

FELIPE BERNARDES SILVA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARACATU: AVALIAÇÃO DO MODELO WEAP COMO FERRAMENTA DE  
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

T

S586m  
2019

Silva, Felipe Bernardes, 1988-  
Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Paracatu :  
avaliação do modelo WEAP como ferramenta de planejamento e gestão  
de recursos hídricos / Felipe Bernardes Silva. - Viçosa, MG, 2019.  
xvii, 136 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 85-92.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos - Previsão - Paracatu, Rio,  
Bacia (MG). 2. Sustentabilidade - Paracatu, Rio, Bacia (MG).  
3. Análise de superfícies de tendência. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 333.910098151

FELIPE BERNARDES SILVA

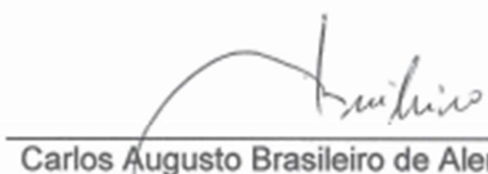
**MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
PARACATU: AVALIAÇÃO DO MODELO WEAP COMO FERRAMENTA DE  
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de janeiro de 2019.

  
Marília Carvalho de Melo

  
Michel Castro Moreira

  
Carlos Augusto Brasileiro de Alencar

  
Edson de Oliveira Vieira  
(Coorientador)

  
Demetrius David da Silva  
(Orientador)

*Ao Professor Silvio Bueno Pereira  
(in memoriam), ao meus pais,  
Marco Antônio e Elenice e a minha  
irmã Karine.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela presença em todos os momentos dessa caminhada.

Aos meus pais Marco Antônio e Elenice, pelo incentivo, amor incondicional e por nunca medirem esforços para a realização dos meus sonhos.

A minha irmã Karine, pela amizade de sempre, pela sinceridade e pela torcida.

A Laura, por sempre estar ao meu lado, pelo amor, paciência, conselhos, e por nunca me deixar desistir, mesmo nos momentos de dificuldade.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de formação acadêmica.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento dessa pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelos recursos financeiros fornecidos para a realização dessa pesquisa.

Ao professor Silvio Bueno Pereira (*in memoriam*), pela amizade, pela orientação, pela disponibilidade e conhecimentos proporcionados.

Ao professor Demetrius David da Silva, pelo apoio, amizade, orientação, incentivo e pela confiança.

Ao Edson de Oliveira Vieira pela orientação, ensinamentos, sugestões e acima de tudo pela amizade e pelas oportunidades cedidas desde a graduação.

Aos Professors Carlos Augusto Brasileiro de Alencar, Marília Carvalho de Melo e Michel Castro Moreira pela participação na banca examinadora, pela colaboração e conhecimentos proporcionados.

A Fernando Parma Junior e Isabela Piccolo Maciel, pela disposição e ajuda na condução do trabalho.

Aos meus amigos do Centro de Referência em Recursos Hídricos, pela convivência agradável, apoio e principalmente pela amizade.

Aos meus amigos de República Vitor, Vinicius e Guilherme, pela ótima convivência e amizade.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desse trabalho.

*“Tudo que está no plano da  
realidade já foi sonho um dia.”  
Leonardo da Vinci.*

## **BIOGRAFIA**

FELIPE BERNARDES SILVA, filho de Marco Antônio da Silva e Elenice Francisco Bernardes da Silva, nasceu em 27 de outubro de 1988, na cidade de Corinto, MG.

Em 2008, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, MG, graduando-se em março de 2013.

Em abril de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2015.

Atualmente, é discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de doutorado, submetendo-se à defesa de tese em janeiro de 2019.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xvi
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 A BACIA DO RIO PARACATU .....	4
2.2 ESCASSEZ HÍDRICA E CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PARACATU.....	7
2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	10
2.3.1 Contextualização.....	10
2.3.2 Modelagem hidrológica como ferramenta de planejamento e gestão .....	12
2.3.3 Modelos hidrológicos para o planejamento e gestão de recursos hídricos .....	16
2.3.4 O modelo <i>Water Evaluation And Planning</i> - WEAP.....	19
2.4 CENÁRIOS DO INTERNAGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC .....	22

2.5	ANÁLISES DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS .....	24
2.5.1	Teste de Mann-Kendall .....	24
2.5.2	Teste de Run.....	25
2.5.3	Teste de Pettitt .....	26
2.6	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	27
2.6.1	Confiabilidade/Segurança .....	27
2.6.2	Resiliência.....	28
2.6.3	Vulnerabilidade.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
3.2	ANÁLISES DE TENDÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS.....	31
3.2.1	Base de dados.....	31
3.2.2	Análises de tendência em séries temporais .....	33
3.2.3	Uso e cobertura da terra.....	33
3.3	CALIBRAÇÃO DO MODELO WEAP .....	35
3.3.1	<i>Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)</i> .....	35
3.3.2	Calibração e validação .....	38
3.3.2.1	Dados climáticos.....	38
3.3.2.2	Dados fluviométricos .....	42
3.3.2.3	Uso e cobertura da terra e tipos de solo.....	44
3.3.2.4	Dados de demanda pelo uso da água .....	45
3.3.2.5	Estatísticas de ajuste do modelo .....	48
3.4	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS.....	50
3.5	ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1	ANÁLISE DE TENDÊNCIA .....	53

4.1.1	Uso e cobertura da terra .....	53
4.1.2	Tendência série anual.....	60
4.1.3	Tendência série mensal .....	62
4.2	CALIBRAÇÃO DO MODELO WEAP .....	69
4.3	CENÁRIOS FUTUROS.....	75
4.4	ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE .....	78
5	CONCLUSÕES .....	84
6	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXOS.....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Paracatu. ....	4
Figura 2 - Área de estudo contemplada na bacia do rio Paracatu. ....	30
Figura 3 - Estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas. ....	31
Figura 4 - Esquema do armazenamento de água do solo com duas camadas, mostrando as diferentes entradas e saídas para um dado tipo de cobertura da terra ou tipo de cultura, j. ....	35
Figura 5 - Divisão da área de estudo em 10 sub-bacias para aplicação do método Rainfall Runoff (Soil Moisture Method). ....	37
Figura 6 - Fluxograma das etapas de calibração do modelo WEAP na bacia do rio Paracatu. ....	38
Figura 7 - Estações climatológicas utilizadas na calibração do WEAP. ....	39
Figura 8 - Estações pluviométricas utilizadas na calibração do WEAP. ....	41
Figura 9 - Estações fluviométricas utilizadas para a calibração do modelo WEAP. ....	43
Figura 10 - Tipos de solo na área de estudo. ....	45
Figura 11 - Outorgas e usos insignificantes na área de estudo. ....	47
Figura 12 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1985. ...	53
Figura 13 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1990. ...	54
Figura 14 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1995. ...	54
Figura 15 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2000. ...	55
Figura 16 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2006. ...	55
Figura 17 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2011. ...	56
Figura 18 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2014. ...	56

