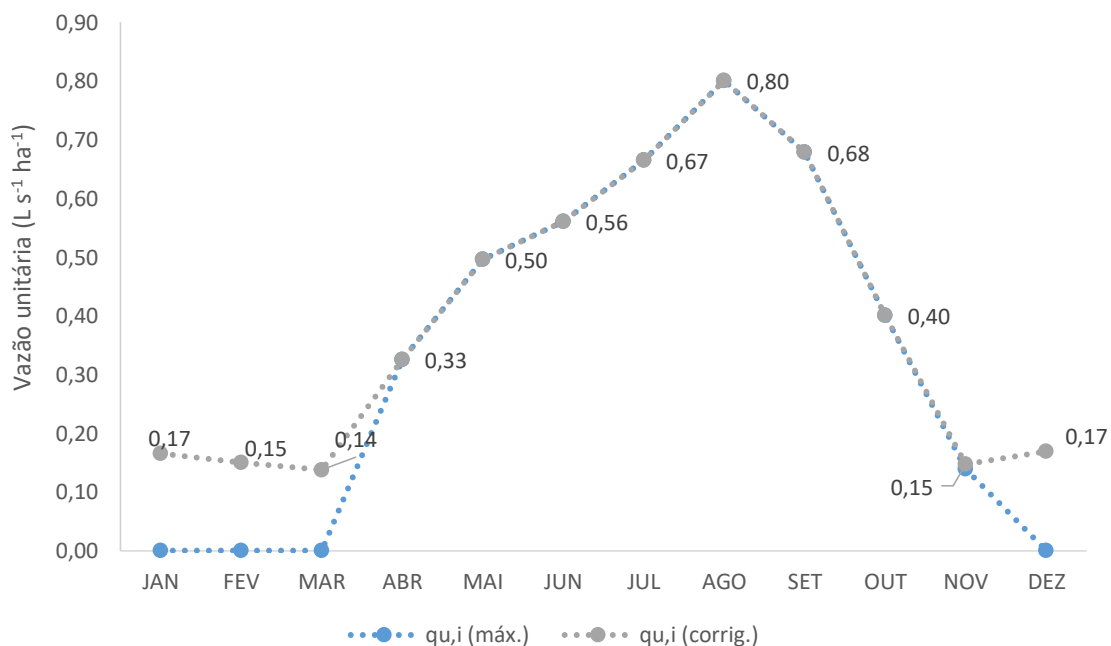


Figura 44: Vazões unitárias necessárias para a irrigação da cultura do café na região hidrologicamente homogênea 3 da bacia do Paranaíba.

4.2.3 Critério de cobrança pelo uso da água de acordo a regularização de vazões

4.2.3.1 Impacto do efeito das alterações propostas para a condição de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do Paranaíba

Assim como para a bacia do Grande, foi aplicado o critério relacionado ao uso da água regularizada para a bacia do Paranaíba. Como descrito na metodologia, o valor da água regularizada foi baseado no fator de sazonalidade, considerando o mês de maior disponibilidade hídrica da bacia. Para a bacia do Paranaíba o valor de desconto pelo uso da água em condições de regularização foi de 0,33, correspondente ao mês de março.

4.2.3.2 Aplicação da metodologia com base na legislação atual

Foi feita a análise do aumento da disponibilidade hídrica para a bacia do Paranaíba, quando da mudança do percentual permissível para outorga de 50% da $Q_{7,10}$, condição a fio'd'água, para $Q_{mid} - 50\%Q_{7,10}$, condição com a regularização de vazões. Por indisponibilidade de dados, a análise foi feita apenas referente à região mineira da bacia do Paranaíba (Figura 45).

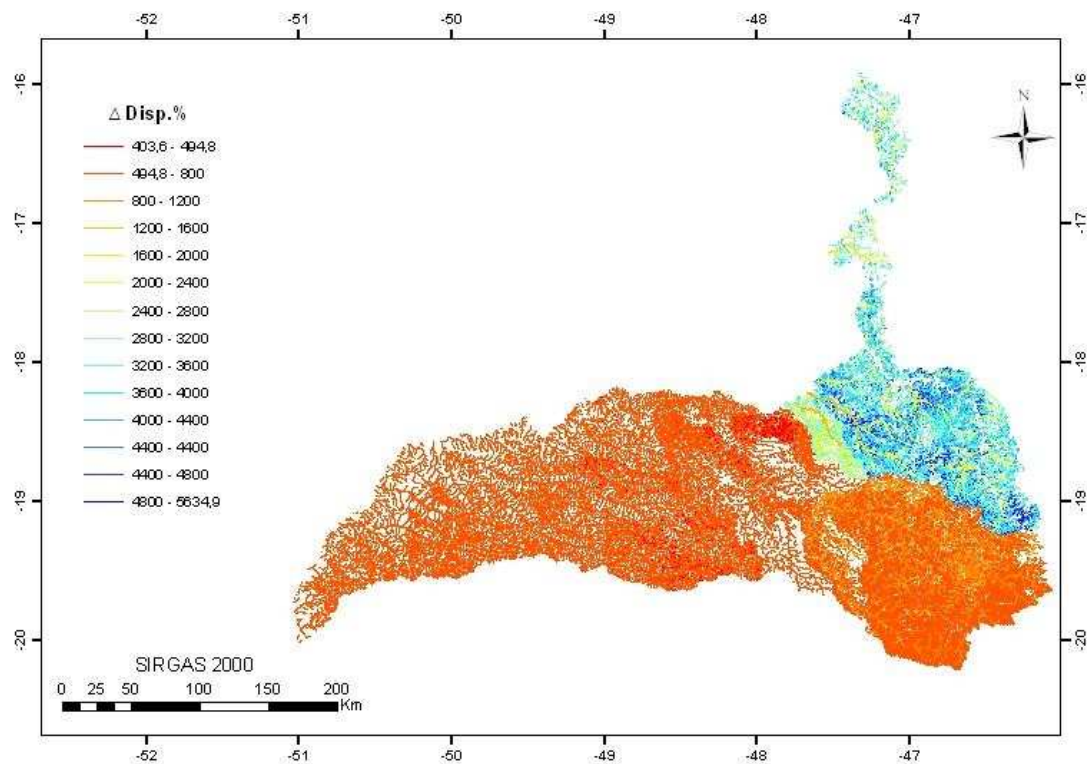


Figura 45: Incremento da disponibilidade hídrica devido a alteração da vazão permissível para outorga da condição a fio d'água para a condição de regularização de vazões.

Pode-se observar que houve um aumento da vazão outorgada de 403 a 5630% aproximadamente, quando da mudança do critério de outorga em condições a fio d'água, para condições de regularização. Além disso o aumento da disponibilidade hídrica ocorreu de forma mais acentuada na região sudeste da bacia, o que relacionada as regiões de cabeceira, como explicado anteriormente para a bacia do Grande.

4.2.3.3 Aplicação da metodologia com base na alteração da vazão mínima residual

Na Figura 26 pode-se observar o mapa do aumento da disponibilidade hídrica quando da mudança do critério de outorga de 50% da $Q_{7,10}$, para $Q_{mld} - Q_{7,10}$, apenas para a parte mineira da bacia do Paranaíba, como explicado anteriormente.

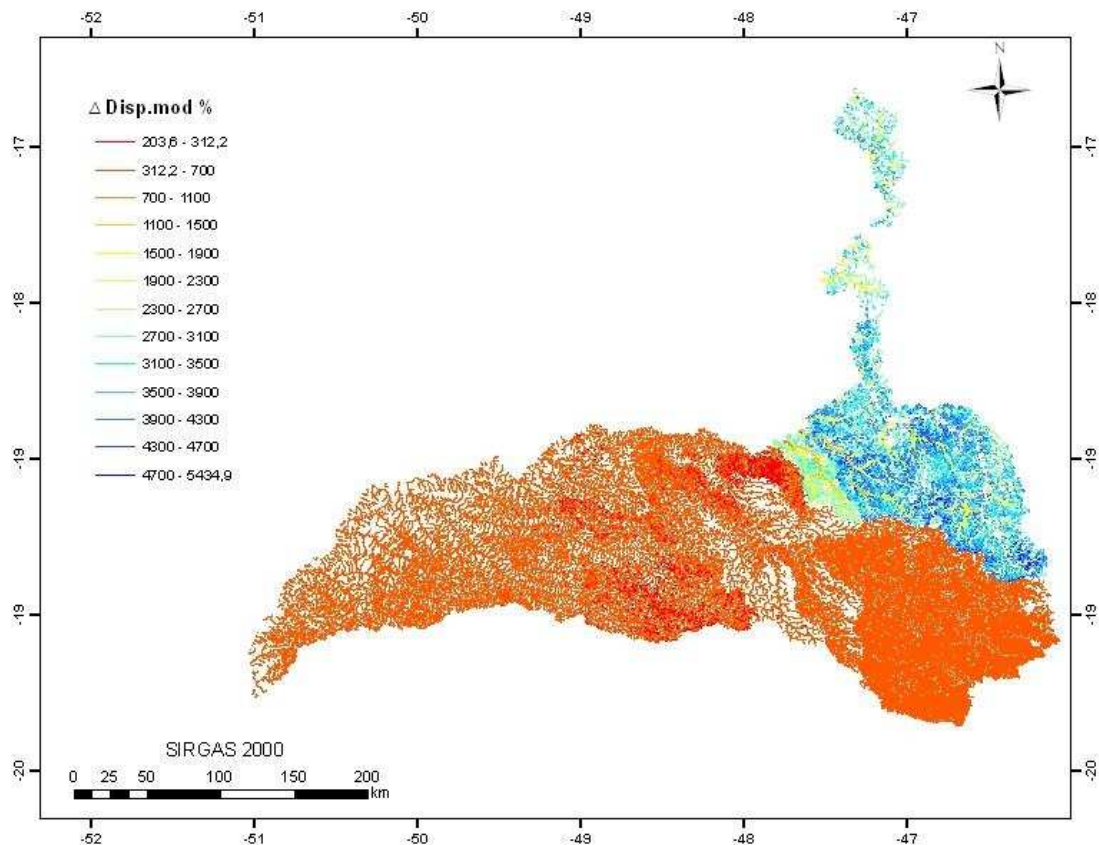


Figura 46: Incremento da disponibilidade hídrica quando da construção de reservatórios de regularização considerando a proposição de alteração da vazão mínima residual para essas condições.

Observa-se que com a mudança da vazão mínima residual de 50% da $Q_{7,10}$ para 100% da $Q_{7,10}$ houve uma diminuição da disponibilidade hídrica da bacia se comparada a Figura 45, no entanto, pode-se observar ainda um grande aumento da disponibilidade, 204 a 5430%, aproximadamente. A alteração da vazão mínima residual potencializa o aumento da disponibilidade hídrica regularizada na bacia, e ao mesmo tempo mantém as condições ambientais a fio d'água.

4.3 Análise comparativa dos resultados obtidos nas bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu referentes às metodologias de cobrança pelo uso da água

Os resultados referentes às bacias do Grande e Paranaíba foram apresentados ao longo deste trabalho. Para a bacia do Paracatu os resultados referentes aos fatores de sazonalidade e do uso da água na irrigação foram propostos por Ramos (2016), enquanto os resultados dos fatores manancial de captação e deplecionamento pelo uso da água em condições de regularização foram propostos por Ribeiro (2016). Neste item é apresentada a comparação dos resultados obtidos nestas três bacias.

4.3.1 Fator de sazonalidade

Para analisar o incremento das vazões mínimas mensais em relação à vazão mínima anual para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu foi necessário analisar a variação das precipitações médias mensais ao longo do ano, bem como as médias mensais das vazões específicas mínimas e as médias mensais dos valores de R_{EST} para as três bacias.

Na Figura 47 são apresentadas as precipitações médias mensais para as três bacias, que tiveram um comportamento similar quanto à precipitação média mensal, sendo que a bacia do Paracatu apresentou, em média, um valor de cerca de 10% inferior às outras duas bacias.

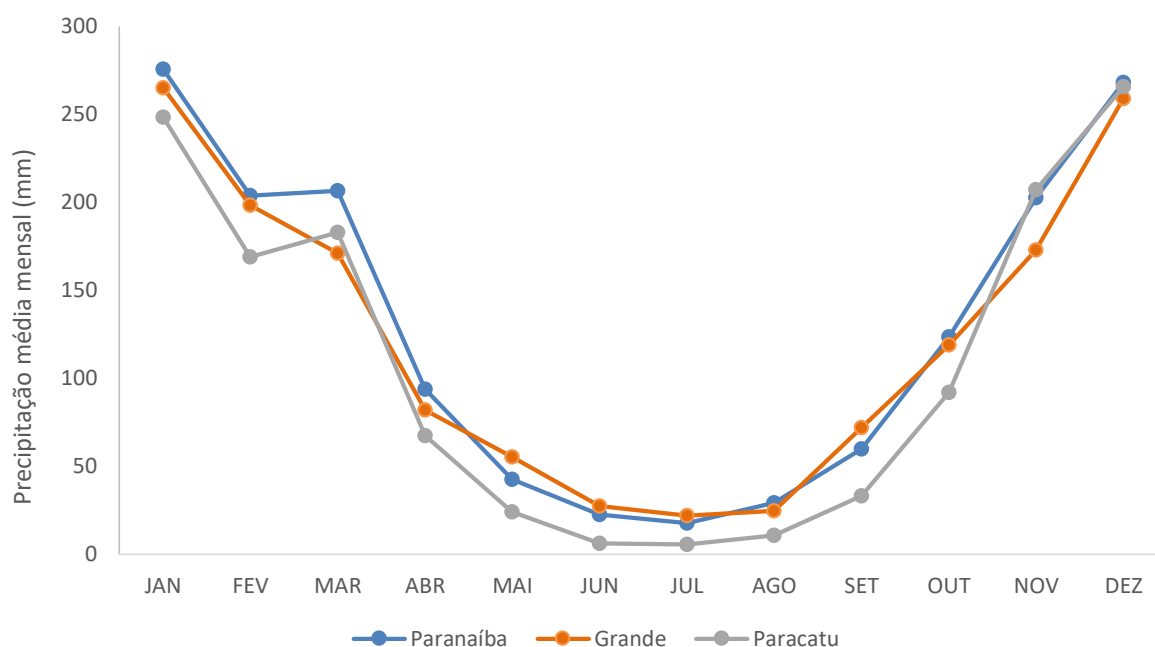


Figura 47: Precipitações médias mensais obtidas na área de drenagem das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

As diferenças entre os totais precipitados nas bacias não refletem toda a diferença de magnitude que ocorre entre as vazões específicas mínimas da bacia do Paracatu em relação às outras bacias (Figura 48), sendo que as vazões específicas mínimas ($q_{7,10}$) mensais na bacia do Paracatu foram sempre inferiores à metade das $q_{7,10}$ mensais obtidas nas bacias do Grande e Paranaíba.

Dessa forma, além de analisar o total precipitado nas bacias, deve-se também considerar que nem toda precipitação que ocorre na bacia é convertida em escoamento na calha do rio. Para que haja o aumento do escoamento subterrâneo, principal componente para formação do escoamento na calha do rio no período de estiagem, é necessário que, primeiramente, a precipitação venha a suprir o déficit de água na zona de aeração.