Figura 19 - Uso e cobertura da terra a montante das estações: (a) 42251000; e (b) 42257000.....	59
Figura 20 - Uso e cobertura da terra a montante das estações: (a) 42290000; e (b) 42395000.....	59
Figura 21 - Uso e cobertura da terra a montante da estação 42690001.....	59
Figura 22 - Comportamento dos dados de vazões para as estações fluviométricas que apresentaram tendência anual ao longo da série histórica (1980 a 2014).....	61
Figura 23 - Comportamento dos dados de precipitação ao longo da série histórica das estações que apresentaram tendência mensal. ....	67
Figura 24 - Evolução das demandas de água a montante das estações fluviométricas utilizadas para fins de calibração do WEAP.....	69
Figura 25 - Vazões observadas e estimadas nas estações utilizadas para a calibração e validação do modelo WEAP. ....	72
Figura 26 - Demandas de água para a agricultura irrigada em cada sub-bacia da área de estudo considerando: (a) demanda fixa; e (b) demanda crescente da irrigação. ....	75
Figura 27 - Médias anuais (2015 a 2030) das projeções futuras dos parâmetros climáticos para as RCP's 4.5 e 8.5, obtidas dos modelos climáticos globais CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5. ....	76
Figura 28 - Índices de Confiabilidade Volumétrica – Rel, Vulnerabilidade – Vuln, Déficit Máximo – Max.Def., Resiliência – Res, Sustentabilidade – SI dos recursos hídricos para os cenários S1, S2, S3 e S4 para as sub-bacias que compõem a área de estudo. ....	78
Figura 29 - Índice de sustentabilidade dos Recursos Hídricos para a área de estudo nos quatro diferentes cenários. ....	80
Figura 30 - Índice de sustentabilidade da irrigação para as sub-bacias que compõe a área de estudo nos quatro diferentes cenários. ....	81
Figura 31 - Índice de sustentabilidade da irrigação para a área de estudo nos quatro diferentes cenários. ....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para a análise de tendência na área em estudo .....	32
Tabela 2 - Estações fluviométricas utilizadas para a análise de tendência na área em estudo .....	32
Tabela 3 - Estações climatológicas utilizadas na calibração do modelo WEAP .....	40
Tabela 4 - Estações pluviométricas utilizadas na calibração do WEAP.....	42
Tabela 5 - Estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo WEAP .....	43
Tabela 6 - Uso e cobertura da terra para os anos analisados. ....	57
Tabela 7 - Tendência na série histórica total de vazões média e mínima e ponto de mudança para as cinco estações fluviométricas adotadas no estudo .....	60
Tabela 8 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão máxima ( $Q_{\max \text{ mensal}}$ ), caráter da tendência e ponto de mudança.....	63
Tabela 9 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão média ( $Q_{\text{med mensal}}$ ), caráter da tendência e ponto de mudança .....	64
Tabela 10 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão mínima com 7 dias de duração ( $Q_7 \text{ mensal}$ ), caráter da tendência e ponto de mudança .....	65
Tabela 11 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de precipitação, caráter da tendência e ponto de mudança .....	67

Tabela 12 - Média dos valores mensais calibrados do parâmetro PFD para cada sub-bacia.....	70
Tabela 13 - Valores mensais calibrados do parâmetro RRF para cada classe de uso da terra.....	70
Tabela 14 - Valores calibrados dos parâmetros SWC, RZC, DWC e DC para cada sub-bacia.....	70
Tabela 15 - Estatísticas de ajuste do modelo WEAP na calibração (2000 - 2009).....	73
Tabela 16 - Estatísticas de ajuste do modelo WEAP na validação (2010 - 2014).....	73
Tabela 17 - RMSE e MAE ( $m^3 s^{-1}$ ) aplicados às vazões mínimas previstas e observadas .....	74

## RESUMO

SILVA, Felipe Bernardes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2019. **Modelagem hidrológica na bacia do rio Paracatu: Avaliação do modelo WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientador: Edson de Oliveira Vieira.

O rápido crescimento populacional assim como outras atividades usuárias de água aliado às mudanças climáticas vem promovendo pressão sobre os recursos naturais em todo o mundo, sobretudo nos recursos hídricos. A demanda por água para suprir a necessidade das culturas pela irrigação é um dos principais tipos de captação de água dos rios, fato que não difere na bacia do Paracatu. Essa bacia se destaca pela intensa atividade agrícola, principalmente da agricultura irrigada e, conseqüentemente, pelos potenciais conflitos entre os demais usuários da água. Análises da sustentabilidade dos recursos hídricos considerando cenários futuros são fundamentais para antecipar possíveis conflitos e auxiliar no processo de gestão da água, porém ainda são pouco utilizados. Modelos hidrológicos, tais como o o *Water Evaluation and Planning System* – WEAP, surgiram para viabilizar o planejamento e gestão dos recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica e são ferramentas que podem auxiliar a análise de cenários futuros. Desta forma, o objetivo geral do trabalho foi avaliar o modelo hidrológico WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos em um trecho da bacia do rio Paracatu-MG, Brasil. A área de estudo foi subdividida em dez sub-bacias. para utilização do WEAP foram analisadas as mudanças do uso e cobertura da terra de 1985 a 2014, e tendências das vazões

máximas, médias e mínimas ( $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$ ,  $Q_{min}$ ) em série histórica anual e mensal de 1980 a 2017. O modelo WEAP foi calibrado (2000-2009) e validado (2010-2014), apresentando coeficiente Nash elevados, entre 0,89-0,91. Com base na modelagem hidrológica com o WEAP, cenários futuros foram projetados para RCP 4.5 e 8.5 (cenários do IPCC), considerando e desconsiderando o aumento da área irrigada até 2030. Índices de sustentabilidade foram gerados para cada sub-bacia em estudo. Para o cenário mais pessimista, RCP 8.5 com o aumento da demanda pela irrigação até 2030, os índices de sustentabilidade para todas as sub-bacias foram reduzidos, principalmente na sub-bacia do ribeirão Entre-Ribeiros. O WEAP comprovou ser uma ferramenta com grande potencial de uso para planejamento e gestão de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

SILVA, Felipe Bernardes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2019. **Hydrological modeling in the Paracatu river basin: Using the WEAP model as a tool for water resources planning and management.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-adviser: Edson de Oliveira Vieira.

The fast population growth as well as others user water activities combined with climate change has been putting pressure on natural resources around the world, especially in water resources. The demand for water to supply the need of crops through irrigation is one of the main types of withdrawal water from rivers a fact that does not differ in the Paracatu basin. This watershed stands out for its intense agricultural activity, mainly irrigated agriculture. Analyzes of the sustainability of water resources considering future scenarios are fundamental to anticipate possible conflicts and help in the process of water management, but are still limited. Hydrological models, such as the Water Evaluation and Planning System (WEAP), were created for the planning and management of water resources at the river basin level and are tools that can aid in the analysis of future scenarios. In this way the general objective of the work is to evaluate the WEAP hydrological model as a tool for planning and management of water resources in a section of the Paracatu-MG river basin, Brazil. This study area was subdivided into ten sub-basins. To use WEAP Model, land use and land cover changes from 1985 to 2014 and trends of maximum, medium and minimum flows ( $Q_{max}$ ,  $Q_{med}$ ,  $Q_{min}$ ), in an annual and monthly historical series from 1980-2017 were analyzed. The WEAP model was calibrated (2000-2009) and validated (2010-2014, showing high Nash coefficient, between 0.89-0.91. Through the modeling, future scenarios were

designed for RCP 4.5 and 8.5 (IPCC scenarios), considering and disregarding the increase of irrigation until 2030. Sustainability indexes were generated for each sub-basin under study. For the most pessimistic scenario, RCP 8.5 with increasing demand for irrigation by 2030, sustainability indices for all basins were reduced, mainly in the sub-basin of the Entre-Ribeiros. WEAP proved to be a tool with great potential for water resource planning and management at the river basin level.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização da água para múltiplos fins se dá pelo fato de a mesma ser parte integrante da quase a totalidade dos processos produtivos, além de suprir as necessidades hídricas da população. Desde a sua retirada ocorrem perdas que promovem alterações na sua quantidade, bem como na sua qualidade, conforme o fim para qual se destina (NASCIMENTO, 2011).

O rápido crescimento populacional aliado às mudanças climáticas promovera nas últimas décadas grande pressão sobre os recursos naturais em vários locais do mundo, principalmente sobre o uso da terra e os recursos hídricos (SAFAVI; GOLMOHAMMADI; SANDOVAL-SOLIS, 2015).

Segundo *World Water Assessment Programme – WWAP* (WWAP, 2015) espera-se que até 2050 a demanda mundial por água aumente em 55% e, conforme previsão da Organização das Nações Unidas (ONU), até o ano de 2025, aproximadamente um terço da população mundial irá sofrer com escassez crônica de água, se os atuais padrões de consumo continuarem (SHINDE, 2005).

Os estudos realizados pelo *International Irrigation Management Institute – IIMI* revelam que a água será o fator limitante ao processo produtivo no decorrer do século XXI em vários locais do mundo (BRASIL, 2006). Sendo assim, é imprescindível um planejamento adequado da sua utilização de acordo com seus limites, uma vez que as captações de água doce aumentaram sete vezes a nível mundial no século XX (GLEICK, 2000).

Dentre os setores usuários da água no Brasil, a agricultura irrigada é o principal em relação às vazões de retiradas, correspondendo a 55% da vazão, seguida do abastecimento humano urbano, indústria, uso animal e abastecimento humano rural, com 22%, 15%, 6% e 2%, respectivamente. Já em relação à vazão consumida, a irrigação representa 75%, seguida do abastecimento animal, abastecimento humano urbano, indústria e abastecimento humano rural, com 9%, 8%, 6% e 2%, respectivamente (ANA, 2015).

Apresentando um avanço expressivo no que se refere à agricultura irrigada, a bacia do rio Paracatu teve um crescimento de 73 vezes na área irrigada e 62 vezes na vazão consumida, considerando apenas o período de

1970 a 1996 (RODRIGUEZ, 2004). O crescimento da irrigação vem comprometendo a sustentabilidade dos recursos hídricos na região, uma vez que em muitos locais é praticada sem as devidas preocupações com a eficiência do sistema de irrigação ou até mesmo excedendo os limites outorgados, tendendo a criar um cenário de escassez e, conseqüentemente, de conflitos pelo uso da água entre os usuários.

De maneira geral, ações que alteram abruptamente o uso e ocupação do solo, como o aumento das áreas irrigadas ou a substituição de florestas nativas por pastos, promovem conseqüências diretas no ciclo hidrológico, uma vez que afetam a dinâmica da água na bacia hidrográfica. Essas mudanças representam expressivas alterações não só na disponibilidade hídrica, mas também no ecossistema como um todo.

Diversas bacias hidrográficas espalhas pelo mundo possuem esse panorama, o que remete a uma degradação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos. Aliado a escassez dos recursos hídricos, o aumento da demanda pelo uso da água impõe uma pressão ainda maior sobre o planejamento e a gestão de recursos hídricos, uma vez que torna necessário lidar não só com conservação da água na bacia hidrográfica, mas também garantir que os múltiplos usuários tenham acesso a esse bem. Portanto, os desafios referentes ao gerenciamento dos recursos hídricos ocorrem devido à complexidade hidrológica aliada à questão socioeconômica da utilização da água em bacias hidrográficas (BERGER et al., 2006).

Historicamente, o planejamento e a gestão de recursos hídricos ocorriam de forma fragmentada, ou seja, muitas vezes não se considerava o efeito que um segmento usuário promovia nos demais segmentos e na disponibilidade hídrica, o que resultou na degradação de muitas bacias hidrográficas pelo mundo, principalmente naquelas de regiões semiáridas (SAFAVI; GOLMOHAMMADI; SANDOVAL-SOLIS, 2015).

Segundo LUDWIG; SLOBBE; COFIN (2014), o conceito de gestão integrada dos recursos hídricos (*Integrated Water Resources Management – IWRM*) tornou-se indispensável em locais onde os recursos hídricos são limitados. Esse conceito tem como princípio equilibrar a disponibilidade de água com a demanda das atividades humanas e, ao mesmo tempo, atender

às necessidades ambientais, considerando as fontes de água disponíveis (DUKHOVNY, V. A., SOKOLOV, 2005; MOLINOS-SENANTE et al., 2014)

Especialistas em planejamento e gestão de recursos hídricos acreditam que a modelagem dos recursos hídricos é um requisito fundamental que facilita a aplicação do IWRM em nível de bacias hidrográficas. Nesse sentido, o *Water Evaluation and Planning System* - WEAP pode ser utilizado para o planejamento em nível de bacia hidrográfica, permitindo a avaliação do efeito das políticas de alocação de água atuais e futuras, o efeito das captações a fio d'água e em reservatórios, a análise das demandas de água pelos setores usuários, a modelagem chuva-vazão, o balanço hídrico, a modelagem da qualidade da água, o transporte de sedimentos e a administração dos recursos hídricos (MUGATSI, 2010).

Dessa maneira, o objetivo geral do trabalho foi avaliar o modelo hidrológico WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos em um trecho da bacia do rio Paracatu, no Estado de Minas Gerais. Por conseguinte, os objetivos específicos foram:

- Analisar a tendência dos dados de vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rio Paracatu e correlacionar com o uso do solo em sua área de drenagem;
- Calibrar e validar o modelo WEAP para um trecho da bacia do rio Paracatu;
- Simular diferentes cenários futuros com base nas mudanças climáticas e no aumento da área irrigada;
- Gerar índices de Confiabilidade/Segurança, Vulnerabilidade, Resiliência, Sustentabilidade para a área de estudo conforme os cenários futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A BACIA DO RIO PARACATU

A bacia do rio Paracatu localiza-se na região noroeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1), sendo seu processo de ocupação bastante antigo, mais precisamente do período colonial, iniciado por bandeirantes, com origem nas atividades de mineração e pecuária (ALMEIDA, 2009).

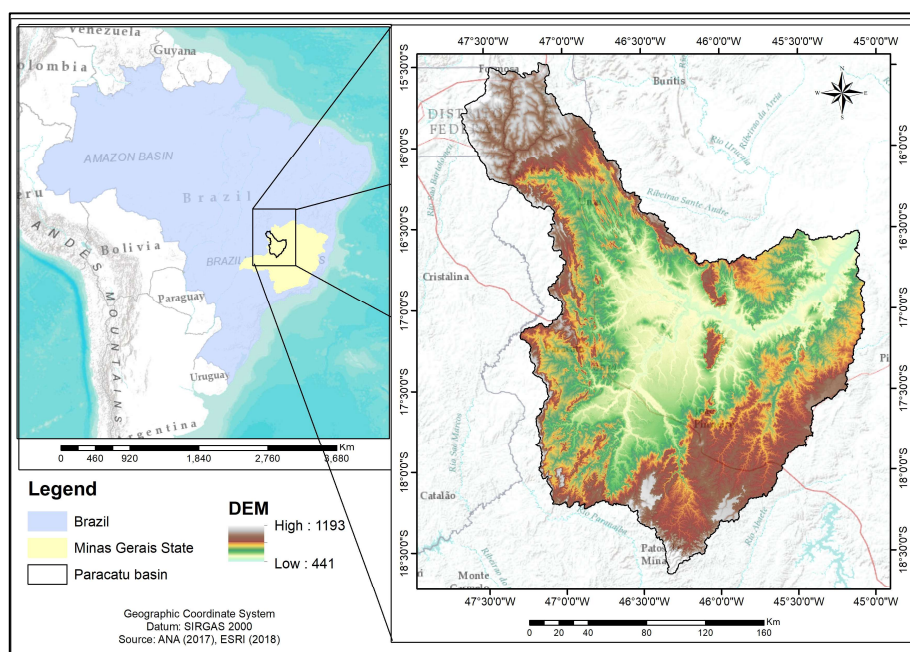


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Paracatu.

A bacia do rio Paracatu possui 45.600 km<sup>2</sup>, sendo que 92% do total encontra-se no Estado de Minas Gerais, 5% no Estado de Goiás e 3% no Distrito Federal (IGAM, 2006). Em relação à vazão, o rio Paracatu é o segundo maior afluente da margem esquerda do rio São Francisco, sendo responsável por uma contribuição real para a formação da vazão deste rio da ordem de 18,2% (PEREIRA et al., 2007).

De sua nascente, localizada próxima ao Povoado de Almas, no município de Lagamar (região Sul da bacia), até sua foz (localidade de Cachoeira da Manteiga) a calha principal do rio Paracatu tem uma extensão de 485 km.

O período chuvoso inicia-se no mês de outubro (caracterizando o início do ano hidrológico) e finaliza no mês de abril (Lima 2014). O ano hidrológico termina no mês de setembro do ano seguinte, mês no qual se observam os

menores valores de vazão. De novembro a abril é comum a ocorrência de picos de cheia, em decorrência do regime pluviométrico, principalmente nos meses de dezembro e março.

O clima predominante na bacia é o tropical chuvoso, cuja característica é a concentração das chuvas nos meses de outubro a abril, sendo o trimestre mais chuvoso correspondente aos meses de novembro, dezembro e janeiro. Conforme a classificação de Köppen, o clima é do tipo megatérmico chuvoso, Aw, com temperaturas elevadas e chuvas concentradas. As temperaturas médias anuais situam-se na faixa entre 21°C e 24°C, sendo os maiores valores comumente encontrados nas áreas de depressão do relevo, especificamente na região leste da bacia. As temperaturas mais elevadas ocorrem com maior frequência no mês de setembro, com valores médios na faixa de 28,3°C a 31,7°C. Já as mínimas ocorrem no mês de julho, com valores na ordem de 11,8°C a 13,4°C. É característica da região grandes oscilações na umidade relativa do ar entre as estações de verão e inverno, com valores médios entre 50 e 80%, respectivamente (IGAM, 2006).