Pela análise dos coeficientes de escoamento superficial correspondentes às três bacias, e que representam a parcela do total precipitado que chega à hidrografia, tem-se os valores de 28% (PEREIRA et al. 2007) para a bacia do Paracatu e de 29% e 32% para as bacias do Grande e Paranaíba, respectivamente. Estes valores indicam, portanto, que, embora as diferenças não tenham sido expressivas, a bacia do Paracatu foi a que apresentou a maior parcela de evapotranspiração, seguida pelas bacias do Grande e Paranaíba, o que, somado ao efeito da menor precipitação

evidenciada na bacia do Paracatu, auxilia nas explicações das menores vazões específicas encontradas na bacia do Paracatu em relação às demais.

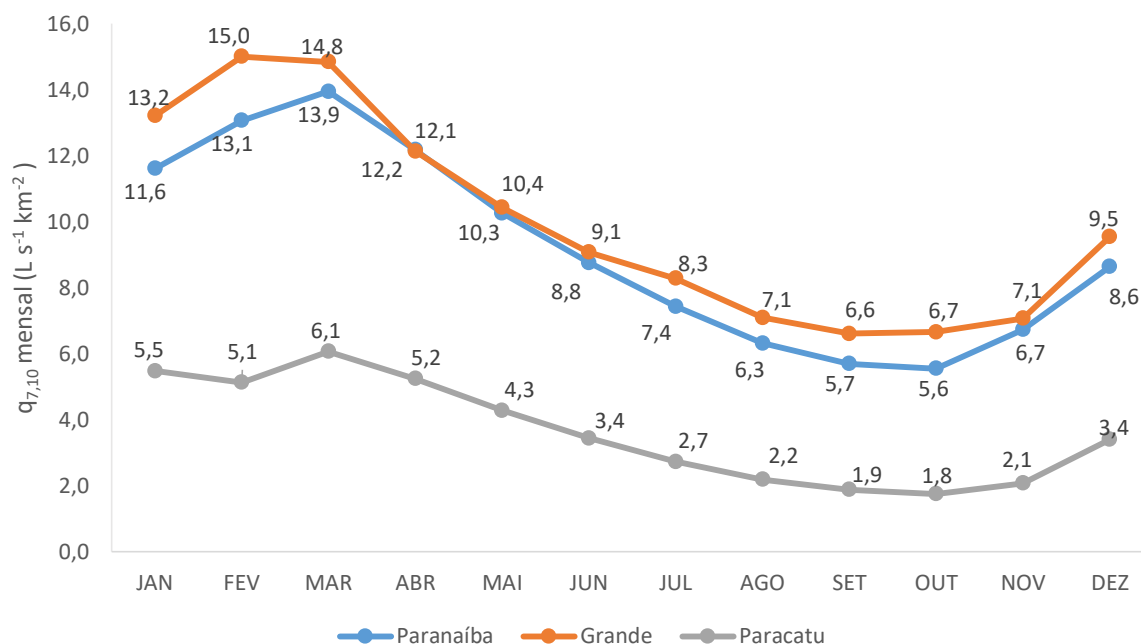


Figura 48: Médias mensais das $q_{7,10}$ para as bacias do Paranaíba, Grande e Paracatu.

Um outro fato que auxilia neste entendimento é a análise do particionamento das vazões evidenciadas na hidrografia em termos de escoamento superficial e subterrâneo, tendo sido estimado que na bacia do Paracatu a proporção do escoamento na hidrografia que corresponde ao escoamento subterrâneo é de 63%, valor bem inferior aos 73 e 74% obtidos nas bacias do Grande e Paranaíba, respectivamente. A bacia do Paracatu foi a que apresentou, portanto, uma maior parcela do seu escoamento associada ao escoamento superficial direto.

Na Figura 49 pode-se observar a variação ao longo do ano dos valores de R_{EST} para as três bacias, enquanto na Figura 50 é analisada a relação entre as vazões mínimas mensais e anual.

Evidencia-se que as diferenças mais acentuadas na relação entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total (R_{EST}) são observadas no período de novembro a abril, comportamento que está associado à menor proporção da precipitação que é convertida em escoamento subterrâneo na bacia do Paracatu, e que corresponde a 63%, enquanto esta proporção é de 73 e 74% nas bacias do Grande e Paranaíba, respectivamente.

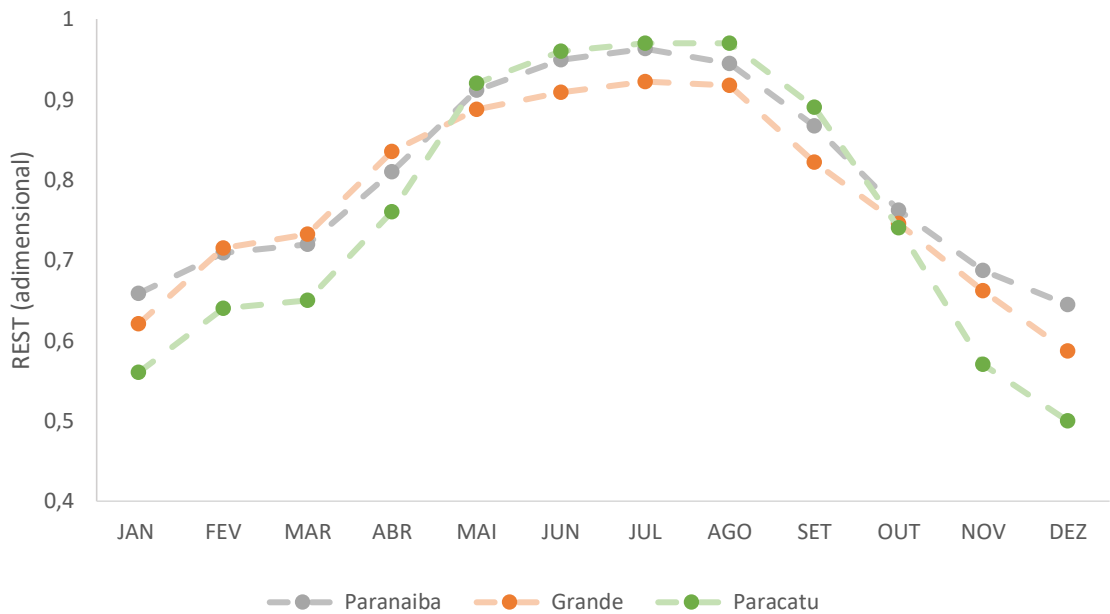


Figura 49: Médias mensais das R_{EST} para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

Embora a proporção da precipitação que é convertida em escoamento subterrâneo seja menor na bacia do Paracatu, a taxa de elevação do lençol freático no período chuvoso e de declínio no período de estiagem é mais acentuada na bacia do Pacaratu, como pode ser visto na Figura 50.

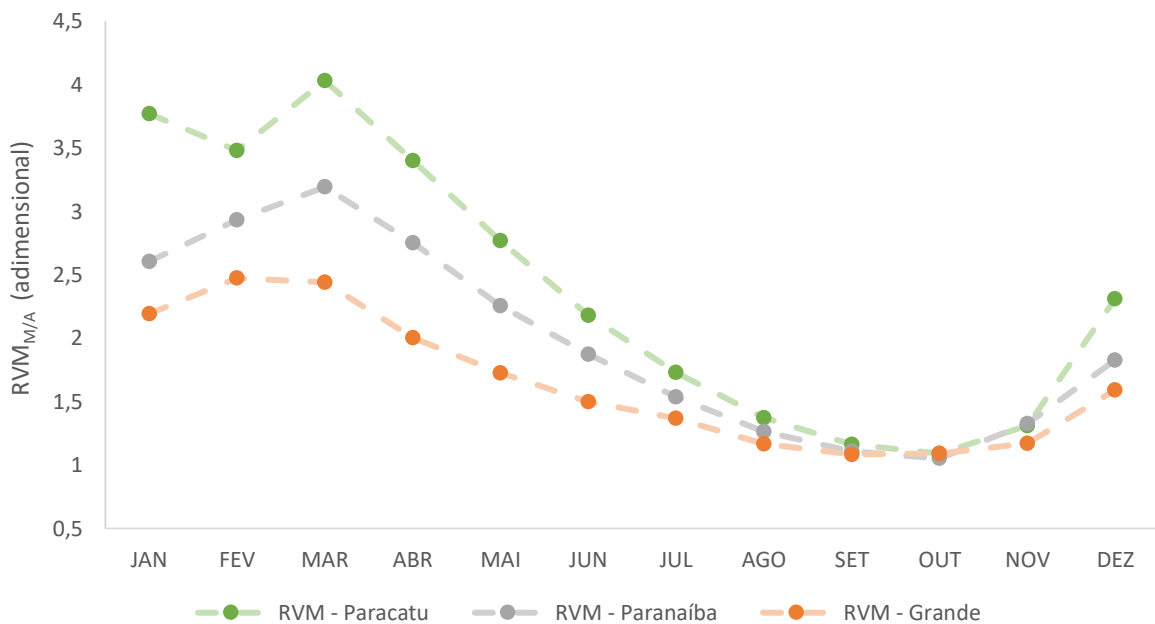


Figura 50: Médias mensais das RVM_{MA} para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

Pode-se observar que a bacia do Paracatu apresentou uma maior amplitude de variação dos valores de $RVM_{M/A}$ ao longo do ano, evidenciando uma maior proporção de ascensão das vazões mínimas no período chuvoso e uma proporção acentuada de declínio no período de estiagem. Isso ocorre porque a partir de dezembro tem-se uma taxa de elevação do lençol freático mais acentuada o que vai ocorrer até o mês de março, entretanto, a partir de março começa a ocorrer uma taxa de declínio bem mais acentuada, fatos estes que estão diretamente relacionados a formação cárstica da bacia do Paracatu, que, segundo Vasconcelos (2014), os aquíferos cársticos da bacia do Paracatu apresenta uma recessão mais acentuada, esgotando-se mais rapidamente.

Dessa forma, como os valores de R_{EST} (Figura 49) estão relacionados a uma proporção entre a lâmina de escoamento subterrâneo e a lâmina de escoamento total, a partir do mês de março mesmo ocorrendo uma taxa de declínio acentuada do lençol freático, há uma maior proporção de decaimento da LE_{total} em relação à LE_{Sub} na bacia do Paracatu, pelo fato de ter cessado o escoamento superficial direto, o que justifica a ascensão acentuada dos valores de R_{EST} nesse período.

A partir dos valores médios mensais da $RVM_{M/A}$ foram calculados, e são apresentados na Figura 51, os valores do fator de sazonalidade para as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

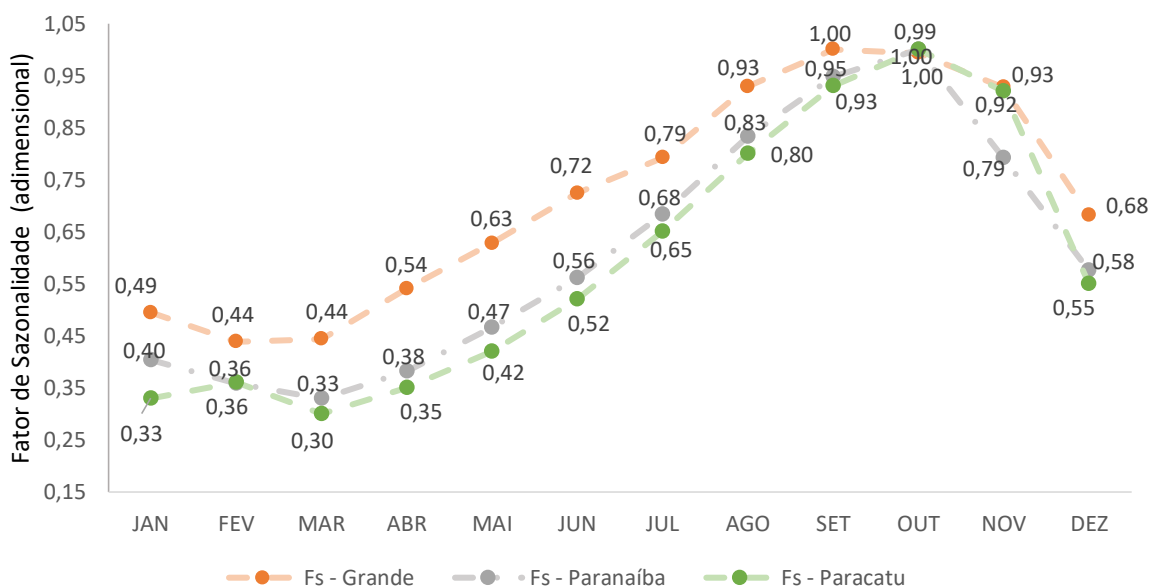


Figura 51: Fator de sazonalidade para as bacias do Grande, do Paranaíba e do Paracatu.

Pode-se observar na Figura 51 que os maiores descontos de cobrança pelo uso da água ocorrem nos meses que apresentaram um maior incremento das vazões mínimas mensais em relação à vazão mínima anual, enquanto que no período de escassez hídrica os valores do F_s se aproximaram da unidade.

O comportamento do fator de sazonalidade foi condizente com a variação sazonal dos valores de $RVM_{M/A}$ (Figura 50), sendo os maiores descontos do F_s associados à bacia do Paracatu (que apresentou maior disponibilidade hídrica), enquanto os menores descontos foram associados à bacia do Grande (que apresentou menor disponibilidade hídrica). Contudo, devido aos aprimoramentos do fator de sazonalidade a curva de variação do F_s para a bacia do Paranaíba se aproximou mais da bacia do Paracatu, como pode ser visto na Figura 51.

Essas diferenças evidenciadas estão relacionadas à 2ª aproximação do fator de sazonalidade, uma vez que a primeira aproximação do fator de sazonalidade se refere apenas a uma inversão dos valores de $RVM_{M/A}$, com intuito de tornar a máxima valoração ao mês de maior escassez. Já a segunda aproximação, como descrito na metodologia, tem como objetivo associar ao mês de menor disponibilidade hídrica um valor unitário. Dessa forma, a utilização do F_s referente ao mês de menor disponibilidade como fator de ajuste ao longo do ano, fez com que os valores do F_s da bacia do Paranaíba se aproximassem mais da bacia do Paracatu.

Todas as diferenças apontadas entre as bacias hidrográficas são referentes às magnitudes das precipitações ocorridas nas bacias, a capacidade de infiltração da água no solo e aos ajustes propostos, sendo aspectos peculiares de cada bacia. No entanto, a metodologia apresenta potencialidade de aplicação quanto ao seu principal objetivo: apresentar um maior desconto pelo uso da água nos meses em que se tem maior disponibilidade hídrica superficial, e no período de maior escassez hídrica o fator de sazonalidade se aproximar da unidade, apresentando uma maior racionalização do uso da água.

4.3.2 Fator manancial de captação

Na Figura 52 são representados os fatores manancial de captação para as bacias do Grande, do Paranaíba e do Paracatu.