O comportamento do regime pluviométrico é determinado pela ação do anticiclone semifixo do Atlântico Sul, da massa de ar tropical continental e das correntes perturbadas de oeste, que fazem com que a bacia apresente uma distribuição irregular dos totais precipitados. Como resultado, é notório um comportamento decrescente no sentido oeste para leste da bacia (BRASIL, 1988), influenciado também pelas elevadas altitudes nas porções oeste e sul da bacia (Figura 1). A precipitação média anual é de 1.338 mm, sendo evidenciado uma evapotranspiração média anual de 1.140 mm (MOREIRA, 2006).

A bacia do rio Paracatu apresenta, basicamente, três unidades de relevo: Planalto do São Francisco, Depressão Sanfranciscana e Cristas de Unaí. As cotas variam de 440 metros até 1.193 metros (IGAM, 2006).

A região noroeste de Minas, onde se encontra a bacia do rio Paracatu, apresenta um processo de ocupação bastante antigo, promovido, em grande parte, pelas atividades de mineração e pecuária. A mineração intensificou-se com a descoberta do ouro em Goiás, atraindo migrantes de diversas partes do país, que por sua vez criaram pequenos núcleos de ocupação na bacia do Paracatu, caracterizados como ponto de passagem aos migrantes.

Posteriormente, esses locais deram origem a grandes extensões de terra para a criação de gado, das quais algumas se tornaram, mais tarde, núcleos urbanos. Na década de 1960, com a criação da cidade de Brasília, a região passou a apresentar um contingente populacional maior, reduzindo o chamado isolamento geográfico (IGAM, 2006).

## 2.2 ESCASSEZ HÍDRICA E CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PARACATU

A bacia do rio Paracatu possui como característica marcante a existência de diversos tipos de usuários de água. Durante muito tempo não houve preocupação sobre a influência que um setor exercia sobre o outro e as possíveis consequências desta influência. Os relatos de conflitos na bacia do São Francisco surgiram com a construção das primeiras usinas hidrelétricas que, em decorrência da regularização das vazões, modificaram as cheias que comumente ocorriam nos meses de março e fevereiro, comprometendo a tradição da população ribeirinha de cultivar arroz e criar peixes (BRASIL, 2006).

Atualmente os maiores problemas em relação aos conflitos pelo uso da água na bacia do Paracatu ocorre nos seus afluentes Preto e Entre-Ribeiros, por possuírem extensas áreas irrigadas.

Dentre várias bacias hidrográficas brasileiras que apresentam um cenário atual de insustentabilidade dos recursos hídricos, a bacia do rio Paracatu se destaca pela intensa atividade agrícola, principalmente a agricultura irrigada. Esta bacia apresentou, ao longo das últimas décadas, alterações expressivas no uso e ocupação do solo, como a substituição de áreas de vegetação nativa por áreas de cultivo ou por pastagens, intervenções essas que influenciaram expressivamente no ciclo hidrológico.

As atividades de maior relevância na bacia do Paracatu são a agricultura, pecuária e a exploração mineral (REZENDE, 2013). No passado a agricultura praticada na bacia do rio Paracatu era de sequeiro, porém, com o passar dos anos, este sistema de produção foi perdendo espaço para a agricultura irrigada.

Atualmente a agricultura irrigada é responsável pela maior produtividade e geração de riquezas do setor. Estímulos governamentais na década de 1980 promoveram o desenvolvimento da agropecuária na região, principalmente da agricultura irrigada. Contudo, tal exploração tem se tornado preocupante, pois tem interferido nos recursos hídricos da bacia (IGAM, 2006).

A agricultura irrigada é o setor que mais consome água na bacia do Paracatu, ocupando uma área de aproximadamente 123.000 ha (ANA, 2015).

Dentre os cultivos presentes na bacia, aqueles que apresentam maior demanda de água em virtude de sua expressiva área irrigada são as culturas da soja e do milho, que possuem uma estimativa de 44% e 33% da área irrigada, respectivamente. (RODRIGUEZ et al., 2007).

Foi constatado no período de 1970 a 1996, para uma área que abrange 88% da bacia do rio Paracatu, um aumento de 73 vezes na área irrigada e de 62 vezes na vazão consumida por este setor (RODRIGUEZ et al., 2007)

Um importante afluente da bacia do Paracatu é o ribeirão Entre-Ribeiros. Esta bacia abrange uma área de aproximadamente 3.963 km<sup>2</sup>, incluída dentro dos limites territoriais dos municípios de Paracatu e Unaí, na Mesorregião Geográfica do Noroeste do Estado de Minas Gerais, apresentando um cenário problemático em relação à questão ambiental desde a sua ocupação. Um estudo realizado por PEREIRA et al. (2007) apresentou que na sub-bacia do ribeirão Entre-Ribeiros eram concentrados 46% da área irrigada e 41% da vazão consumida na bacia do Paracatu.

RODRIGUEZ (2004) evidenciou que das 21 estações que apresentavam dados fluviométricos na bacia do Paracatu, as duas que sofreram maior impacto da irrigação na vazão estavam localizadas nas sub-bacias do ribeirão Entre-Ribeiros (captação de 47% da Q<sub>95</sub> e 85% da Q<sub>7,10</sub>) e do rio Preto (captação de 19,2% da Q<sub>95</sub> e 38,3% da Q<sub>7,10</sub>).

Sendo assim, SOUZA (2008) menciona que a bacia do rio Paracatu necessita de procedimentos confiáveis para a estimativa da disponibilidade hídrica e de um modelo de gestão eficiente, visto o complexo quadro de conflitos pelo uso da água que possui.

Os conflitos pelo uso da água na bacia do rio Paracatu ocorrem de forma pontual, considerando o aspecto quantitativo, ou seja, de forma global a vazão disponível atende as demandas de água na bacia. Contudo, as demandas não têm distribuição uniforme, se concentrando mais ao norte da bacia e na região central, mais precisamente nas sub-bacias dos rios Preto e Entre Ribeiros. Nesse contexto, o emprego da modelagem hidrológica no processo de gestão de recursos hídricos poderia ser uma alternativa, visto que essa ferramenta possibilita a análise da bacia hidrográfica tanto em nível local quanto global, permitindo analisar não somente aspectos relacionados a bacia como um

todo, mas também aspectos de caráter local, considerando para tanto as peculiaridades de cada sub-bacia dentro do sistema.

## 2.3 MODELOS HIDROLÓGICOS APLICADOS AO PLANEJAMENTO E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

### 2.3.1 Contextualização

Atualmente é sabido que a população mundial irá apresentar crescimento expressivo até o próximo século. Este crescimento ocorrerá em grande parte em países em desenvolvimento, locais onde são comuns problemas relacionados à água potável e saneamento básico, assim como o seu adequado fornecimento para população (BOUWER, 2000). Ademais, a crescente utilização da água na agricultura irrigada e o desenvolvimento da indústria, aliado às mudanças climáticas registradas nas últimas décadas, têm promovido progressiva pressão nos recursos hídricos em quase todo o globo terrestre (SAFAVI; GOLMOHAMMADI; SANDOVAL-SOLIS, 2015).

As políticas tradicionais priorizaram o desenvolvimento das atividades econômicas em detrimento da preservação ambiental. Atualmente, a demanda por água, seja para consumo doméstico, irrigação, indústria ou produção de energia elétrica, resulta em um panorama onde é necessária a compatibilização entre os usos, de modo a equilibrar as necessidades humanas com a dos ecossistemas nos quais estão inseridos.

Segundo Ludwig; Slobbe; Cofin (2014), ao longo da história a gestão de recursos hídricos era tratada de forma fragmentada, o que promoveu, no decorrer do tempo, a degradação dos rios e corpos d'água em muitas bacias hidrográficas espalhadas pelo mundo, principalmente naquelas situadas em regiões de clima semiárido. Neste contexto, a adoção da Gestão Integrada de Recursos Hídricos ou *Integrated Water Resources Management* – IWRM é indispensável para otimizar a utilização da água entre os diversos usuários, principalmente onde este recurso é limitado.