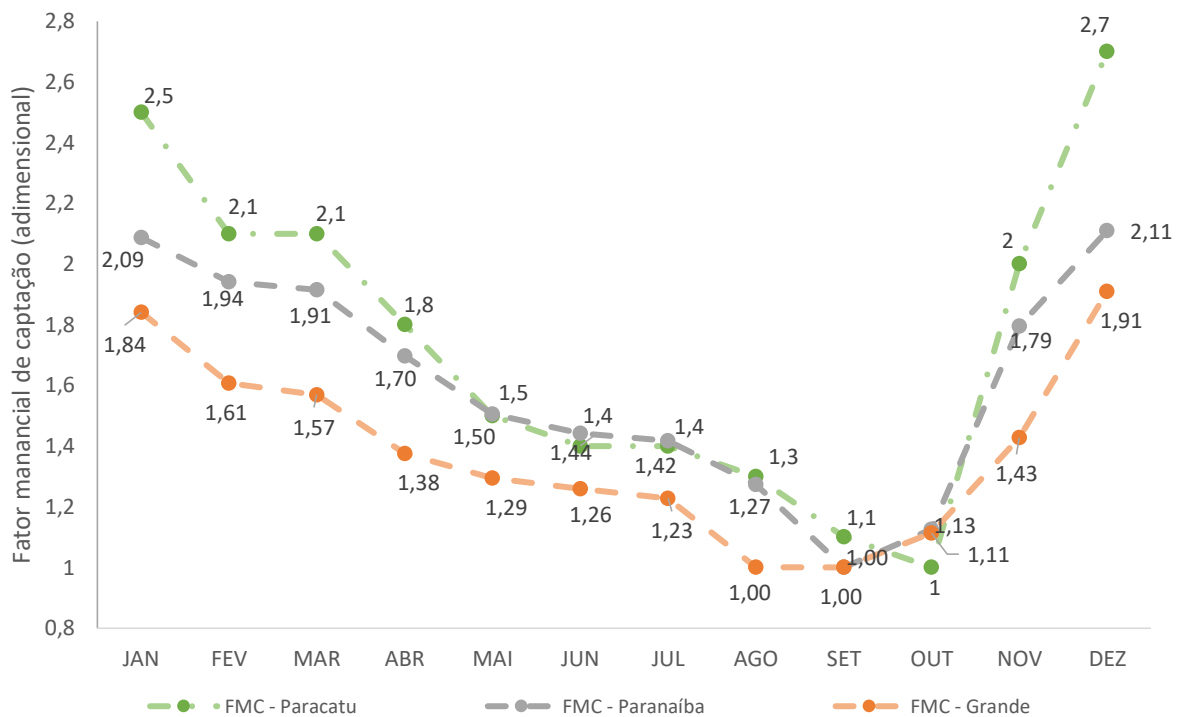


Figura 52: Fator manancial de captação para as bacias do Grande, do Paranaíba e do Paracatu.

Considerando que o objetivo do fator manancial de captação é a valorização da água subterrânea, pode-se observar na Figura 52 que as três bacias apresentaram um maior custo pelo uso da água subterrânea nos meses mais chuvosos, por ser um período em que o escoamento superficial direto se encontra mais abundante e não haja necessidade da utilização da água subterrânea. Enquanto no período de escassez hídrica o F_{MC} apresentou os menores valores, devido ao fato que nesse período a contribuição para a formação das vazões seja basicamente do escoamento subterrâneo.

Da mesma forma que ocorreu com o fator de sazonalidade, devido às aplicações dos aprimoramentos propostos, as bacias do Paranaíba e Paracatu apresentaram uma maior proximidade entre os F_{MC} . A 2ª aproximação do F_{MC} tem como objetivo reduzir o valor da água subterrânea nos meses em que se tem maior frequência de ocorrência das vazões mínimas, sendo assim, como as bacias do Paracatu e Paranaíba apresentaram uma concentração acentuada de frequência de ocorrência das vazões mínimas nos meses de setembro e outubro, o F_{MC} sofreu uma diminuição mais acentuada nesses meses em comparação com a bacia do Grande.

E para a estimativa do F_{MC} (3ª aproximação) utiliza-se como fator de ajuste ao longo do ano o menor valor observado do F_{MC} (2ª aproximação). Sendo assim, as bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu apresentaram como fator de ajuste ao longo do ano os valores de 0,87; 0,73 e 0,70, respectivamente, fazendo com que houvesse um aumento mais acentuado do F_{MC} para as bacias do Paranaíba e Paracatu, devido à aplicação do F_{MC} (3ª aproximação).

Pode-se observar que o menor valor do fator manancial de cada bacia está relacionado aos meses que apresentaram as maiores frequências de ocorrência das vazões mínimas (setembro e outubro), enquanto o maior valor do fator manancial ocorre no mês de dezembro para as três bacias, uma vez que este mês apresentou o maior incremento da lâmina de escoamento superficial direto para todas as bacias.

Assim como para o fator de sazonalidade, a bacia do Grande apresentou em comparação com as bacias do Paranaíba e Paracatu apresentou uma menor variação sazonal dos valores do F_{MC} ao longo do ano.

Observando os valores do F_s (Figura 51) e do F_{MC} para as três bacias, pode-se inferir que houve uma variação quantitativa devido aos aspectos mencionados ao longo do texto. Contudo, pode-se notar uma coerência qualitativa quanto a aplicação das metodologias para as três bacias, o que comprova a potencialidade de aplicação destas metodologias para outras bacias que apresentem um comportamento sazonal similar à estas bacias, além da possibilidade de aprimoramento do atual sistema de cobrança pelo uso da água que está em vigor no Brasil.

4.3.3 Fator uso da água na irrigação

Neste item vão ser feitas as comparações das máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico ($q_{u,i} (rest.corrig)$) para as culturas das soja e cana-de-açúcar, com intuito de avaliar os valores $q_{u,i} (tab)$ proposto da equação do Fui para as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

4.3.3.1 Análise das demandas unitárias pelo uso da água na irrigação para as culturas de soja e cana-de-açúcar

Nas Figura 53 e Figura 54 são apresentados os resultados referentes aos valores de $q_{u,i}(\text{rest.corrig})$ para as regiões homogêneas (RH) das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu para a cultura da soja e da cana-de-açúcar, respectivamente.

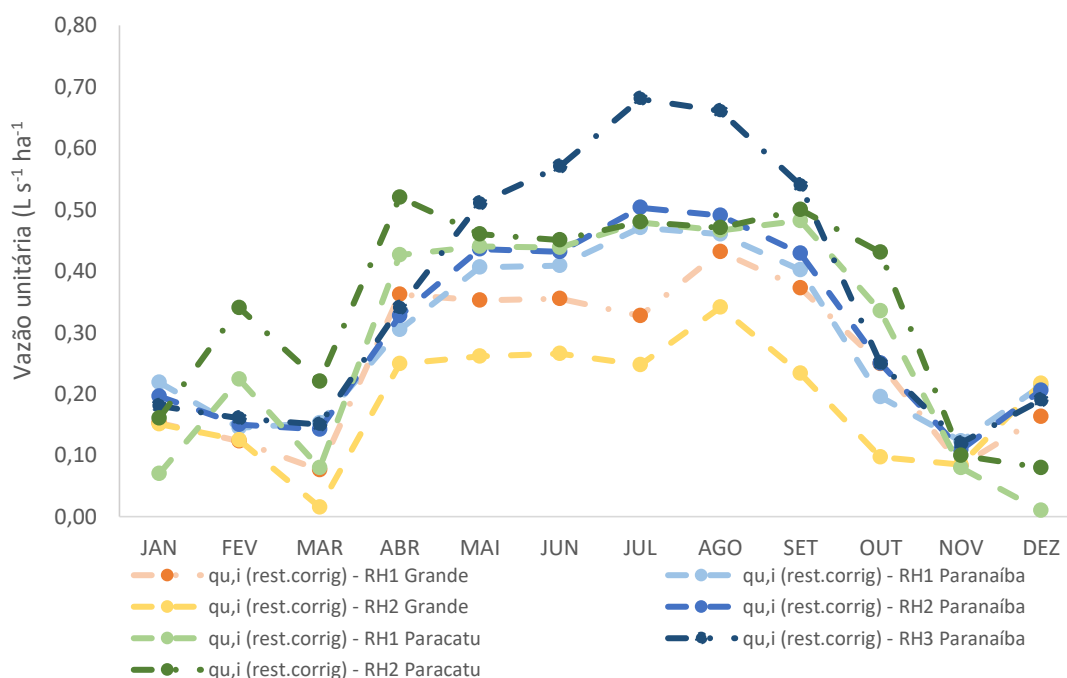


Figura 53: Valores das máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico para a cultura da soja para as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

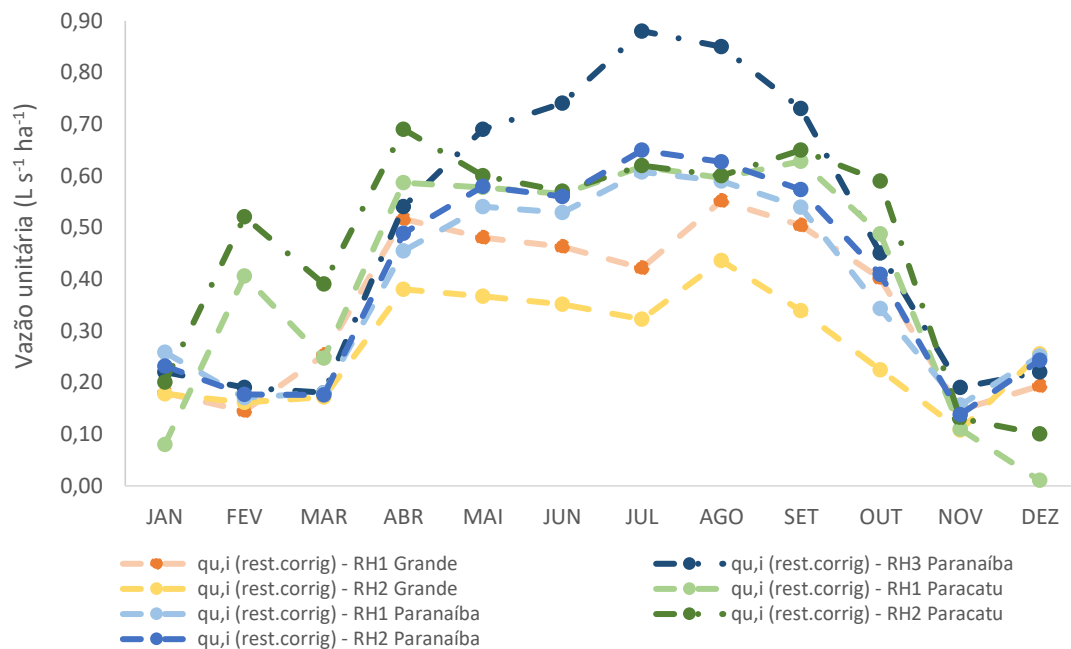


Figura 54: Valores das máximas vazões unitárias com fator de restrição corrigido em função de um déficit hídrico para a cultura da cana-de-açúcar para as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

Pode-se notar que os valores de $q_{u,i} (rest.corrig)$ apresentaram uma grande variabilidade ao longo do ano entre as sete regiões homogêneas para ambas as culturas, já que, apesar dos valores de $q_{u,i} (rest.corrig)$ terem sido estimados para as mesmas culturas, cada região homogênea apresenta características edafoclimáticas peculiares, favorecendo a variação dos valores de $q_{u,i} (rest.corrig)$.

Como característica similar, observa-se que no período de abril a outubro todas as regiões homogêneas das bacias apresentaram uma maior vazão demandada pela cultura, enquanto que no período de novembro a março a vazão demandada foi menor, o que está relacionado ao fato do período de abril a outubro apresentar um maior déficit hídrico (Figura 55), fazendo com que haja uma maior necessidade de suplementação hídrica através da irrigação. Já nos meses mais chuvosos, a precipitação é capaz de suprir grande parte da necessidade hídrica das culturas, fazendo com que haja uma diminuição da vazão demandada pelas culturas.

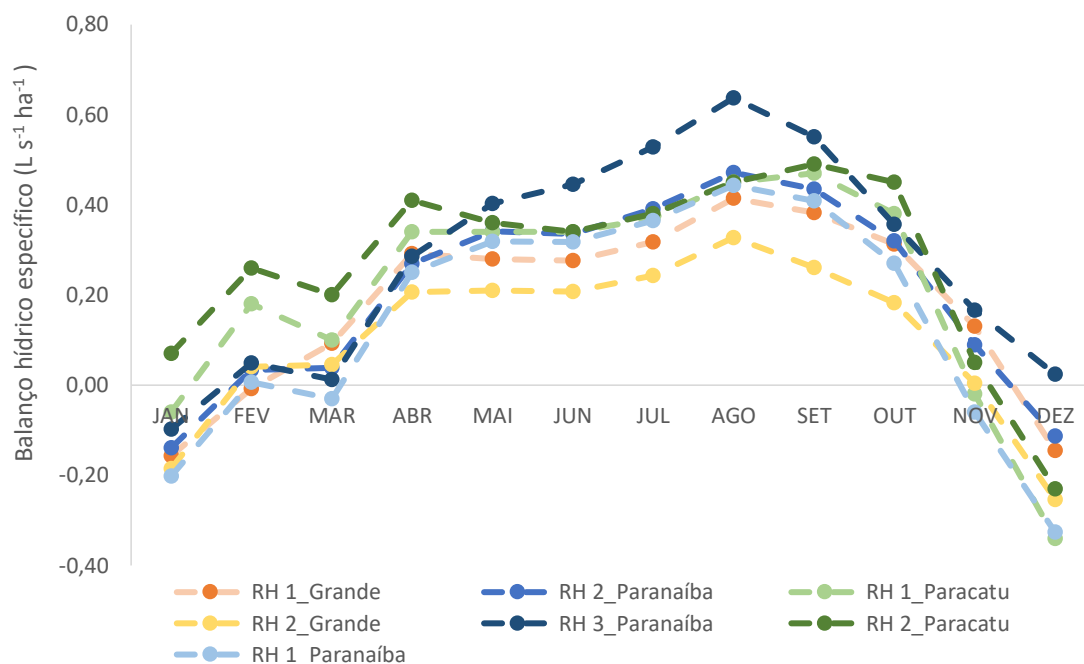


Figura 55: Balanço hídrico médio específico para cada mês, considerando cada uma das regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu.

Considerando as vazões demandadas pelas culturas para todas as regiões homogêneas das bacias (Figura 53 e Figura 54), observa-se que a RH 3 da bacia do Paranaíba apresentou uma maior vazão demandada pelas culturas da soja e cana-de-açúcar, enquanto as RH 1 e 2 apresentaram valores bem mais próximos aos das RH da bacia do Paracatu, o que está relacionado ao déficit hídrico. As RH da bacia do Grande apresentaram as menores vazões demandadas pelas culturas, o que pode ser justificado pelos menores valores de déficits hídricos apresentados nas RH da bacia (Figura 55), e que está diretamente associado a menor demanda evapotranspirométrica na bacia.

A análise da demanda hídrica das culturas com base na eficiência que com a água é utilizada, é de extrema importância na gestão dos recursos hídricos, visto que todas as três bacias apresentaram cenários de conflitos pelo uso da água na irrigação.

Nas sub-bacias do Grande-PR-07 (Mogi-Guaçu), Grande-PR-08 (Pardo), Grande-PR-11 (Baixo Pardo-Grande) e Tietê-06 (Baixo Tietê), são registradas expressivas demandas para irrigação entre 9,8 e 15,8 m³ s⁻¹ (MMA, 2006). Na bacia do Paranaíba tem-se diversos conflitos pelo uso da água entre o setor da irrigação e demais setores, sendo que na sub-bacia de São Marcos diversos trechos dos rios apresentam demandas superiores a disponibilidade hídrica, por conta da irrigação

(ANA, 2013b). E na bacia do Paracatu a vazão de retirada pela irrigação estimadas para os meses de maior demanda, variam de 4,3 a 85,1% da $Q_{7,10}$, sendo que o valor de 85,1% (evidenciado no ribeirão Entre Ribeiros), é bastante superior ao concedido para outorga no estado de Minas Gerais (RODRIGUEZ, 2004).

Dessa forma, a existência de uma metodologia de cobrança que leve em conta a eficiência do uso da água na irrigação, desestimulando o uso da água na irrigação no período de menor disponibilidade hídrica, e estimulando o uso mais racional no período em que se tem maior disponibilidade hídrica, corrobora para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, além do aumento do potencial de áreas irrigáveis e conservação dos recursos hídricos, visto que a irrigação é o setor que apresenta o maior consumo de água do mundo.

4.3.4 Fator de deplecionamento pelo uso da água em condições de regularização

Foram feitas análises do potencial aumento da disponibilidade hídrica através da utilização de reservatórios para as bacias do Grande e Paranaíba ao longo do trabalho, e os resultados referentes à bacia do Paracatu foram obtidos por Ribeiro (2016). Pôde-se observar um aumento acentuado do potencial de utilização da água regularizada quando da alteração da vazão mínima residual para as três bacias, sendo que o aumento de disponibilidade hídrica para as bacias do Paranaíba, Grande e Paracatu foram de 5430; 3158 e 1595%, respectivamente.

As bacias do Grande e Paranaíba apresentaram um maior aumento de disponibilidade hídrica, o que está relacionado a uma maior regularização da vazão média de longa duração nessas bacias. As bacias do Grande e Paranaíba possuem uma grande presença de reservatórios (OLIVEIRA, 2008; ANA, 2013), enquanto a bacia do Paracatu, segundo Novaes et al. (2009), não possui nenhum reservatório expressivo, o que ajuda a explicar as diferenças entre as disponibilidades hídricas potenciais das bacias.

Em relação ao custo da água em condições de regularização, as bacias do Grande, Paranaíba, e Paracatu, apresentaram fatores de deplecionamento de 0,44; 0,33 e 0,30, respectivamente, valores estes que estão relacionados ao menor fator de sazonalidade de cada bacia (Figura 51), como descrito na metodologia.

Assim, a utilização dos reservatórios além de potencializar o uso dos recursos hídricos permite um maior desconto ao usuário pelo uso da água ao longo do ano através do fator deplecionamento do uso da água em condições de regularização.

5 CONCLUSÕES

O objetivo proposto no trabalho foi atingido e constitui um avanço quanto à possibilidade de aprimoramento do atual sistema de cobrança pelo uso da água no Brasil. Dessa forma, pode-se concluir que:

- a cobrança diferenciada mensalmente pelo uso da água permite uma maior potencialidade de utilização dos recursos hídricos nas bacias do Grande e Paranaíba;
- a aplicação dos fatores de sazonalidade e manancial de captação para ambas as bacias permite caracterizar a potencialidade de realização de uma cobrança diferenciada ao longo do ano, uma vez que, quando a água superficial se torna mais abundante tem-se um maior desconto pelo uso da água e um maior custo da água subterrânea, e, à medida que se aproxima do período de estiagem, quando a água superficial torna-se escassa, tem-se uma diminuição do desconto da água superficial e uma diminuição do custo da água subterrânea;
- a aplicação da metodologia referente à vazão unitária tabelada com base na demanda necessária para a cultura promove um desestímulo do uso da água na irrigação no período de menor disponibilidade hídrica, incentivando a utilização de técnicas para uma maior eficiência da irrigação;
- a utilização dos reservatórios de regularização e a alteração da vazão mínima residual permite a obtenção de um aumento expressivo de disponibilidade hídrica, sem comprometer as condições à fio d'água. Assim, quando as condições a fio d'água não são suficientes para atender as demandas, a água regularizada surge com uma reserva estratégica apresentando um maior desconto ao usuário pelo uso da água ao longo do ano;
- a bacia do Grande em comparação com as bacias do Paranaíba e Paracatu apresentou uma menor variação sazonal da relação entre as vazões mínimas mensais e anual, apresentando assim, um menor desconto pelo uso da água superficial e um menor incremento do valor da água subterrânea ao longo do ano;

- as vazões unitárias demandadas pelas culturas da soja e cana-de-açúcar no período de maio a outubro foram maiores em todas as regiões homogêneas das bacias do Grande, Paranaíba e Paracatu, devido ao maior déficit hídrico que ocorre nesse período, e, além disso, a bacia do Grande foi a que apresentou as menores vazões demandadas pelas culturas em ambas as regiões homogêneas, devido a menor demanda evapotranspirométrica da bacia.

- os reservatórios de regularização permitem um aumento expressivo da disponibilidade hídrica nas bacias, e a utilização dos fatores de deplecionamento pelo uso da água em condições de regularização faz com que haja um maior desconto ao usuário pelo uso da água ao longo do ano, sendo que a bacia do Grande apresentou o menor desconto pelo uso da água em condições de regularização.

6 REFERÊNCIAS

ABAD, E. P. G. Proposta de fixação de preço da água para irrigação na agricultura, utilizando a metodologia da programação matemática positiva. 2007. 253f. **Tese** (Doutorado em Recursos Hídricos) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

ALBUQUERQUE, J. P. T. Água Subterrânea no Planeta Água. In: **Estudos Geológicos**. v. 17 n. 1, Recife, Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociência, Ed. Bagaço, 2007, p. 23-39.

ALLEN, R. G. **Ref-ET- Reference evapotranspiration calculator, 3.1.15**. Idaho: University of Idaho Research and Extension Center Kimberly, 2013.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO: Irrigation and Drainage** - 56, 1998.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Brasília. 2015. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.a.spx>> Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013**. ISBN: 978-85-89629-48-5. Brasília. 164p., 2013a.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba** / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013b.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Encarte Especial sobre a Crise Hídrica: Informe 2014. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília. 28p. 2015a.

ANA – Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília, 2007. 60p.

ARAÚJO, A.R. Solos da Bacia do Alto Rio Grande (MG): Base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola. **Tese** (Doutorado). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 345p.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, p.27-38, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa: UFV, 625p., 2006.

BOF, L. H. N; PRUSKI, F.F; SILVA, L.M.C; JUSTINO, F.B. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in Brasil. **Environmental Management (New York)**, v. 1, p. 1-11, 2012.

BRAGA, B.P.F.; DOMINGUES, A.F. Gestão de Recursos Hídricos no Brasil. In: II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais e IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília. Out. 2008.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. I da Lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica do Paraná. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília. 2006.

CARVALHO, A. M. R.; LEE, F.; AGUIAR, M. A. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Anhangüera**. v.6, n.1, p.57-74, 2005.

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Deliberação CBHSF nº 40, de 31 de outubro de 2008**. Estabelece mecanismos e sugere valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/?wpfb_dl=583>. Acesso em: 11 de janeiro de 2017.

CEIVAP - Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Deliberação CEIVAP N.º 65, de 28 de setembro de 2006**. Estabelece mecanismos e propõe valores para a cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a partir de 2007. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/downloads/Deliberacao%20CEIVAP%2065%20%20200%20Cobranca%20%20aprovada%20Plenaria%20CEIVAP%20Resende%20-%2028-09-06>>.pdf. Acesso em 11 de janeiro de 2017.

COMITÊS PCJ - COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 025/05 de 21 de outubro de 2005**. Estabelece mecanismos e sugere os valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/DelibConj025-05-Alterada.pdf>>. Acesso em 11 de janeiro de 2017.

COMITÊS PCJ - COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Deliberação dos Comitês PCJ no 021/08, de 12/12/2008**. Estabelece mecanismos e valores para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Jaguari e dá outras providências. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Cobranca/Deliberacao_Comites_PCJ_PJ_nr_21_08.pdf>. Acesso em: 11 de janeiro de 2017.

DOORENBONS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Roma: FAO: **Irrigação e Drenagem** - 33, 1994.

EUCLYDES, H.P. Sinergia hídrica em favor da agricultura irrigada. **Revista ITEM-Irrigação & Tecnologia Moderna**, nº 93. 2012

EUROPEAN COMUNITIES. **Proteção das águas subterrâneas na Europa**. A nova directiva da água subterrânea – Consolidando o Quadro Regulamentar da União Européia. Comissão Européia. 2008.

FALCO, A.L et al. Disponibilidade hídrica para outorga: influência da sazonalidade. **In: XXI Simpósio brasileiro de recursos hídricos**. Brasília. 2015

FERERES, E.; SORIANO M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 147-59, 2007.

GARRIDO, R. A. Cobrança pelo uso da água. **In: THAME, A. C. M. (Org.). Comitês de Bacias Hidrográficas**. São Paulo: IQUAL, 2000. p. 57-87

HAAN, C.T; BARFIELD, B.J; HAYES, J.C. **Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments**. California: Academic Press, Inc., 1994.

HARTMANN, P. **A cobrança pelo uso da água como instrumento econômico na política ambiental : estudo comparativo e avaliação econômica dos modelos de cobrança pelo uso da água bruta propostos e implementados no Brasil**. Porto Alegre: AEBA, 2010. 532 p.

HIRATA, R.; ZOBY, J.L.G.; OLIVEIRA, F.R. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. **In: Águas do Brasil: análises estratégicas** - Carlos E. de M. Bicudo; José G. Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl – São Paulo, Instituto de Botânica, 224 p. 2010.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis – An Approach Based on L-Moments**, 224p. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1997.

IBIO - INSTITUTO BIOATLÂNTICA / FUNARBE – FUNDAÇÃO DE APOIO A UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Relatório técnico: **Estudos de aprimoramento dos mecanismos de cobrança da bacia hidrográfica do Rio Doce**, Viçosa, 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Estudos/EstudosDeAprimoramentoDosMecanismosDeCobrancaDaBaciaHidrograficaDoRioDoce.pdf>>. Acesso em: 17 de março 2017.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) – SP/MG**. Secretaria do meio ambiente. São Paulo. 2008.

JACOBS, K. et al. **Linking knowledge with action in the pursuit of sustainable water-resources management**. Harvard University, Cambridge, MA, 2009.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J.A.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R. & PINTO, D.B.F. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. Ci. **Agrotec.**, 32:914-922, 2008.

LI, Y.P.; HUANG, G.H.; NIE, S.L. Planning water resources management systems using a fuzzy-boundary interval-stochastic programming method. **Advances in Water Resources**, 33, pp.1105–1117, 2010.

LIU, P.; GUO, S.L.; XIONG, L.H.; LI, W.; ZHANG, H. G. Deriving reservoir refill operating rules by using the proposed DPNS model. **Water Resources Management**, v.20, n.3, pp. 337–357, 2006.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, P. A.; GATTO., J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 192–205, 2012.

MATOS, R. A. Comparação de metodologias de análise de agrupamentos na presença de variáveis categóricas e contínuas. 2007. 141f. **Dissertação** (Mestrado em Estatística) — ICEX - Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; NORTON, L.D.; SILVA, A.M. & WEIMAR, F.A. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. **Catena**, 75:235-247, 2008.

MIRANDA, A. C. R. Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: estudo de caso para a bacia do rio das velhas. 2012. 83f. **Dissertação** (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, MG, 2012.

MIRANDA, A. C. R.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Métodos de Separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: Estudo de Caso para a Bacia do Rio das Velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.19, n.2, p.169-181, 2014.

MOURA, A. N. Recarga artificial de aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. **Livro de Resumos - A gestão integrada e dinâmica de aquíferos: eficiência e agronegócio**, 2004. v. único. p. 245-245.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte, CPRM, 2007. 552p.

NOVAES, L.F.; PRUSKI, F.F.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R. del G.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica: Parte 1 — obtenção da equação de recessão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 1, p. 15-26, 2009.

NUNES, A. A.; PRUSKI, F. F. The effect of reservoirs on water availability. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n.1, p. 7 – 15,. 2015

OLIVEIRA, F.A. Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do rio Grande. 2008. **Dissertação** (Engenharia Agrícola). 2016. 93 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

OLIVEIRA, J. R.; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na Bacia do Ribeirão Entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n.4, p. 157-172, 2013.

Organização das Nações Unidas. **World Population Prospects: The 2010 Revision**. Nova York: Divisão de População do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. 2011.

PEREIRA, S.B; PRUSKI, F.F; SILVA, D.D; RAMOS, M.M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11 (6), p. 615-622, 2007.

PIRES, R.C.M. Agricultura irrigada. **Revista tecnologia & Inovação Agropecuária**. Junho de 2008. Disponível em: <http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/T&IA/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_Agricultur_a.pdf> Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

PRUSKI, F. F., BOF, L. H. N., SILVA, L. M. C., SILVA, J. M. A., REGO, F. S., JUSTINO, F. B. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 3, p. 496-509. 2014.

RAMOS, M.C.A. Critérios de valoração da água com base na sazonalidade das vazões e na efetiva demanda hídrica das culturas. 2016. 83 f. **Dissertação** (Meteorologia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

REGO, F.S. Regionalização de vazões considerando a evapotranspiração real em seu processo de formação. 2013. 53 f. **Dissertação** (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

REIS, E.A; REIS, I.A. **Análise descritiva dos dados: Síntese numérica**. Belo Horizonte: UFMG, 2002. Relatório Técnico.

RIBEIRO, R. B. Critérios de valoração do uso da água considerando o grau de regularização dos cursos d'água e o manancial de captação. 2016. 80 f. **Dissertação** (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F. Precipitação provável para João Pinheiro, Minas Gerais, utilizando funções de distribuição de probabilidade gama e log-normal. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 5, n. 3, p. 237-243, 1997.

RODRIGUEZ, R. G. Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu. 2004. 94f. **Dissertação** (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2004.

SANTOS, M. O. R. M. O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário. 2002. 241f. **Tese** (Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós - Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ. 2002.

São Paulo. **Decreto Nº 50.667, de 30 de março de 2006**. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.183 de 29 de dezembro de 2005, que trata da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. 2006.

São Paulo. **Decreto nº 61.430, de 17 de agosto de 2015**. Aprova a fixa os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo na Unidade de gerenciamento de recursos hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2015.

SILVA, C. H. R. T. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. Brasília: Senado Federal, Consultoria Legislativa, 2012. (**Boletim do Legislativo**, n. 23).

SILVA, M. V. Adequação da disponibilidade hídrica com a demanda de água na agricultura. 2014.104f. **Tese** (Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

SILVA, M.M.; FERREIRA, V.O. Pluviometria e balanço hídrico da bacia do rio Paranaíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08 N. 05, p. 1335-1346, 2015.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECOM, P. R.; SOUZA, J. R. C. **SisCAH: Sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas, 2009. 60 p.

THOMAS, P. T.; MAGALHÃES, P. C.; AZEVEDO, J. P. S. Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez. **In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 15., 2005, Curitiba. Anais: ABRH.

VASCONCELOS, V. V. Recarga de aquíferos subsídios à gestão hídrica e ambiental bacia do rio Paracatu - SF7. 2014. 276f. **Tese** (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

WOLF, W. Avaliação e nova proposta de regionalização hidrológica para o Estado de São Paulo. 2013. 113 f. **Dissertação** (Mestre em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2013.

WWAP (World Water Assessment Programme). 2015. **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris, UNESCO.

WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk**. Paris, UNESCO.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Bacia do Grande

Tabela 1A: Estações fluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude | Área (Km²) |
|---------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|
| 61009000 | Bom Jardim De Minas | -21,946 | -44,195 | 529 |
| 61012000 | Madre De Deus De Minas | -21,492 | -44,327 | 2026 |
| 61014000 | Alagoa | -22,170 | -44,637 | 218 |
| 61024000 | Aiuruoca | -21,980 | -44,602 | 536 |
| 61031000 | Carvalhos | -21,998 | -44,464 | 105 |
| 61045000 | Fazenda Paraíba | -21,745 | -44,354 | 381 |
| 61052000 | Andrelândia | -21,738 | -44,305 | 274 |
| 61060000 | Fazenda Laranjeiras | -21,692 | -44,348 | 2083 |
| 61075000 | Luminarias | -21,506 | -44,916 | 1010 |
| 61078000 | Itumirim | -21,321 | -44,873 | 1829 |
| 61085000 | Campolide | -21,279 | -43,814 | 567 |
| 61090000 | Barroso | -21,186 | -43,980 | 1030 |
| 61100000 | Ibertioga | -21,444 | -43,963 | 186 |
| 61105000 | Porto do Elvas | -21,165 | -44,136 | 828 |
| 61107000 | Porto Tiradentes | -21,122 | -44,233 | 2714 |
| 61115000 | Usina São João del Rei | -21,052 | -44,211 | 638 |
| 61122000 | Vila Rio Das Mortes | -21,196 | -44,329 | 271 |
| 61135000 | Ibituruna | -21,142 | -44,740 | 6000 |
| 61140000 | Bom Sucesso | -21,034 | -44,771 | 331 |
| 61145000 | Macaia | -21,140 | -44,910 | 15400 |
| 61173000 | Usina Couro do Cervo | -21,334 | -45,155 | 385 |
| 61175000 | Usina Nepomuceno | -21,257 | -45,167 | 1002 |
| 61202000 | Santana do Jacaré | -20,903 | -45,132 | 1620 |
| 61267000 | Delfim Moreira | -22,508 | -45,287 | 76 |
| 61271000 | Itajubá | -22,443 | -45,427 | 869 |
| 61280000 | Bairro Santa Cruz | -22,371 | -45,216 | 270 |
| 61285000 | São João de Itajubá | -22,377 | -45,447 | 556 |
| 61295000 | Brasópolis | -22,470 | -45,622 | 158 |
| 61305000 | Santa Rita do Sapucaí | -22,251 | -45,709 | 2811 |
| 61320000 | São Bento do Sapucaí | -22,686 | -45,735 | 469 |
| 61343000 | Bairro do Analdino | -22,558 | -45,883 | 221 |
| 61350000 | Conceição Dos Ouros | -22,414 | -45,791 | 1307 |
| 61360000 | Cambuí | -22,607 | -46,042 | 117 |
| 61370000 | Ponte Do Rodrigues | -22,371 | -45,888 | 745 |
| 61410000 | Careaçu | -22,054 | -45,699 | 7346 |
| 61425000 | Paraguaçu | -21,586 | -45,663 | 9410 |
| 61429000 | Itanhandu | -22,294 | -44,937 | 292 |
| 61460000 | Conceição do Rio Verde | -21,887 | -45,079 | 1837 |
| 61473000 | Baependi | -21,951 | -44,880 | 599 |
| 61500000 | Fazenda Juca Casimiro | -21,870 | -45,262 | 707 |
| 61510000 | Três Corações | -21,703 | -45,248 | 4172 |
| 61520000 | Chacara Santana | -21,678 | -45,260 | 851 |

Tabela 1A: Estações fluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude | Área (Km²) |
|---------------|-----------------------|-----------------|------------------|------------------------------|
| 61530000 | Palmela dos Coelhoos | -21,783 | -45,443 | 358 |
| 61537000 | Porto dos Buenos | -21,611 | -45,489 | 6271 |
| 61565000 | Cachoeira Poço Fundo | -21,788 | -46,122 | 339 |
| 61568000 | Machado | -21,688 | -45,905 | 732 |
| 61610000 | Juréia | -21,279 | -46,361 | 882 |
| 61695000 | Itaú De Minas | -20,739 | -46,735 | 1280 |
| 61700000 | Usina Santana | -20,810 | -46,807 | 473 |
| 61770000 | Fazenda Carvalhais | -21,135 | -47,013 | 227 |
| 61795000 | Conceição das Alagoas | -19,909 | -48,391 | 1973 |
| 61800500 | Beira de Santa Rita | -22,003 | -46,306 | 356 |
| 61815000 | Guaxupé | -21,294 | -46,704 | 73 |
| 61826000 | Ponte do Canoas | -21,420 | -46,962 | 662 |
| 61830000 | Fazenda Corredeira | -21,318 | -47,477 | 8480 |
| 61861000 | Inconfidentes | -22,318 | -46,322 | 462 |
| 61865000 | Jacutinga | -22,270 | -46,604 | 918 |
| 61879000 | Lindóia | -22,522 | -46,647 | 1115 |
| 61886000 | Pádua Sales | -22,299 | -47,134 | 4650 |
| 61895000 | São João da Boa Vista | -21,978 | -46,807 | 619 |
| 61902000 | Porto Ferreira | -21,848 | -47,475 | 10123 |
| 61912000 | Ponte Guatapara | -21,503 | -48,040 | 13845 |

Tabela 2A: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Longitude | Latitude |
|---------------|-------------------------|------------------|-----------------|
| 1948007 | Campo Florido | -48,574 | -19,771 |
| 1949001 | Riolândia | -49,683 | -19,967 |
| 1949004 | Campina Verde | -49,483 | -19,542 |
| 1950000 | Iturama | -50,192 | -19,725 |
| 2044037 | Santo Antônio Do Amparo | -44,908 | -20,944 |
| 2045004 | Santana do Jacaré | -45,125 | -20,905 |
| 2045020 | Candeias | -45,274 | -20,760 |
| 2046001 | Itaú De Minas | -46,735 | -20,739 |
| 2047016 | Franca | -47,423 | -20,544 |
| 2047019 | São Joaquim Da Barra | -47,891 | -20,585 |
| 2047028 | Usina Esmeril | -47,300 | -20,833 |
| 2047029 | Batatais | -47,617 | -20,883 |
| 2047031 | Cobiça | -47,263 | -20,996 |
| 2047032 | Brodosqui | -47,660 | -20,997 |
| 2048002 | Porto Colômbia | -48,683 | -20,172 |
| 2048004 | Fazenda São Domingos | -48,291 | -20,211 |
| 2048011 | Ponte Joaquim Justino | -48,451 | -20,454 |
| 2048013 | Guaraci | -48,940 | -20,497 |
| 2048016 | Ibitu | -48,767 | -20,617 |

Tabela 2A: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Longitude | Latitude |
|---------------|------------------------|------------------|-----------------|
| 2048019 | Jaborandi | -48,417 | -20,683 |
| 2048020 | Terra Roxa | -48,333 | -20,783 |
| 2048029 | Monte Verde Paulista | -48,800 | -20,850 |
| 2048033 | Desengano | -48,024 | -20,999 |
| 2048065 | Ibitiuva | -48,333 | -20,983 |
| 2049003 | Orindiuva | -49,367 | -20,183 |
| 2049004 | Fazenda Santa Maria | -49,767 | -20,300 |
| 2049012 | Altair | -49,050 | -20,517 |
| 2049017 | Balsamo | -49,583 | -20,733 |
| 2049024 | São José do Rio Preto | -49,383 | -20,800 |
| 2049029 | Tabapuã | -49,017 | -20,983 |
| 2049032 | Votuporanga | -49,983 | -20,433 |
| 2050001 | Santa Albertina | -50,733 | -20,033 |
| 2050004 | Macedônia | -50,200 | -20,150 |
| 2143005 | Campolide | -43,820 | -21,279 |
| 2143006 | Barroso | -43,980 | -21,187 |
| 2143008 | Ibertioga | -43,959 | -21,427 |
| 2143009 | Usina Barbacena | -43,879 | -21,275 |
| 2144000 | Bom Sucesso | -44,772 | -21,034 |
| 2144003 | Caxambu | -44,939 | -21,990 |
| 2144005 | Itumirim | -44,873 | -21,321 |
| 2144006 | Luminarias | -44,916 | -21,507 |
| 2144007 | Madre de Deus de Minas | -44,326 | -21,492 |
| 2144018 | Aiuruoca | -44,603 | -21,977 |
| 2144019 | Andrelândia | -44,313 | -21,735 |
| 2144020 | Usina São João del Rei | -44,209 | -21,056 |
| 2144021 | Fazenda Laranjeiras | -44,341 | -21,675 |
| 2144022 | Fazenda Paraíba | -44,355 | -21,746 |
| 2144023 | Ibituruna | -44,739 | -21,144 |
| 2144024 | Vila Rio das Mortes | -44,329 | -21,189 |
| 2144025 | Carvalhos | -44,464 | -21,998 |
| 2145001 | Conceição do Rio Verde | -45,079 | -21,887 |
| 2145003 | Três Corações | -45,264 | -21,721 |
| 2145007 | Usina Couro do Cervo | -45,170 | -21,344 |
| 2145008 | Fazenda Juca Casimiro | -45,263 | -21,870 |
| 2145009 | Usina do Chicão | -45,479 | -21,919 |
| 2145017 | Monsenhor Paulo | -45,538 | -21,760 |
| 2145020 | Chácara Santana | -45,260 | -21,678 |
| 2145021 | Usina Nepomuceno | -45,174 | -21,258 |
| 2145022 | Paraguaçu | -45,674 | -21,585 |
| 2145023 | Porto dos Buenos | -45,489 | -21,611 |
| 2145024 | Palmela dos Coelhos | -45,441 | -21,788 |
| 2145032 | Coqueiral | -45,449 | -21,193 |
| 2146001 | Ponte do Canoas | -46,963 | -21,420 |
| 2146002 | Tapiratiba | -46,750 | -21,467 |

Tabela 2A: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Longitude | Latitude |
|---------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
| 2146010 | São Sebastião da Grama | -46,817 | -21,700 |
| 2146013 | São João da Boa Vista | -46,795 | -21,985 |
| 2146014 | São João da Boa Vista | -46,800 | -21,950 |
| 2146026 | Guaxupé | -46,704 | -21,294 |
| 2146027 | Juréia | -46,361 | -21,279 |
| 2146028 | Cachoeira do Carmo | -46,439 | -21,723 |
| 2146029 | Cachoeira Poço Fundo | -46,124 | -21,791 |
| 2146030 | Muzambinho | -46,519 | -21,381 |
| 2147006 | Ribeirão Preto | -47,867 | -21,217 |
| 2147007 | Serrana | -47,600 | -21,217 |
| 2147011 | Fazenda Corredeira | -47,479 | -21,321 |
| 2147022 | Santa Rosa do Viterbo | -47,364 | -21,522 |
| 2147031 | Santa Eudoxia | -47,783 | -21,783 |
| 2147034 | Porto Ferreira | -47,475 | -21,846 |
| 2147043 | Fazenda Santa Rita | -47,700 | -21,967 |
| 2147074 | Tambau | -47,283 | -21,700 |
| 2147086 | Sítio Esplanada | -47,083 | -21,383 |
| 2148007 | Usina São Francisco | -48,117 | -21,183 |
| 2148034 | Fazenda dos Alpes | -48,050 | -21,667 |
| 2148050 | Passagem (Faz. São Vicente) | -48,159 | -21,050 |
| 2148051 | Pitangueiras | -48,220 | -21,011 |
| 2244065 | Alagoa | -44,637 | -22,170 |
| 2244068 | Itanhandu | -44,939 | -22,294 |
| 2244071 | Pouso Alto | -44,973 | -22,199 |
| 2245010 | Fazenda da Guarda (Parque) | -45,481 | -22,699 |
| 2245011 | São Bento do Sapucaí | -45,735 | -22,696 |
| 2245064 | Delfim Moreira | -45,287 | -22,510 |
| 2245065 | Cristina | -45,266 | -22,210 |
| 2245066 | Conceição dos Ouros | -45,791 | -22,414 |
| 2245070 | Brasópolis | -45,622 | -22,471 |
| 2245074 | Careacu | -45,699 | -22,054 |
| 2245080 | Virgínia | -45,091 | -22,338 |
| 2245083 | São João de Itajubá | -45,447 | -22,376 |
| 2245084 | Bairro do Analdino | -45,884 | -22,565 |
| 2245085 | Vargem do Cervo | -45,918 | -22,116 |
| 2245087 | Bairro Santa Cruz | -45,215 | -22,407 |
| 2245103 | Rio Preto | -45,733 | -22,817 |
| 2246005 | Itaqui | -46,950 | -22,217 |
| 2246013 | Itapira | -46,817 | -22,450 |
| 2246017 | Socorro | -46,533 | -22,600 |
| 2247005 | Cresciumal | -47,283 | -22,167 |
| 2247017 | Fazenda Belmonte | -47,450 | -22,300 |

Tabela 3A: Estações climatológicas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 83579 | Araxá | -19,600 | -46,930 |
| 83773 | Avaré | -23,080 | -54,700 |
| 83049 | Avelar | -22,350 | -43,410 |
| 83582 | Bambuí | -20,030 | -46,000 |
| 83689 | Barbacena | -21,250 | -43,760 |
| 83587 | Belo Horizonte | -19,930 | -43,930 |
| 83533 | Bom Despacho | -19,710 | -45,360 |
| 83714 | Campos do Jordão | -22,750 | -45,600 |
| 83514 | Capinópolis | -18,710 | -49,550 |
| 83676 | Catanduva | -21,110 | -48,930 |
| 83037 | Coronel Pacheco | -21,560 | -43,250 |
| 83681 | Caldas | -21,910 | -46,380 |
| 83635 | Divinópolis | -20,160 | -44,860 |
| 83581 | Florestal | -19,860 | -44,410 |
| 8360 | Franca | -20,580 | -47,360 |
| 83574 | Frutal | -20,030 | -48,930 |
| 83075 | Guarulhos | -23,430 | -46,460 |
| 83632 | Ibirité | -20,010 | -44,050 |
| 83521 | Ituiutaba | -18,960 | -49,510 |
| 83692 | Juíz de Fora | -21,760 | 43,350 |
| 83687 | Lavras | -21,750 | -45,000 |
| 83683 | Machado | -21,660 | -45,910 |
| 83738 | Resende | -22,450 | -44,430 |
| 83736 | São Lourenço | -22,100 | -45,010 |
| 83781 | São Paulo | -23,500 | -46,610 |
| 83631 | São S. do Paraíso | -20,910 | -47,110 |
| 83669 | São Simão | -21,480 | -47,550 |
| 83851 | Sorocaba | -23,480 | -47,430 |
| 83784 | Taubaté | -23,030 | -45,550 |
| 83577 | Uberaba | -19,730 | -47,950 |
| 83623 | Votuporanga | -20,410 | -49,980 |