A IWRM está arraigada no conceito de desenvolvimento sustentável, definido como o desenvolvimento para “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”, conforme a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ZHANG et al., 2007). Seu objetivo é balancear a disponibilidade e a demanda de água, considerando as necessidades humanas, as necessidades ambientais, e todas as fontes de água, quer sejam

superficiais, subterrâneas ou de reuso (MOLINOS-SENANTE et al., 2014). A IWRM aborda não somente os aspectos físicos relacionados aos processos hidrológicos, é uma atividade que requer o conhecimento de uma vasta gama de disciplinas que podem interferir no modo como a água é utilizada.

A gestão integrada de recursos hídricos surge como alternativa à crescente pressão que os recursos hídricos vêm sofrendo devido ao crescimento da população e da evolução socioeconômica. A escassez de água, assim como deterioração da sua qualidade, está obrigando muitos países a reconsiderarem suas opções no que se refere à gestão de recursos hídricos.

A abordagem anteriormente utilizada em todo mundo era baseada na oferta de água, porém, atualmente surge um novo conceito de abordagem multisetorial, com base na procura. Os profissionais que atuam na área de recursos hídricos, a partir do final do século passado, focaram na formulação de planos de desenvolvimento integrados e multifuncionais, com base em opções alternativas de gestão estrutural e não estrutural (LOUCKS et al., 2005).

SAFAVI; GOLMOHAMMADI; SANDOVAL-SOLIS (2015) comentam que para muitos cientistas especializados a modelagem é imprescindível para a aplicação da Gestão Integrada de Recursos hídricos em nível de bacias hidrográficas. Segundo estes autores, modelos são capazes de organizar todas as informações relacionadas à disponibilidade de água juntamente com a demanda de água dos setores usuários, considerando vários aspectos, inclusive a infraestrutura existente.

### 2.3.2 Modelagem hidrológica como ferramenta de planejamento e gestão

Modelos hidrológicos ajudam na compreensão do que acontece no presente, com base em informações do passado das bacias hidrográficas, permitindo analisar as implicações das decisões voltadas ao manejo e nas mudanças que ocorreram ou que podem ocorrer ao longo do tempo, como mudanças climáticas, por exemplo (JOHNSTON; SMAKHTIN, 2014).

Modelos são simplificações da realidade, sendo que as características que são incorporadas ao modelo dependem, em grande parte, do que os desenvolvedores consideram importantes para representação de um processo. São baseados em algumas suposições, sendo que algumas delas podem considerar simplificações, enquanto outras podem levar a aproximações significativas da realidade. Na literatura existe uma enorme quantidade de modelos disponíveis, porém, muitos autores descrevem a existência de uma lacuna entre a teoria e a prática em relação ao planejamento e a gestão de recursos hídricos (SIMONOVIC, 1992);

Conforme citam YATES et al. (2005a), os modelos tendem a concentrar seus esforços na compreensão da dinâmica da água nas bacias hidrográficas em resposta a eventos hidrológicos, ou na alocação da água que fica disponível em resposta a esses eventos. Existem vários modelos que possuem esse tipo de abordagem, dentre os quais destaca-se o *Soil and Water Assessment Tool* - SWAT (ARNOLD; ALLEN, 2003). Considerado por muitos como o modelo de maior visibilidade em todo mundo, o SWAT está apto para a aplicação em bacias hidrográficas agrícolas, sendo utilizado como ferramenta para estudar aspectos quantitativos do escoamento, perda de sedimentos e nutrientes em áreas agricultáveis, além de abordar questões referentes a qualidade da água (ARNOLD et al., 2012).

Contudo, a sociedade está cada vez mais interessada em saber como se dá a gestão de recursos hídricos face às questões ambientais e socioeconômicas, o que têm promovido o desenvolvimento de uma nova classe de modelos que possuem a capacidade de facilitar a participação dos interessados em todas as etapas do processo de tomada de decisão. Esses modelos são chamados de sistemas de apoio à decisão, e têm como objetivo analisar e estimar vários impactos associados ao uso da água e, em alguns

casos, as políticas e práticas de gestão de bacias hidrográficas. São projetados para serem ferramentas flexíveis, aplicadas à maioria, senão a todas, as bacias hidrográficas, não importando sua localização. Podem ser utilizadas para identificação e avaliação de políticas e práticas preferenciais de gestão (ASSAF et al., 2008).

Em décadas passadas, na Gestão Integrada de Recursos Hídricos havia a dominância da abordagem de cima para baixo (*top-down*), ou seja, poucas instituições ou entidades possuíam a capacidade e a autoridade para desenvolver e implementar um plano de gestão. Contudo, no contexto atual, pede-se uma menor responsabilidade governamental tanto na regulação quanto no controle das atividades que envolvem o planejamento e a gestão, colocando em desuso a abordagem "*top-down*". Desde 2005, o planejamento e a gestão de recursos hídricos têm promovido o engajamento de todas as partes envolvidas, ou seja, aquelas que de alguma forma são afetadas pelo modo de como a água é gerida em determinada localidade (LOUCKS et al., 2005).

A sociedade civil, juntamente com as organizações não governamentais, bem como os profissionais das áreas de recursos hídricos das agências de governo, está tentando trabalhar cada vez mais em conjunto. Dessa maneira, a abordagem "*top-down*" está sendo substituída pela abordagem "*bottom-up*" (de baixo para cima). Para o sucesso dessa abordagem as partes interessadas devem ser envolvidas o mais cedo possível no processo de tomada de decisão, não sendo apenas expectadoras ou assessoras. Experiências tem comprovado que a aplicação de planos, mesmo que tecnicamente impecáveis, apresentam poucas chances de sucesso se não forem consideradas as preocupações dos atores locais afetados. O planejamento "*bottom-up*" visa alcançar uma visão compartilhada das metas e das prioridades entre todas as partes interessadas, considerando para tanto todas as leis e regulamentos aplicáveis.

Devem focar na identificação e avaliação de múltiplas alternativas e critérios de desempenho, incluindo critérios de sustentabilidade, buscando atender aos anseios de cada interessado, fazendo uso de tecnologia de informação moderna e visando dinamizar o processo e o produto final. Dentre essas tecnologias podem-se citar Sistemas de Informação Geográfica - SIG,

Sensoriamento remoto e Sistemas ou modelos de apoio à decisão (LOUCKS et al., 2005).

Cada modelo possui características próprias, como dados de entrada, exibição dos resultados e políticas para gestão de recursos hídricos no espaço e no tempo. As saídas ou os resultados destes modelos permitem descrever os impactos de políticas de gestão da água. Além disso, fornecem um meio para os atores ou interessados visualizarem, de maneira compartilhada, como o sistema de recursos hídricos funciona, assim como os possíveis impactos econômicos, ambientais, hidrológicos e/ou ecológicos das políticas de desenvolvimento e das políticas alternativas de gestão (ASSAF et al., 2008).

Os diferentes sistemas de apoio à decisão podem apresentar variações em relação ao detalhamento das análises que podem desempenhar, sendo que um dos desafios é satisfazer as necessidades dos usuários em relação aos diferentes níveis de tomada de decisão. Por exemplo, o enfoque dado a uma determinada situação por um gestor de recursos hídricos é diferente da perspectiva adotada por chefes de agências governamentais ou políticos (ASSAF et al., 2008).

Esses modelos possuem como vantagem a possibilidade de as partes interessadas desenvolverem seus próprios modelos de gestão, identificando quais recursos são mais relevantes, juntamente com as questões ambientais, para uma boa gestão das bacias hidrográficas. Possibilitam, de maneira preliminar, compreender as inter-relações e/ou as interdependências existentes entre os diferentes componentes do sistema. Fornecem uma estimativa inicial acerca da importância relativa das várias suposições envolvendo dados incertos, assim como valores de parâmetros e sua relação com importantes critérios de desempenho do sistema. Facilitam a comunicação e o entendimento entre as partes envolvidas, sendo uma poderosa ferramenta para facilitar a percepção comum de como a bacia hidrográfica poderá ser gerida no futuro, considerando para tanto o uso múltiplo dos recursos hídricos (ASSAF et al., 2008).