Tabela 4A: Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

| Código das estações | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Anual |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 61009000 | 10,25 | 11,15 | 11,31 | 9,47 | 7,94 | 6,87 | 6,44 | 5,52 | 5,23 | 5,23 | 5,61 | 7,47 | 5,03 |
| 61012000 | 33,57 | 35,21 | 37,44 | 30,09 | 23,91 | 20,17 | 18,98 | 15,98 | 14,52 | 15,58 | 18,14 | 24,84 | 13,94 |
| 61014000 | 5,46 | 6,50 | 6,61 | 5,27 | 4,40 | 3,88 | 3,44 | 2,94 | 2,75 | 2,70 | 2,82 | 3,55 | 2,59 |
| 61024000 | 12,25 | 15,62 | 15,34 | 11,89 | 9,82 | 8,35 | 7,48 | 6,18 | 5,35 | 5,50 | 4,71 | 7,99 | 5,30 |
| 61031000 | 1,92 | 2,19 | 2,38 | 1,73 | 1,57 | 1,42 | 1,29 | 1,09 | 1,15 | 1,16 | 1,13 | 1,32 | 0,98 |
| 61045000 | 5,19 | 5,54 | 5,64 | 4,05 | 3,63 | 3,16 | 3,02 | 2,63 | 2,49 | 2,57 | 2,65 | 3,71 | 2,27 |
| 61052000 | 2,81 | 3,36 | 3,32 | 3,01 | 2,68 | 2,29 | 2,16 | 1,90 | 1,77 | 1,82 | 1,73 | 2,03 | 1,72 |
| 61060000 | 35,72 | 42,10 | 40,32 | 30,90 | 26,26 | 23,17 | 21,06 | 18,21 | 16,87 | 17,41 | 17,40 | 24,60 | 16,73 |
| 61075000 | 10,85 | 12,75 | 11,81 | 9,54 | 8,14 | 7,21 | 6,90 | 5,92 | 5,94 | 6,04 | 6,52 | 8,24 | 5,26 |
| 61078000 | 20,97 | 24,88 | 22,72 | 17,73 | 15,05 | 12,51 | 11,24 | 9,54 | 8,02 | 7,80 | 9,58 | 13,02 | 8,93 |
| 61085000 | 6,64 | 6,04 | 6,28 | 5,20 | 4,56 | 4,25 | 3,81 | 3,31 | 3,24 | 3,01 | 4,55 | 6,53 | 2,56 |
| 61090000 | 12,05 | 11,56 | 11,70 | 10,00 | 8,47 | 7,62 | 7,18 | 6,61 | 6,35 | 6,95 | 8,83 | 11,59 | 6,13 |
| 61100000 | 1,81 | 1,49 | 1,68 | 1,41 | 1,25 | 1,13 | 1,04 | 0,93 | 0,87 | 0,95 | 1,17 | 1,77 | 0,82 |
| 61105000 | 9,30 | 9,57 | 9,76 | 8,36 | 7,44 | 6,88 | 6,61 | 5,93 | 5,68 | 5,95 | 6,69 | 9,68 | 5,50 |
| 61107000 | 32,03 | 30,13 | 31,31 | 25,55 | 22,31 | 19,40 | 17,83 | 15,65 | 14,56 | 15,20 | 19,95 | 29,97 | 13,46 |
| 61115000 | 6,68 | 4,84 | 5,72 | 4,54 | 3,85 | 3,50 | 2,99 | 2,44 | 2,30 | 2,51 | 3,93 | 6,20 | 2,00 |
| 61122000 | 2,83 | 2,80 | 2,59 | 2,17 | 1,87 | 1,56 | 1,42 | 1,20 | 1,16 | 1,15 | 1,48 | 2,37 | 1,02 |
| 61135000 | 85,55 | 76,96 | 77,91 | 63,34 | 54,57 | 48,42 | 45,02 | 39,79 | 38,31 | 41,30 | 50,70 | 77,07 | 35,31 |
| 61140000 | 2,73 | 3,79 | 3,54 | 2,93 | 2,37 | 1,88 | 1,46 | 0,93 | 0,75 | 0,66 | 0,88 | 1,51 | 0,61 |
| 61145000 | 212,58 | 200,61 | 176,79 | 157,78 | 139,57 | 123,93 | 126,48 | 106,89 | 104,47 | 108,41 | 129,57 | 178,22 | 97,20 |
| 61173000 | 3,82 | 4,58 | 4,62 | 3,91 | 3,55 | 3,11 | 2,89 | 2,50 | 2,28 | 2,22 | 2,20 | 2,63 | 2,01 |
| 61175000 | 9,49 | 11,23 | 10,90 | 9,09 | 7,85 | 6,97 | 6,39 | 5,47 | 5,00 | 5,15 | 5,28 | 6,74 | 4,83 |
| 61202000 | 17,01 | 19,68 | 17,19 | 12,99 | 9,32 | 7,40 | 7,10 | 5,54 | 4,87 | 5,75 | 6,84 | 11,14 | 3,75 |
| 61250000 | 2,42 | 2,90 | 2,83 | 2,59 | 2,26 | 1,92 | 1,63 | 1,31 | 1,31 | 1,36 | 1,65 | 2,09 | 1,09 |
| 61267000 | 0,81 | 0,92 | 0,92 | 0,87 | 0,83 | 0,66 | 0,58 | 0,46 | 0,41 | 0,43 | 0,50 | 0,67 | 0,36 |
| 61271000 | 16,23 | 16,47 | 15,50 | 13,14 | 12,00 | 10,30 | 9,41 | 8,33 | 7,66 | 7,44 | 7,90 | 9,62 | 7,18 |
| 61280000 | 4,78 | 5,99 | 6,15 | 5,23 | 4,36 | 3,83 | 3,28 | 2,80 | 2,34 | 2,38 | 2,88 | 3,88 | 2,31 |
| 61285000 | 8,17 | 10,53 | 11,22 | 8,83 | 7,34 | 6,34 | 5,68 | 4,78 | 4,05 | 4,20 | 4,36 | 5,46 | 4,04 |

Tabela 4A: Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

| Código das estações | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Anual |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 61295000 | 1,41 | 1,90 | 1,87 | 1,44 | 1,17 | 0,92 | 0,76 | 0,59 | 0,48 | 0,62 | 0,68 | 1,04 | 0,42 |
| 61305000 | 39,44 | 41,90 | 43,16 | 36,03 | 29,71 | 25,62 | 23,39 | 19,49 | 17,35 | 16,43 | 17,65 | 28,48 | 15,81 |
| 61320000 | 5,72 | 6,17 | 6,37 | 5,92 | 4,75 | 4,17 | 3,61 | 4,15 | 4,01 | 2,92 | 3,01 | 3,91 | 2,51 |
| 61343000 | 3,98 | 4,66 | 4,84 | 3,78 | 3,08 | 3,26 | 2,23 | 1,81 | 1,54 | 1,46 | 1,50 | 2,40 | 1,36 |
| 61350000 | 16,49 | 16,90 | 17,83 | 14,11 | 11,81 | 9,61 | 8,88 | 7,08 | 5,42 | 5,37 | 5,81 | 12,10 | 4,53 |
| 61370000 | 7,76 | 8,67 | 8,45 | 6,77 | 5,78 | 4,83 | 4,49 | 3,82 | 3,48 | 3,53 | 4,07 | 5,48 | 3,10 |
| 61410000 | 105,50 | 133,25 | 128,62 | 103,84 | 85,48 | 75,24 | 66,87 | 55,32 | 53,69 | 55,44 | 53,11 | 70,69 | 48,39 |
| 61425000 | 102,79 | 136,52 | 130,77 | 101,75 | 83,83 | 70,02 | 64,53 | 51,59 | 47,41 | 48,03 | 48,54 | 69,89 | 41,44 |
| 61460000 | 26,10 | 32,02 | 29,69 | 23,27 | 19,98 | 17,47 | 16,05 | 13,69 | 13,41 | 12,73 | 12,94 | 17,30 | 12,00 |
| 61473000 | 10,25 | 13,65 | 12,86 | 10,19 | 9,12 | 7,68 | 6,53 | 6,30 | 6,32 | 6,17 | 6,02 | 6,78 | 5,50 |
| 61500000 | 9,71 | 11,47 | 11,42 | 9,46 | 8,20 | 7,43 | 6,75 | 5,59 | 5,07 | 5,30 | 5,38 | 6,74 | 4,81 |
| 61510000 | 57,63 | 65,28 | 63,97 | 52,50 | 43,61 | 39,33 | 36,42 | 30,93 | 29,40 | 30,64 | 28,80 | 41,23 | 27,76 |
| 61520000 | 9,10 | 10,27 | 10,01 | 8,00 | 7,25 | 6,38 | 5,87 | 5,19 | 5,00 | 4,77 | 5,11 | 6,78 | 4,80 |
| 61530000 | 3,00 | 4,29 | 3,60 | 3,13 | 3,04 | 2,85 | 2,72 | 2,45 | 2,22 | 2,18 | 2,32 | 2,80 | 1,73 |
| 61537000 | 82,11 | 94,15 | 91,07 | 75,06 | 63,45 | 57,21 | 51,65 | 41,94 | 38,45 | 40,29 | 41,25 | 53,46 | 34,92 |
| 61565000 | 3,85 | 3,57 | 3,99 | 2,92 | 2,14 | 2,00 | 1,98 | 1,52 | 1,51 | 1,60 | 1,91 | 2,41 | 1,27 |
| 61568000 | 8,32 | 8,29 | 9,15 | 7,29 | 5,76 | 5,37 | 5,17 | 4,41 | 3,97 | 3,86 | 4,24 | 5,55 | 3,44 |
| 61610000 | 10,28 | 11,60 | 11,74 | 10,16 | 9,20 | 8,40 | 7,77 | 6,86 | 6,34 | 5,86 | 6,66 | 8,83 | 6,05 |
| 61695000 | 13,60 | 13,96 | 13,71 | 11,23 | 9,50 | 8,42 | 7,53 | 5,81 | 5,19 | 4,63 | 4,79 | 8,23 | 4,43 |
| 61700000 | 4,93 | 5,30 | 5,50 | 4,52 | 3,68 | 3,27 | 2,88 | 2,39 | 2,13 | 2,30 | 2,33 | 3,29 | 2,08 |
| 61770000 | 2,20 | 2,75 | 2,50 | 2,00 | 1,67 | 1,40 | 1,22 | 0,96 | 0,87 | 0,75 | 0,70 | 1,37 | 0,69 |
| 61795000 | 17,07 | 29,86 | 25,73 | 19,90 | 14,87 | 11,74 | 9,02 | 7,12 | 6,77 | 4,51 | 4,02 | 10,52 | 4,68 |
| 61800500 | 4,21 | 5,86 | 5,49 | 4,65 | 3,65 | 3,12 | 2,61 | 1,88 | 1,50 | 1,53 | 1,69 | 3,07 | 1,23 |
| 61815000 | 0,56 | 0,74 | 0,66 | 0,60 | 0,50 | 0,42 | 0,36 | 0,28 | 0,25 | 0,18 | 0,17 | 0,30 | 0,17 |
| 61826000 | 5,40 | 6,95 | 6,87 | 5,34 | 4,33 | 3,68 | 3,19 | 2,54 | 2,52 | 2,18 | 2,07 | 3,61 | 1,89 |
| 61830000 | 82,01 | 102,14 | 103,92 | 82,44 | 77,32 | 69,35 | 59,45 | 54,38 | 50,69 | 53,47 | 54,74 | 65,37 | 43,15 |
| 61861000 | 6,81 | 7,03 | 6,82 | 6,11 | 5,37 | 4,40 | 3,91 | 3,27 | 3,46 | 3,46 | 3,59 | 4,38 | 2,84 |
| 61865000 | 0,56 | 0,74 | 0,66 | 0,60 | 0,50 | 0,42 | 0,36 | 0,28 | 0,25 | 0,18 | 0,17 | 0,30 | 0,17 |

Tabela 4A: Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

| Código das estações | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Anual |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 61879000 | 13,66 | 18,08 | 16,21 | 14,31 | 11,76 | 9,75 | 8,67 | 7,33 | 6,63 | 6,10 | 6,47 | 8,71 | 6,01 |
| 61886000 | 44,99 | 51,45 | 51,45 | 43,19 | 39,48 | 29,63 | 27,41 | 23,19 | 19,10 | 17,41 | 18,26 | 28,08 | 16,87 |
| 61895000 | 7,70 | 9,18 | 8,23 | 7,33 | 6,02 | 4,97 | 4,17 | 2,98 | 2,57 | 2,74 | 2,55 | 4,09 | 2,21 |
| 61902000 | 90,82 | 113,33 | 109,40 | 92,44 | 76,97 | 60,88 | 51,87 | 41,06 | 35,06 | 32,40 | 33,85 | 54,50 | 29,03 |
| 61912000 | 143,19 | 177,64 | 160,00 | 137,13 | 120,41 | 102,50 | 94,96 | 81,37 | 77,08 | 73,30 | 71,68 | 98,97 | 68,76 |

Tabela 5A: Lâmina média anual e relação entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total.

| Estação | LESub (mm) | LES (mm) | LESTotal (mm) | LESub/LETotal (%) |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| 61009000 - Bom Jardim de Minas | 702,29 | 201,11 | 903,39 | 78 |
| 61012000 - Madre de Deus de MG | 569,84 | 189,75 | 759,59 | 75 |
| 61031000 - Carvalhos | 818,35 | 237,47 | 1055,82 | 78 |
| 61045000 - Fazenda Paraíba | 505,19 | 159,85 | 665,04 | 76 |
| 61060000 - Fazenda Laranjeiras | 654,64 | 192,50 | 847,15 | 77 |
| 61075000 - Luminarias | 448,08 | 202,66 | 650,74 | 69 |
| 61085000 - Campolide | 465,76 | 252,35 | 718,11 | 65 |
| 61090000 - Barroso | 494,76 | 180,88 | 675,64 | 73 |
| 61100000 - Ibertioga | 422,89 | 157,29 | 580,18 | 73 |
| 61107000 - Porto Tiradentes | 420,55 | 176,55 | 597,10 | 70 |
| 61115000 - Usina São João Del Rei | 434,29 | 227,26 | 661,55 | 66 |
| 61135000 - Ibituruna | 481,59 | 192,46 | 674,05 | 71 |
| 61140000 - Bom Sucesso | 406,99 | 175,92 | 582,90 | 70 |
| 61175000 - Usina Nepomuceno | 376,25 | 140,41 | 516,66 | 73 |
| 61202000 - Santana do Jacaré | 390,01 | 177,97 | 567,98 | 69 |
| 61267000 - Delfim Moreira | 327,09 | 94,94 | 422,03 | 78 |
| 61271000 - Itajubá | 581,09 | 190,31 | 777,16 | 75 |
| 61285000 - São João de Itajubá | 580,91 | 180,40 | 761,31 | 76 |
| 61295000 - Brasópolis | 430,93 | 185,38 | 616,31 | 70 |
| 61305000 - Santa Rita do Sapucai | 502,46 | 157,96 | 660,42 | 76 |
| 61320000 - São Bento do Sapucai | 548,21 | 153,28 | 701,49 | 78 |
| 61343000 - Bairro do Analdino | 639,42 | 181,64 | 821,05 | 78 |
| 61350000 - Conceição dos Ouros | 448,77 | 198,73 | 647,50 | 69 |
| 61360000 - Cambuí | 576,31 | 240,64 | 816,95 | 71 |
| 61370000 - Ponte do Rodrigues | 440,34 | 169,36 | 570,42 | 77 |
| 61410000 - Careaçu | 530,39 | 187,37 | 717,76 | 74 |
| 61425000 - Paraguaçu | 410,33 | 159,04 | 569,37 | 72 |
| 61429000 - Itanhandu | 354,77 | 129,69 | 484,46 | 73 |
| 61460000 - Conceição do Rio Verde | 545,83 | 176,67 | 722,50 | 76 |
| 61500000 - Fazenda Juca Casimiro | 527,92 | 195,61 | 723,53 | 73 |
| 61510000 - Três Corações | 504,83 | 174,95 | 679,79 | 74 |
| 61520000 - Chacara Santana | 398,96 | 142,69 | 541,65 | 74 |
| 61530000 - Palmela dos Coelho | 462,67 | 200,69 | 663,36 | 70 |
| 61537000 - Porto dos Buenos | 448,39 | 158,86 | 607,25 | 74 |
| 61565000 - Cachoeira Poço Fundo | 484,22 | 211,66 | 695,88 | 70 |
| 61568000 - Machado | 443,65 | 172,71 | 616,36 | 72 |
| 61610000 - Juréia | 484,04 | 168,58 | 652,62 | 74 |
| 61700000 - Usina Santana | 413,77 | 193,49 | 607,26 | 68 |