As características citadas acima possibilitam reduzir o impacto da escassez da água mediante a adoção de intervenções apropriadas, resultando na mitigação das consequências, sejam elas de origem social, econômica ou ambientais dos atuais sistemas (SECHI; SULIS, 2010).

Atualmente, muitas das intervenções não são empregadas de maneira preventiva, ou seja, antes de um cenário de crise se estabelecer. Dessa forma, existe uma necessidade urgente por abordagens que possibilitem a atuação no planejamento, principalmente em relação à escassez, possibilitando medidas de mitigação em sistemas que possuem histórico de eventos severos de seca, por exemplo (SEDEMED, 2003).

Por meio da simulação com o uso desses modelos é possível obter diversos cenários, possibilitando aos usuários testar, modificar e avaliar vários projetos de infraestrutura e políticas operacionais, permitindo definir qual será a melhor solução para que se atinja o melhor desempenho. Fazem uso da combinação entre simulação e otimização para identificar e avaliar ações estruturais e políticas de gerenciamento que atendam aos critérios de desempenho do usuário. Na existência de múltiplos usos nos quais sejam diagnosticados conflitos entre as partes interessadas, compensações poderão ser identificadas afim de minimizar o cenário de crise.

### 2.3.3 Modelos hidrológicos para o planejamento e gestão de recursos hídricos

Os modelos de apoio à decisão possuem como característica comum uma rotina de cálculo com base em balanço de massa de água em cada trecho do sistema, levando em consideração um intervalo de tempo (ASSAF et al., 2008). Vários modelos de apoio a decisão têm sido desenvolvidos nos últimos anos, sendo os de maior destaque os MODSIM, MIKE BASIN, RIBASIM, WBALMO e o WEAP

Desenvolvido pela *Colorado State University* – CSU, na década de 1970, o MODSIM é um modelo que possibilita incorporar, de forma generalizada, tanto os aspectos referentes à parte física dos processos hidrológicos como os processos institucionais/administrativos complexos que norteiam a gestão de bacias hidrográficas. Tem sido associado a modelos de análise de uso conjunto de recursos hídricos de águas superficiais e subterrâneas, bem como modelos para simulação da qualidade da água e estratégias de controle de poluição. Requer como dados de entrada a vazão de retorno de locais onde se pratica agricultura irrigada, séries temporais de demanda de água subterrânea e superficial, valores de condutividade hidráulica, funções econômicas, entre outras. Fornece como dados de saída séries temporais de volume e vazão nos locais selecionados. Pode ser associado ao MODFLOW para análise em conjunto das águas subterrâneas e superficiais, além do QUAL2E, para avaliar a eficácia de estratégias de controle de poluição. Necessita de treinamento moderado e habilidades em modelagem, podendo ser obtido gratuitamente no site da instituição desenvolvedora (SECHI; SULIS, 2010).

Outro modelo utilizado como sistema de apoio à decisão é o MIKE BASIN, que apesar de possuir uma modelagem simples e intuitiva fornece percepções aprofundadas acerca do planejamento e gerenciamento. Tem sido utilizado por diversos pesquisadores (HASSABALLAH et al., 2012; IRESON; MAKROPOULOS; MAKSIMOVIC, 2006; JAISWAL; VERMA; GUPTA, 2013).

O MIKE BASIN faz uso do *ArcView* (SIG) com uma modelagem hidrológica abrangente para fornecer resultados em nível de bacia hidrográfica. As simulações hidrológicas baseiam-se em um modelo de rede nas quais os ramos representam os trechos de rio, e os nós representam as

confluências, desvios, reservatórios ou usuários de água. É um modelo de balanço de massa, porém permite a propagação de vazão nos cursos d'água. A modelagem da água subterrânea baseia-se na equação do reservatório linear (ASSAF et al., 2008).

O MIKE BASIN é aplicado para análise da disponibilidade hídrica (considerando o uso da água superficial em conjunto com a água subterrânea), planejamento de infraestruturas (potencial de irrigação, desempenho do reservatório, capacidade de abastecimento de água, etc), análise de múltiplos usos (industrial, irrigação, hidroeletricidade, navegação, recreação e aspectos ecológicos do sistema), estudos de ecossistemas (qualidade da água, requisito de descarga mínima, mudanças globais) e aplicação de leis e regulamentos. É relativamente de fácil utilização e requer muitos dados de entrada para a realização das análises, além experiência moderada em modelagem. Necessita de conhecimento em ArcView da ERSI, além de ser um software pago (DOULGERIS et al., 2015).

Outro sistema que também se destaca nessa categoria é o RIBASIM, definido como um modelo genérico para simulação de bacias hidrográficas sob várias condições hidrológicas. Este modelo permite ao usuário avaliar diversas medidas de infraestrutura e operação, assim como a gestão da demanda, possibilitando a análise dos resultados em relação à quantidade de água (MUGATSI, 2010). Nele é possível também o estudo detalhado da qualidade da água e sedimentação em rios e reservatórios. Considera a existência de múltiplos usuários como irrigação, abastecimento público, hidroeletricidade, aquicultura e operação de reservatórios. A demanda de água pela irrigação pode ser obtida por padrões de cultivo, práticas de irrigação e dados meteorológicos. Possibilita a alocação de águas superficiais e subterrâneas, além da definição das vazões mínimas. Seu uso é apropriado para a avaliação das potencialidades e alternativas do gerenciamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, para solução de problemas de alocação de água e avaliação de infraestruturas e medidas operacionais (ASSAF et al., 2008).

O RIBASIM foi aplicado em mais de 20 países para apoiar o processo de planejamento e gestão de recursos hídricos. Na Índia, o modelo foi utilizado para prever a escassez de água na bacia do rio Godavari para os anos entre

2015 e 2020, com o intuito de minimizar os efeitos dos possíveis déficits (OMAR, 2014).

Para configuração do sistema pode-se utilizar camadas de SIG como fundo, necessitando também de dados relacionados com a demanda de água (padrões demográficos, econômicos, irrigação, políticas operacionais, dados econômicos, tarifas sobre o uso da água e taxas de desconto), fontes de água subterrânea e cenários alternativos (modificação nas regras de operação dos reservatórios, projeções socioeconômicas e projeções relacionadas ao abastecimento de água) (SECHI; SULIS, 2010).

O RIBASIM possui como vantagem ser relativamente fácil de usar. Contudo, requer uma grande quantidade de dados para uma análise detalhada, além do usuário necessitar de moderada experiência em modelagem. Possui um custo de aquisição relativamente baixo, contudo existe uma versão limitada disponível gratuitamente (ASSAF et al., 2008).

O *Water Balance Model* – WBALMO começou a ser desenvolvido desde a década de 1970 e vem passando por contínuos aprimoramentos (KOCH; GRÜNEWALD, 2009). Possibilita a gestão das bacias hidrográficas de acordo com as diretrizes, planos para exploração dos recursos hídricos, fornecimento de dados para relatórios de projetos de investimentos e processos para direitos de uso da água (KOCH et al., 2005). Os dados de entrada requeridos por esse modelo são: a configuração do sistema com base em dados de SIG, políticas operacionais, demandas por água (hidrelétricas, instalações industriais, irrigação) e informações dos reservatórios (capacidade, nível inicial de armazenamento, evaporação e políticas de gestão dos reservatórios).

Como resultados, este modelo fornece distribuições de probabilidade aproximadas para fatores de interesse, como níveis de armazenamento de reservatórios e problemas de abastecimento de água. Outros resultados obtidos nesse modelo são as perdas por evaporação, demandas de utilização da água e vazões de retorno. É de fácil utilização, contudo, requer conhecimentos básicos em ArcView e moderada experiência em modelagem hidrológica (ASSAF et al., 2008).

#### 2.3.4 O modelo *Water Evaluation And Planning* - WEAP

Modelos cujo foco são o planejamento e a gestão de recursos hídricos devem ser eficientes para resolver duas questões fundamentais, ou seja, devem representar os fatores relacionados à biofísica do sistema, como, por exemplo, clima, topografia, cobertura do solo, hidrologia de águas superficiais, hidrologia de águas subterrânea, solos, qualidade da água e ecossistemas, em resumo, todos os fatores que modelam a disponibilidade de água dentro dos divisores topográficos, assim como devem levar em consideração os fatores relacionados com demanda, ou seja, o sistema de gestão socioeconômico e as necessidades humanas por água (YATES et al., 2005b).