Tabela 5A: Lâmina média anual e relação entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total.

| Estação | LESub (mm) | LES (mm) | LESTotal (mm) | LESub/LETotal (%) |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| 61770000 - Fazenda Carvalhais | 410,28 | 198,02 | 608,30 | 67 |
| 61795000 - Conceição das Alagoas | 403,17 | 140,36 | 543,54 | 74 |
| 61800500 - Beira de Santa Rita | 547,50 | 168,41 | 715,92 | 76 |
| 61815000 - Guaxupé | 408,40 | 150,95 | 559,35 | 73 |
| 61826000 - Ponte do Canoas | 365,50 | 145,53 | 511,02 | 72 |
| 61861000 - Inconfidentes | 550,44 | 162,00 | 712,43 | 77 |
| 61865000 - Jacutinga | 528,31 | 153,59 | 681,90 | 77 |
| 61879000 - Lindóia | 464,64 | 180,78 | 645,42 | 72 |
| 61886000 - Pádua Sales | 387,58 | 181,35 | 568,93 | 68 |
| 61895000 - São João da Boa Vista | 459,17 | 183,87 | 643,04 | 71 |
| 61902000 - Porto Ferreira | 353,24 | 146,86 | 500,09 | 71 |

APÊNDICE B – Bacia do Paranaíba

Tabela 1B: Estações fluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude | Área |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------|-------------|
| 60010000 | Santana de Patos | -18,841 | -46,551 | 2714 |
| 60011000 | Patos de Minas | -18,602 | -46,539 | 3632 |
| 60020000 | Ponte São Marcos | -17,029 | -47,159 | 4445 |
| 60030000 | Campo Alegre de Goiás | -17,504 | -47,557 | 8386 |
| 60040000 | Fazenda São Domingos | -18,111 | -47,692 | 10659 |
| 60050000 | Davinópolis | -18,117 | -47,620 | 902 |
| 60100000 | Charqueada do Patrocínio | -18,901 | -46,966 | 69 |
| 60110000 | Abadia dos Dourados | -18,491 | -47,406 | 1906 |
| 60130000 | Fazenda Cachoeira | -18,781 | -47,408 | 125 |
| 60145000 | Iraí de Minas | -18,978 | -47,456 | 82 |
| 60150000 | Estrela do Sul | -18,738 | -47,690 | 787 |
| 60220000 | Desemboque | -20,014 | -47,017 | 1073 |
| 60250000 | Fazenda São Mateus | -19,517 | -46,570 | 1231 |
| 60265000 | Ibiá | -19,475 | -46,542 | 1307 |
| 60381000 | Fazenda Letreiro | -18,988 | -48,190 | 924 |
| 60432000 | Ribeirão das Antas | -16,298 | -48,803 | 218 |
| 60540000 | Montes Claros | -17,130 | -48,133 | 3843 |
| 60615000 | Fazenda Cachoeira | -18,698 | -48,781 | 199 |
| 60635000 | Inhumas | -16,346 | -49,494 | 568 |
| 60640000 | Montante de Goiânia | -16,614 | -49,280 | 1798 |
| 60642000 | Captação João Leite | -16,500 | -49,243 | 781 |
| 60650000 | Jusante de Goiânia | -16,681 | -49,196 | 2970 |
| 60653000 | Ribeirão das Caldas | -16,458 | -48,897 | 51 |
| 60654000 | Fazenda Sucuri | -16,914 | -49,105 | 1265 |
| 60665000 | Professor Jamil | -17,254 | -49,275 | 1198 |
| 60680000 | Ponte Meia Ponte | -18,339 | -49,611 | 11527 |
| 60715000 | Fazenda Boa Vista | -17,107 | -49,688 | 4533 |
| 60750000 | Fazenda Nova do Turvo | -17,079 | -50,289 | 2486 |
| 60765000 | Barra do Monjolo | -17,732 | -50,181 | 7583 |
| 60772000 | Fazenda Santa Maria | -17,981 | -50,247 | 16752 |
| 60774000 | Montividiu | -17,328 | -51,261 | 780 |
| 60778000 | Fazenda Monte Alegre | -17,331 | -50,774 | 850 |
| 60781000 | Ponte Rodagem | -17,326 | -50,682 | 5909 |
| 60785005 | Fazenda Paraíso | -17,466 | -50,774 | 1164 |
| 60790000 | Ponte Rio Verdão | -17,541 | -50,556 | 8643 |
| 60798000 | Maurilândia | -17,974 | -50,337 | 12660 |
| 60810000 | Fazenda Aliança | -18,105 | -50,031 | 1333 |
| 60835000 | Fazenda Paraíso | -19,244 | -48,562 | 1469 |
| 60845000 | Ituiutaba | -18,941 | -49,450 | 6154 |
| 60850000 | Fazenda Buriti do Prata | -19,360 | -49,180 | 2526 |
| 60855000 | Ponte do Prata | -19,035 | -49,697 | 5174 |
| 60870000 | Quirinópolis | -18,498 | -50,529 | 1711 |

Tabela 1B: Estações fluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude | Área |
|---------------|--------------------|-----------------|------------------|-------------|
| 60895000 | Ponte Rio Doce | -17,861 | -51,390 | 1277 |
| 60910000 | Ponte do Cedro | -17,579 | -52,601 | 703 |
| 60925001 | Ponte São Domingos | -19,208 | -50,663 | 3540 |
| 60930000 | Fazenda Formoso | -18,407 | -52,532 | 1455 |
| 60940000 | Campo Alegre | -18,512 | -52,093 | 2874 |
| 60950000 | Canastra | -19,105 | -51,126 | 6882 |
| 60960000 | Barra do Prata | -18,689 | -52,594 | 289 |
| 60968000 | Cassilândia | -19,108 | -51,721 | 4486 |
| 60970000 | Itajá | -19,106 | -51,534 | 5413 |

Tabela 2B: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|---------------------------|-----------------|------------------|
| 1547004 | Brasília | -15,790 | -47,923 |
| 1547008 | ETE Sul | -15,841 | -47,909 |
| 1547009 | ETE Norte | -15,743 | -47,877 |
| 1547010 | Contagem | -15,653 | -47,879 |
| 1547011 | Colégio Agrícola | -15,657 | -47,696 |
| 1547012 | Papuda Df 18 | -15,959 | -47,661 |
| 1547013 | Taquara | -15,632 | -47,520 |
| 1547014 | Área Alfa | -15,979 | -47,975 |
| 1547017 | Santa | -15,670 | -47,953 |
| 1547018 | Maria | -15,806 | -47,998 |
| 1547019 | ETA Cabeça de Veado | -15,891 | -47,846 |
| 1547020 | ETE Paranoá | -15,797 | -47,784 |
| 1547021 | Barreiro Df-130 | -15,839 | -47,627 |
| 1548000 | Brazlândia (Quadra 18) | -15,671 | -48,222 |
| 1548005 | Gama ETE Alagado | -16,033 | -48,046 |
| 1548006 | Taguatinga - ETA Rd | -15,793 | -48,118 |
| 1548007 | ETA - Brazlândia | -15,659 | -48,191 |
| 1548008 | Descoberto | -15,780 | -48,230 |
| 1548010 | ETE Riacho Fundo-Gm-3 | -15,886 | -48,044 |
| 1647001 | Ponte São Bartolomeu | -16,538 | -47,801 |
| 1647002 | Cristalina | -16,756 | -47,606 |
| 1647003 | Mingone | -16,156 | -47,937 |
| 1648001 | Ponte Anápolis - Brasília | -16,083 | -48,508 |
| 1648002 | Vianópolis | -16,746 | -48,525 |
| 1649000 | Anicuns | -16,465 | -49,943 |
| 1649001 | Aragoiânia | -16,912 | -49,452 |
| 1649004 | Goianópolis | -16,516 | -49,020 |
| 1649006 | Inhumas | -16,347 | -49,495 |
| 1649009 | Ouro Verde de Goiás | -16,219 | -49,198 |
| 1649010 | Palmeiras de Goiás | -16,803 | -49,929 |
| 1649012 | Trindade | -16,661 | -49,488 |
| 1649013 | Goiânia | -16,674 | -49,264 |

Tabela 2B: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| 1650003 | Turvânia | -16,609 | -50,133 |
| 1747000 | Ponte São Marcos | -17,028 | -47,158 |
| 1747001 | Campo Alegre de Goiás | -17,504 | -47,556 |
| 1747005 | Guarda-Mor | -17,773 | -47,099 |
| 1748000 | Cristianópolis | -17,192 | -48,714 |
| 1748001 | Estação Veríssimo | -17,972 | -48,175 |
| 1748004 | Marzagão | -17,983 | -48,641 |
| 1748005 | Montes Claros | -17,130 | -48,133 |
| 1748012 | Ipameri | -17,724 | -48,171 |
| 1748014 | Pires do Rio I | -17,304 | -48,271 |
| 1749000 | Edéia (Alegrete) | -17,341 | -49,930 |
| 1749001 | Fazenda Boa Vista | -17,106 | -49,691 |
| 1749002 | Joviânia | -17,809 | -49,626 |
| 1749003 | Morrinhos | -17,733 | -49,115 |
| 1749004 | Pontalina | -17,517 | -49,442 |
| 1749005 | Piracanjuba | -17,289 | -49,027 |
| 1749009 | Cromínia | -17,285 | -49,383 |
| 1750000 | Barra do Monjolo | -17,732 | -50,181 |
| 1750001 | Fazenda Nova do Turvo | -17,079 | -50,289 |
| 1750003 | Ponte Rio Verdão | -17,541 | -50,556 |
| 1750004 | Ponte Rodagem | -17,325 | -50,682 |
| 1750008 | Fazenda Paraíso | -17,466 | -50,774 |
| 1750013 | Parauna | -16,949 | -50,447 |
| 1751001 | Ponte Rio Doce | -17,856 | -51,397 |
| 1751002 | Benjamin Barros | -17,695 | -51,892 |
| 1751004 | Montividiu | -17,328 | -51,261 |
| 1752002 | Fazenda São Bernardo | -17,689 | -52,983 |
| 1752003 | Ponte do Cedro | -17,579 | -52,601 |
| 1752006 | Bom Jardim | -17,686 | -52,169 |
| 1846004 | Guimaraná | -18,850 | -46,801 |
| 1846006 | Pantano | -18,559 | -46,800 |
| 1846007 | Santana de Patos | -18,841 | -46,551 |
| 1846018 | Patos de Minas | -18,600 | -46,517 |
| 1846019 | Rocinha | -18,374 | -46,915 |
| 1847000 | Monte Carmelo | -18,721 | -47,524 |
| 1847001 | Estrela do Sul | -18,738 | -47,690 |
| 1847003 | Abadia dos Dourados | -18,491 | -47,406 |
| 1847004 | Catalão | -18,170 | -47,958 |
| 1847006 | Três Ranchos | -18,363 | -47,781 |
| 1847007 | Cascalho Rico | -18,579 | -47,879 |
| 1847010 | Iraí de Minas | -18,982 | -47,458 |
| 1847040 | Fazenda São Domingos | -18,103 | -47,695 |
| 1848000 | Monte Alegre de Minas | -18,872 | -48,869 |
| 1848004 | Fazenda Cachoeira | -18,698 | -48,782 |
| 1848006 | Tupaciguara | -18,601 | -48,691 |

Tabela 2B: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| 1848007 | Corumbazul | -18,243 | -48,859 |
| 1848008 | Brilhante | -18,492 | -48,903 |
| 1848009 | Xapetuba | -18,863 | -48,584 |
| 1848010 | Araguari | -18,651 | -48,209 |
| 1849000 | Ituiutaba | -18,941 | -49,463 |
| 1849002 | Ipiaçu | -18,692 | -49,949 |
| 1849006 | Avantiguara | -18,772 | -49,070 |
| 1849016 | Ponte Meia Ponte | -18,339 | -49,611 |
| 1849017 | Capinópolis | -18,683 | -49,567 |
| 1850000 | Ponte Sul Goiana | -18,071 | -50,172 |
| 1850001 | Fazenda Aliança | -18,105 | -50,031 |
| 1850002 | Quirinópolis | -18,498 | -50,530 |
| 1850003 | Maurilândia | -18,019 | -50,337 |
| 1851000 | Cachoeira Alta | -18,909 | -51,084 |
| 1851001 | Campo Alegre | -18,518 | -51,093 |
| 1851002 | Itarumã | -18,765 | -51,347 |
| 1851004 | Pombal | -18,093 | -51,497 |
| 1851005 | Serranópolis | -18,304 | -51,962 |
| 1852000 | Aporé | -18,967 | -51,910 |
| 1852001 | Fazenda Formoso | -18,407 | -52,527 |
| 1852002 | Indaia Grande | -18,997 | -52,587 |
| 1852003 | Cidade Chapadão Gaucho | -18,692 | -52,594 |
| 1853000 | Fazenda Taquari | -17,811 | -53,289 |
| 1853004 | Costa Rica | -18,547 | -53,135 |
| 1946004 | Ibiá | -19,475 | -46,542 |
| 1946005 | Salitre | -19,071 | -46,796 |
| 1946007 | Fazenda São Mateus | -19,517 | -46,571 |
| 1946008 | Serra do Salitre | -19,113 | -46,688 |
| 1946010 | Pratinha | -19,751 | -46,412 |
| 1946011 | Tapira | -19,927 | -46,825 |
| 1946015 | Araxá | -19,567 | -46,933 |
| 1946022 | Carmo do Paranaíba | -19,003 | -46,306 |
| 1947001 | Santa Juliana | -19,316 | -47,526 |
| 1947006 | Ponte João Cândido | -19,147 | -47,185 |
| 1947007 | Perdizes | -19,349 | -47,295 |
| 1947008 | Lagoa | -19,879 | -47,355 |
| 1947009 | Zelândia | -19,538 | -47,453 |
| 1948005 | Fazenda Paraíso | -19,247 | -48,566 |
| 1948006 | Fazenda Letreiro | -18,988 | -48,190 |
| 1949002 | Fazenda Buriti Do Prata | -19,360 | -49,180 |
| 1949003 | Gurinhata | -19,213 | -49,788 |
| 1949004 | Campina Verde | -19,542 | -49,483 |
| 1949006 | Ponte do Prata | -19,035 | -49,697 |
| 1950000 | Iturama | -19,725 | -50,192 |
| 1950011 | Ponte São Domingos | -19,208 | -50,663 |

Tabela 2B: Estações pluviométricas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------|
| 1951000 | Canastra | -19,100 | -51,149 |
| 1951001 | Itajá | -19,136 | -51,534 |
| 1951003 | Fazenda Pindorama | -19,391 | -51,609 |
| 1951004 | Arvore Grande | -19,229 | -51,875 |
| 2047037 | Desemboque | -20,014 | -47,019 |
| 2051046 | Aparecida do Taboado | -20,068 | -51,104 |