O *Water Evaluation And Planning* - WEAP é uma ferramenta importante do ponto de vista da gestão e planejamento de recursos hídricos porque adota uma abordagem diferenciada em relação aos demais modelos hidrológicos presentes na literatura. Foi criado em 1988 pelo *Stockholm Environment Institute* - SEI, na Suécia, com o intuito de ser uma ferramenta flexível, integrada e transparente para o planejamento e, ao mesmo tempo, avaliar a sustentabilidade no que se refere à demanda e oferta de água, bem como possibilitar o estudo de cenários futuros (YATES et al., 2005b).

Com um leque extenso de possibilidades, o WEAP é simples e de fácil utilização, e tem o propósito de auxiliar os tomadores de decisão em relação ao planejamento e a gestão dos recursos hídricos. O princípio básico de suas rotinas de cálculo é a contabilização do balanço hídrico, sendo facilmente aplicável a sistemas municipais e agrícolas, sub-bacias ou sistemas fluviais complexos (YATES et al., 2005a).

O modelo WEAP permite a integração de uma série de processos hidrológicos de natureza física com a gestão dos recursos hídricos, juntamente com a infraestrutura instalada. Nele é possível a análise de cenários múltiplos, com a possibilidade de se aplicar alterações de ordem climática, mudanças nos padrões de consumo de água pela população e/ou pelas indústrias, adoção de novas tecnologias, alteração no uso e ocupação do solo, aumento das áreas irrigadas, aumento da eficiência de irrigação, entre outras (YATES et al., 2005b)

Seu uso é recomendado para análises de longo prazo para fins de visualizar o impacto de uma política ou para estudos de planejamento. Mais especificamente, é possível analisar mudança nas culturas cultivadas em determinada região ou alterações nas regras de operação dos reservatórios, por exemplo. Como resultado de suas simulações também pode ser fornecida a relação de custo/benefício da adoção de determinada tecnologia (ASSAF et al., 2008).

Como dados de entrada requer a configuração do sistema com base na demanda de água e nas políticas operacionais. Para tanto, é necessário o conhecimento da demanda dos setores usuários, dados econômicos (taxa de uso da água, custos de capital, entre outros), fontes de água e dados históricos de uso e cobertura da terra, dados de precipitação e de vazão (ASSAF et al., 2008).

O principal aspecto do WEAP na gestão de recursos hídricos é a análise da configuração da demanda em que é possível a atribuição de prioridades na demanda de água pelos múltiplos setores usuários na bacia. Essa análise é possível com base em um algoritmo de alocação de programação linear aplicado de forma determinística, que resolve o problema da alocação de água tentando maximizar a satisfação da demanda com base nas preferências de oferta e nas prioridades de demanda, sendo que o problema de alocação é resolvido em cada intervalo de tempo usando uma abordagem iterativa. O componente hidrológico do sistema atualiza o estado hidrológico a cada intervalo de tempo, realizando o balanço de massa entre a água disponível e a demanda por água pelos múltiplos usuários dentro do mesmo intervalo de tempo (SECHI; SULIS, 2010).

A modelagem genérica realizada pelo WEAP permite diferentes graus de complexidade, sendo flexíveis na definição de políticas operacionais, o que o torna particularmente útil quando o objetivo é simular sistemas complexos com múltiplos usuários. Pode ser utilizado num primeiro momento como uma ferramenta de auxílio para a identificação de locais onde é necessário um estudo com maior detalhamento.

A maior deficiência observada em todos os modelos é a não abordagem adequada de algumas questões de decisão, como vulnerabilidade socioeconômica da população, impactos socioeconômicos e ambientais. No

entanto, o WEAP se destaca por possuir ferramentas de análise de políticas relacionadas à estimativa de custo e demanda, mesmo não abordando diretamente a vulnerabilidade socioeconômica da população, impactos socioeconômicos e ambientais (ASSAF et al., 2008).

A adoção do WEAP em diversas partes do mundo é um desafio devido às peculiaridades de cada bacia hidrográfica. Porém, devido a sua estrutura flexível, a adoção de modelos genéricos se torna muito importante no planejamento e gestão de recursos hídricos. Modelos ou plataformas genéricas com foco no apoio à decisão, quando alimentados com dados de entrada específicos de cada localidade se tornam modelos particulares daquele local. Sua aplicação é justificada em relação ao custo e à complexidade, uma vez que não é fácil nem barato desenvolver, a partir do zero e em pouco tempo, um modelo de simulação próprio para uma bacia em particular.

## 2.4 CENÁRIOS DO *INTERNAGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE* - IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é o órgão da Organização das Nações Unidas - ONU para avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas. Criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, o objetivo do IPCC é fornecer aos governos em todos os níveis informações científicas que possam ser usadas para desenvolver políticas climáticas. Os relatórios do IPCC também são um insumo fundamental para as negociações internacionais sobre mudanças climáticas.

Em 2013, os principais cientistas do clima do mundo se reuniram em Estocolmo, na Suécia, para finalizar o Grupo de Trabalho 1 (WGI) do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC. O grupo WGI constituiu as bases atuais da ciência física para as mudanças climáticas, e alertaram que os impactos das mudanças climáticas estão se intensificando e enfatizaram que as atividades humanas são as principais causas (COLLINS; KNUTTI, 2013; IPCC, 2014; NEWMAN, 2017)

O IPCC criou, no total, quatro projeções de cenários, do otimista ao pessimista. Os cenários são denominados de RCPs que seriam os chamados Caminhos Representativos de Concentração (*Representative Concentration Pathways*), substituindo os PCs - *Concentration Pathways*. Estes cenários são baseados no histórico evolutivo de vários fatores, como a concentração de gases de efeito estufa e tipo de cobertura terrestre (BECK; MAHONY, 2017).

Os RCPs são cenários variados definidos com ampla gama de possíveis mudanças nas futuras emissões de gases do efeito estufa (GEEs), como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>; assim os cenários representam as condições atmosféricas de acordo com as possíveis emissões (COLLINS; KNUTTI, 2013). O cenário RCP2.6, definido como o mais otimista, tem como pressuposto que: a emissão anual global dos gases do efeito estufa atingirá o pico entre 2010 e 2020, e subsequente irão se reduzir. O cenário RCP 4.5 assume que o pico de emissão ocorrerá até 2040, e em seguida irá declinar. No cenário RCP 6 as emissões irão atingir o pico por volta de 2080, e após

está data irão decair. E por fim, o cenário considerado o mais pessimista, RCP 8.5 assume que as emissões continuam aumentando ao longo do século XXI (MEINSHAUSEN et al., 2011).

## 2.5 ANÁLISES DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS

### 2.5.1 Teste de Mann-Kendall

Foi originalmente usado por Mann (1945) e a distribuição estatística-teste foi posteriormente derivada por Kendall (1975). O teste de Mann-Kendall é robusto, sequencial e não paramétrico, desta forma não requer que os dados sejam normais (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016) e os *outliers* dos dados não afetam os resultados (BACK, 2001).

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é indicado para avaliar se as séries de dados pluviométricos e fluviométricos apresentam tendência temporal de alteração estatística significativa, sendo que a mudança pode ser positiva ou negativa. Fez-se o uso do cálculo estatístico da variável  $S$ , que se dá pela somatória dos sinais ( $sgn$ ) da diferença, par a par, de todos valores da série ( $x_i$ ) em relação aos valores sequenciais futuros ( $x_j$ ). Da estatística  $S$ , valores maiores que zero indicam uma tendência positiva (de aumento da variável), enquanto que os valores menores que zero indicam uma tendência negativa, ou seja, diminuição da variável ao longo do tempo (BOMBARDI; MARIA; CARVALHO, 2017).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que  $n$  é o número de pontos da série;  $x$  representa as medidas no tempo;  $i$  e  $j$  são índices temporais, com  $i \neq j$ ; sendo  $sgn$  definido como:

$$sgn = \begin{cases} 1, se (x_j - x_i) > 0 \\ 0, se (x_j - x_i) = 0 \\ -1, se (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Devido  $n$  ser maior que zero a estatística  $S$  segue uma distribuição Gaussiana, com uma média igual a zero e a variância calculada por (BOMBARDI; MARIA; CARVALHO, 2017):

$$var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

em que  $m$  é o número de grupos, o sinal ( $\Sigma$ ) indica a soma sobre todos os grupos;  $t_i$  é o número de dados do  $i$  grupo (subordinado); e o valor Z padrão das estatísticas de teste pode ser calculado como:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}}, S > 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Caso o valor padrão do Z computado for superior ao valor crítico da distribuição normal padrão, considerando o nível de significância ( $\alpha$ ), a hipótese nula ( $H_0$ ) é rejeitada e não há uma tendência positiva ou negativa estatisticamente significativa na série de dados (TOSUNOGLU; KISI, 2017).