Tabela 3B: Estações climatológicas utilizadas no estudo

| Código | Estação | Latitude | Longitude |
|---------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 83368 | Aragarcas-Go | -15,900 | -52,233 |
| 83373 | Roncadour-Df | -15,933 | -47,883 |
| 83374 | Goias-Go | -15,917 | -50,133 |
| 83376 | Pirenopolis-Go | -15,850 | -48,967 |
| 83377 | Brasilia-Df | -15,783 | -47,933 |
| 83379 | Formosa-Go | -15,533 | -47,333 |
| 83423 | Goiania-Go | -16,667 | -49,250 |
| 83428 | Unai-Mg | -16,367 | -46,550 |
| 83464 | Jatai-Go | -17,883 | -51,717 |
| 83470 | Rio Verde-Go | -17,800 | -50,917 |
| 83479 | Paracatu-Mg | -17,233 | -46,883 |
| 83481 | Joao Pinheiro-Mg | -17,700 | -46,167 |
| 83514 | Capinopolis-Mg | -18,717 | -49,550 |
| 83521 | Ituiutaba-Mg | -18,967 | -49,517 |
| 83522 | Ipameri-Go | -17,717 | -48,167 |
| 83523 | Itumbiara-Go | -18,417 | -49,217 |
| 83526 | Catalao-Go | -18,183 | -47,950 |
| 83531 | Patos De Minas-Mg | -18,517 | -46,433 |
| 83533 | Bom Despacho-Mg | -19,717 | -45,367 |
| 83565 | Paranaiba-Ms | -19,750 | -51,183 |
| 83574 | Frutal-Mg | -20,033 | -48,933 |
| 83577 | Uberaba-Mg | -19,733 | -47,950 |
| 83579 | Araxa-Mg | -19,600 | -46,933 |
| 83582 | Bambui-Mg | -20,033 | -46,000 |
| 83623 | Votuporanga-Sp | -20,417 | -49,983 |
| 83630 | Franca-Sp | -20,583 | -47,367 |

Tabela 4B: Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

| Código das estações | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Anual |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 60010000 | 25,79 | 31,05 | 35,35 | 27,28 | 21,53 | 16,63 | 12,69 | 10,27 | 8,76 | 7,44 | 7,58 | 11,73 | 7,37 |
| 60011000 | 39,75 | 44,21 | 50,39 | 39,62 | 39,92 | 23,32 | 17,80 | 13,15 | 11,08 | 8,60 | 8,49 | 15,44 | 8,54 |
| 60020000 | 51,06 | 50,19 | 54,60 | 45,54 | 34,57 | 26,05 | 19,83 | 13,60 | 11,54 | 9,78 | 9,86 | 22,64 | 9,30 |
| 60030000 | 97,98 | 91,79 | 107,35 | 91,22 | 69,44 | 52,89 | 40,83 | 30,78 | 25,17 | 23,19 | 22,87 | 46,74 | 21,56 |
| 60040000 | 132,95 | 123,92 | 141,20 | 124,53 | 94,68 | 73,51 | 55,87 | 43,45 | 35,13 | 30,64 | 33,22 | 61,94 | 30,52 |
| 60050000 | 10,18 | 9,60 | 10,00 | 8,62 | 6,59 | 5,21 | 4,06 | 3,24 | 2,57 | 2,28 | 2,96 | 6,04 | 2,17 |
| 60110000 | 13,71 | 16,45 | 18,67 | 14,41 | 11,45 | 9,11 | 6,80 | 4,87 | 3,91 | 3,00 | 3,92 | 7,72 | 3,06 |
| 60130000 | 1,23 | 1,15 | 1,35 | 1,24 | 1,03 | 0,85 | 0,62 | 0,44 | 0,28 | 0,27 | 0,40 | 0,75 | 0,22 |
| 60145000 | 0,86 | 0,99 | 0,94 | 0,77 | 0,73 | 0,67 | 0,56 | 0,48 | 0,37 | 0,37 | 0,50 | 0,86 | 0,30 |
| 60150000 | 8,41 | 8,90 | 9,93 | 8,04 | 7,00 | 6,94 | 5,70 | 4,62 | 3,89 | 3,49 | 5,04 | 7,51 | 3,26 |
| 60220000 | 17,48 | 19,60 | 19,69 | 16,91 | 14,36 | 12,21 | 10,08 | 8,38 | 7,78 | 6,83 | 7,78 | 11,37 | 6,97 |
| 60250000 | 19,14 | 21,51 | 21,63 | 18,87 | 16,54 | 14,83 | 12,91 | 11,64 | 10,57 | 10,15 | 10,34 | 12,27 | 9,96 |
| 60265000 | 17,95 | 19,97 | 21,33 | 17,45 | 14,89 | 12,96 | 11,21 | 9,01 | 7,57 | 7,40 | 8,49 | 11,29 | 6,54 |
| 60381000 | 7,73 | 8,24 | 8,63 | 7,19 | 6,21 | 5,21 | 4,54 | 3,88 | 3,38 | 3,01 | 3,40 | 6,14 | 2,71 |
| 60432000 | 2,80 | 2,70 | 3,45 | 3,55 | 3,08 | 2,53 | 2,04 | 1,56 | 1,22 | 1,37 | 2,05 | 2,25 | 1,24 |
| 60540000 | 36,25 | 34,79 | 39,80 | 36,89 | 29,26 | 22,85 | 17,48 | 13,15 | 10,83 | 9,59 | 14,73 | 21,80 | 9,10 |
| 60615000 | 2,04 | 2,32 | 2,10 | 1,99 | 1,63 | 1,51 | 1,31 | 1,21 | 1,12 | 1,23 | 1,48 | 2,05 | 1,07 |
| 60635000 | 4,80 | 4,73 | 5,28 | 4,69 | 3,73 | 3,04 | 2,43 | 1,86 | 1,59 | 1,74 | 2,89 | 3,28 | 1,48 |
| 60640000 | 15,39 | 16,02 | 18,18 | 14,20 | 11,89 | 9,11 | 6,86 | 5,23 | 4,39 | 4,23 | 7,11 | 10,08 | 3,82 |
| 60642000 | 6,54 | 7,54 | 8,53 | 7,22 | 5,52 | 4,31 | 3,35 | 2,52 | 1,96 | 1,91 | 3,90 | 4,80 | 1,74 |
| 60650000 | 32,09 | 33,12 | 36,90 | 33,17 | 26,44 | 21,27 | 17,51 | 13,44 | 11,68 | 10,99 | 16,04 | 21,68 | 10,45 |
| 60653000 | 0,53 | 0,74 | 0,93 | 0,88 | 0,65 | 0,51 | 0,38 | 0,30 | 0,25 | 0,22 | 0,28 | 0,36 | 0,21 |
| 60654000 | 9,21 | 11,32 | 15,34 | 13,41 | 10,28 | 8,47 | 6,83 | 5,33 | 4,34 | 4,01 | 5,36 | 6,96 | 3,65 |
| 60665000 | 9,83 | 13,53 | 15,90 | 14,64 | 11,26 | 8,51 | 6,47 | 4,79 | 3,82 | 3,28 | 3,84 | 5,76 | 3,18 |
| 60680000 | 104,61 | 116,36 | 135,33 | 114,48 | 89,19 | 66,97 | 49,94 | 37,97 | 32,43 | 28,05 | 41,92 | 65,65 | 27,64 |
| 60715000 | 34,31 | 40,60 | 46,70 | 36,28 | 28,17 | 21,60 | 16,27 | 12,70 | 10,61 | 9,61 | 14,04 | 23,07 | 9,55 |
| 60750000 | 12,55 | 19,76 | 24,64 | 18,37 | 13,44 | 9,83 | 6,95 | 4,63 | 3,66 | 3,23 | 5,09 | 8,13 | 3,17 |
| 60765000 | 55,09 | 71,25 | 78,69 | 53,75 | 39,43 | 28,24 | 20,49 | 14,78 | 12,49 | 11,53 | 17,47 | 30,67 | 10,65 |

Tabela 4B: Valores de $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) anual e mensal para cada estação fluviométrica

| Código das estações | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Anual |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| 60772000 | 119,45 | 143,83 | 172,31 | 125,56 | 92,79 | 68,88 | 50,96 | 39,13 | 31,05 | 28,18 | 46,21 | 66,04 | 25,81 |
| 60774000 | 15,50 | 17,90 | 19,80 | 16,66 | 13,33 | 10,82 | 9,29 | 7,95 | 7,39 | 7,38 | 8,66 | 10,75 | 6,96 |
| 60778000 | 11,11 | 12,24 | 13,12 | 11,51 | 10,17 | 8,84 | 7,70 | 6,57 | 6,06 | 6,30 | 8,00 | 9,26 | 5,89 |
| 60781000 | 73,06 | 89,04 | 95,91 | 77,34 | 68,49 | 55,95 | 47,99 | 40,58 | 37,03 | 37,10 | 47,90 | 58,75 | 35,95 |
| 60785005 | 15,93 | 18,12 | 18,47 | 17,83 | 15,31 | 13,59 | 12,02 | 10,46 | 9,46 | 9,86 | 12,04 | 13,97 | 9,12 |
| 60790000 | 100,72 | 117,79 | 128,90 | 112,03 | 92,48 | 78,18 | 65,63 | 55,01 | 50,32 | 51,66 | 70,78 | 84,88 | 48,94 |
| 60798000 | 139,54 | 160,59 | 182,06 | 154,93 | 130,23 | 109,23 | 91,41 | 76,87 | 69,86 | 69,88 | 90,76 | 112,36 | 67,62 |
| 60810000 | 11,78 | 15,79 | 17,28 | 15,60 | 13,09 | 10,68 | 8,22 | 6,21 | 5,55 | 4,51 | 5,94 | 7,78 | 4,30 |
| 60835000 | 17,10 | 20,25 | 17,37 | 13,69 | 9,02 | 7,90 | 6,54 | 6,41 | 5,65 | 4,68 | 6,75 | 10,35 | 3,94 |
| 60845000 | 62,48 | 80,64 | 68,61 | 57,19 | 49,89 | 45,52 | 39,25 | 30,98 | 26,30 | 25,87 | 32,58 | 50,89 | 25,08 |
| 60850000 | 20,67 | 27,92 | 27,96 | 20,47 | 16,50 | 14,52 | 11,87 | 9,68 | 9,57 | 7,66 | 8,61 | 15,34 | 7,94 |
| 60855000 | 41,42 | 54,38 | 49,71 | 39,32 | 29,99 | 25,80 | 21,76 | 18,08 | 15,61 | 13,10 | 16,42 | 27,65 | 13,24 |
| 60870000 | 17,68 | 19,65 | 18,23 | 16,19 | 14,16 | 12,54 | 10,91 | 9,57 | 9,04 | 8,40 | 10,59 | 13,43 | 8,18 |
| 60895000 | 19,93 | 22,79 | 24,84 | 22,48 | 19,36 | 16,83 | 14,55 | 12,44 | 11,76 | 11,11 | 14,01 | 16,11 | 11,13 |
| 60910000 | 7,95 | 10,40 | 10,92 | 9,99 | 8,13 | 7,06 | 6,10 | 5,11 | 4,64 | 4,82 | 5,85 | 6,87 | 4,52 |
| 60925001 | 13,64 | 16,84 | 15,20 | 11,76 | 8,86 | 7,56 | 6,12 | 5,24 | 4,20 | 3,59 | 5,73 | 10,97 | 2,99 |
| 60930000 | 23,84 | 24,71 | 25,04 | 21,65 | 21,21 | 19,28 | 18,43 | 17,29 | 16,60 | 16,92 | 18,78 | 20,26 | 16,24 |
| 60940000 | 56,48 | 60,10 | 62,77 | 54,76 | 50,58 | 46,37 | 43,98 | 41,77 | 40,87 | 41,14 | 44,02 | 49,86 | 39,91 |
| 60950000 | 101,92 | 109,96 | 108,44 | 94,59 | 84,57 | 76,28 | 71,29 | 67,86 | 65,95 | 65,31 | 73,06 | 83,34 | 61,68 |
| 60960000 | 6,61 | 6,98 | 7,01 | 6,78 | 6,44 | 6,17 | 5,88 | 5,66 | 5,78 | 5,92 | 6,04 | 6,34 | 5,62 |
| 60968000 | 85,68 | 93,23 | 89,49 | 83,09 | 78,48 | 72,66 | 66,44 | 61,62 | 55,95 | 60,18 | 65,19 | 70,44 | 56,77 |
| 60970000 | 89,75 | 97,77 | 94,91 | 86,69 | 80,93 | 77,23 | 71,42 | 66,88 | 63,97 | 65,28 | 69,01 | 76,36 | 62,66 |

Tabela 5B: Lâmina média anual e relação entre o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial total.

| Estação | LESub (mm) | LES (mm) | LESTotal (mm) | LESub/LETotal (%) |
|----------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| 60010000 | 147,33 | 384,20 | 531,53 | 72,28 |
| 60011000 | 142,64 | 372,02 | 514,65 | 72,29 |
| 60020000 | 124,38 | 427,28 | 551,66 | 77,45 |
| 60030000 | 71,97 | 219,35 | 291,32 | 75,30 |
| 60040000 | 126,85 | 428,05 | 554,90 | 77,14 |
| 60050000 | 174,04 | 381,92 | 555,96 | 68,70 |
| 60100000 | 286,34 | 698,39 | 984,73 | 70,92 |
| 60145000 | 128,88 | 455,99 | 584,87 | 77,96 |
| 60150000 | 124,86 | 407,59 | 532,45 | 76,55 |
| 60220000 | 256,46 | 540,51 | 796,97 | 67,82 |
| 60250000 | 165,54 | 562,19 | 727,73 | 77,25 |
| 60265000 | 149,63 | 518,33 | 667,96 | 77,60 |
| 60432000 | 191,20 | 655,80 | 847,00 | 77,43 |
| 60540000 | 109,91 | 372,07 | 481,98 | 77,20 |
| 60615000 | 132,34 | 402,26 | 534,60 | 75,25 |
| 60635000 | 138,68 | 344,40 | 483,08 | 71,29 |
| 60640000 | 116,56 | 316,48 | 433,04 | 73,08 |
| 60642000 | 100,06 | 365,93 | 466,00 | 78,53 |
| 60650000 | 134,19 | 373,43 | 507,62 | 73,56 |
| 60654000 | 87,97 | 357,92 | 445,88 | 80,27 |
| 60665000 | 118,27 | 354,62 | 472,89 | 74,99 |
| 60680000 | 100,54 | 333,26 | 433,80 | 76,82 |
| 60715000 | 99,24 | 279,55 | 378,79 | 73,80 |
| 60750000 | 93,51 | 263,55 | 357,06 | 73,81 |
| 60765000 | 81,85 | 276,07 | 357,92 | 77,13 |
| 60772000 | 85,91 | 269,35 | 355,26 | 75,82 |
| 60774000 | 137,89 | 553,86 | 691,75 | 80,07 |
| 60781000 | 131,20 | 479,57 | 610,77 | 78,52 |
| 60785005 | 116,88 | 497,03 | 613,91 | 80,96 |
| 60790000 | 133,40 | 435,85 | 569,25 | 76,57 |
| 60798000 | 123,27 | 410,59 | 533,86 | 76,91 |
| 60810000 | 98,63 | 398,75 | 497,37 | 80,17 |
| 60835000 | 177,03 | 383,04 | 560,07 | 68,39 |
| 60850000 | 149,14 | 335,82 | 484,96 | 69,25 |
| 60855000 | 146,07 | 285,97 | 432,03 | 66,19 |
| 60870000 | 149,94 | 360,85 | 510,79 | 70,65 |
| 60925001 | 85,35 | 168,47 | 253,82 | 66,37 |