## 2.5.2 Teste de Run

Antecedendo o teste de Mann-Kendall é aplicado o teste de Run, teste não paramétrico apresentado por THOM (1966), para avaliar a aleatoriedade da série. Sua metodologia consta da contagem do número de oscilações dos dados acima e abaixo da mediana em uma série ordenada. Esta oscilação é chamada de Run, sendo que um alto valor de Run remete a alta oscilação e baixos valores de Run indicam desvio em relação à mediana (BACK, 2001).

Tendo a sequência  $N_1$  símbolos de um tipo, e  $N_2$  símbolos de outro tipo, em que  $N_1$  e  $N_2$  não são pequenos, a distribuição amostral do número de Runs total pode ser aproximada pela distribuição normal com média descrita pela Equação 5 e variância da distribuição pela Equação 6.

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1 + N_2} + 1 \quad (5)$$

$$var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - 2N_1N_2)}{(N_1N_2)^2(2N_1N_2 - 1)} \quad (6)$$

Nesta estatística  $u$  representa o número de Runs. Sendo assim, a hipótese nula ( $H_0$ ) de que a distribuição ocorre normalmente e que a variável é aleatória pode ser testada pela estatística da Equação 7, nesta quando  $Z$  da distribuição normal encontra-se no intervalo tabelado aceitando a hipótese de nulidade (CERA; EROTILDES; FERRAZ, 2015).

$$Z = \frac{u + E(u)}{\sqrt{var(u)}} \quad (7)$$

### 2.5.3 Teste de Pettitt

O teste não paramétrico de Pettitt é adotado para confirmar ou não a estacionariedade da série histórica e localizar o ponto de mudança ou a ruptura brusca na série temporal caso ela exista (BACK, 2001; CERA; FERRAZ, 2015).

O teste de Pettitt verifica se duas amostras  $X_1, \dots, X_t$  e  $X_{t+1}, \dots, X_T$  são da mesma população. Por meio da estatística  $U_{t,T}$  é feito uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que o membro da segunda amostra, sendo descrita por:

$$U_{t,T} = U_{t+1,T} \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (8)$$

em que:  $\text{sgn}(x) = 1$  para  $x > 0$ ;  $\text{sgn}(x) = 0$  para  $x = 0$ ;  $\text{sgn}(x) = -1$  para  $x < 0$

A estatística  $k$  localiza o ponto onde houve mudança na série de dados. Esta estatística pode ser descrita a seguir, bem como a significância deste teste ( $p$ ).

$$k(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (9)$$

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6k(t)^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \quad (10)$$

## 2.6 ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

O índice de sustentabilidade dos recursos hídricos foi proposto por SANDOVAL-SOLIS (2011), e leva em consideração três aspectos na gestão dos recursos hídricos.

O índice de sustentabilidade (SI) tem as seguintes propriedades:

- os valores variam de 0 a 1;
- se um dos critérios de desempenho é zero, logo, a sustentabilidade também será zero; e
- existe uma ponderação implícita porque o índice dá peso adicional para os critérios com o pior desempenho.

A forma multiplicativa do SI considera cada critério como essencial e não substituível. Assim, SANDOVAL-SOLIS (2011) propôs uma alteração do SI de Loucks (1997) em que o índice é definido como uma média geométrica de “M” critérios de desempenhos ( $C_m^i$ ) para o  $i$ -ésimo usuário de água na bacia:

$$SI^i = \left[ \prod_{m=1}^M C_m^i \right]^{\frac{1}{M}} \quad (11)$$

Assim, se os critérios de desempenhos são  $C_1^i = Rel^i$ ,  $C_2^i = Res^i$  e  $C_3^i = 1 - Vul^i$ , o SI para o  $i$ -ésimo usuário será:

$$SI^i = [Rel^i * Res^i * (1 - Vul^i)]^{1/3} \quad (12)$$

em que  $Rel$  é a Confiabilidade,  $Res$  é a Resiliência e  $Vul$  é a Vulnerabilidade.

### 2.6.1 Confiabilidade/Segurança

A confiabilidade na demanda de água é a probabilidade que a oferta de água disponível atenderá a demanda de água durante o período de simulação (KLEMES et al., 1981; HASHIMOTO et al., 1982). Para cada período de tempo

t, os déficits  $D_t^i$  são positivos quando a demanda  $X_{Dem,t}^i$  é maior que a oferta de água  $X_{Oferta,t}^i$  para o  $i$ -ésimo usuário de água. Se a oferta de água for igual a demanda ( $X_{Oferta,t}^i = X_{Dem,t}^i$ ), o déficit será zero ( $D_t^i = 0$ ) (Loucks, 1997).

$$D_t^i = \begin{cases} X_{Dem,t}^i - X_{Oferta,t}^i, & \text{se } X_{Dem,t}^i > X_{Oferta,t}^i \\ 0, & \text{se } X_{Dem,t}^i = X_{Oferta,t}^i \end{cases} \quad (13)$$

em que  $D_t^i$  são os déficits

A confiabilidade volumétrica ( $Rel^i$ ) é o volume total de água fornecida dividido pela demanda total de água para o usuário de água durante o período de simulação.

$$Rel^i = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} X_{Oferta,t}^i}{\sum_{t=1}^{t=n} X_{Dem,t}^i} \quad (14)$$

Em que n é o número de meses ou anos.

### 2.6.2 Resiliência

A resiliência de um sistema hídrico é a capacidade que esse sistema tem de se adaptar às novas condições. Como as condições climáticas não são estáveis, resiliência deve ser considerada como uma estatística que avalia a flexibilidade das políticas de gestão da água para se adaptar às novas condições. De acordo com HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, (1982), a resiliência é a probabilidade de um sistema se recuperar após um período de falhas ou fracasso, ou seja, a demanda de água não foi atendida pela oferta. Resiliência  $Res^i$  é a probabilidade de um período de sucesso, isto é, de que a oferta de água na bacia atenda à demanda, ocorra após um período de falhas ou fracasso (o número de vezes que  $D_t^i = 0$  ocorra após  $D_t^i > 0$ ) em todos os períodos de falhas ocorridos (o número de vezes que  $D_t^i > 0$  ocorreu).

$$\text{Res}^i = \frac{\text{número de vezes que } D_t^i = 0 \text{ seguidos de } D_t^i > 0}{\text{número de vezes que } D_t^i > 0 \text{ ocorridos}} \quad (15)$$

### 2.6.3 Vulnerabilidade

Vulnerabilidade é o valor provável de déficits, caso ocorram (HASHIMOTO; STEDINGER; LOUCKS, 1982). Essencialmente, a vulnerabilidade expressa a gravidade de falhas. SANDOVAL-SOLIS (2011) expressou a vulnerabilidade como a média das falhas ou fracassos, conforme preconizado por LOUCKS; VAN BEEK (2005), ou seja, a média das falhas. Vulnerabilidade adimensional é calculada dividindo o déficit médio anual pela demanda anual de água (Demanda de água<sup>i</sup>) para o *i*-ésimo usuário de água:

$$\text{Vul}^i = \frac{(\sum_{t=0}^{t=n} D_t^i) / \text{número de vezes que } D_t^i > 0 \text{ ocorridos}}{\text{Demanda de água}^i} \quad (16)$$

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende uma porção da bacia do rio Paracatu, contemplando o Alto e Médio curso do rio Paracatu, com exceção da bacia do rio Preto (Figura 2), com área de drenagem de 20.745 km<sup>2</sup>, ou seja, 45,5% da bacia do Paracatu.

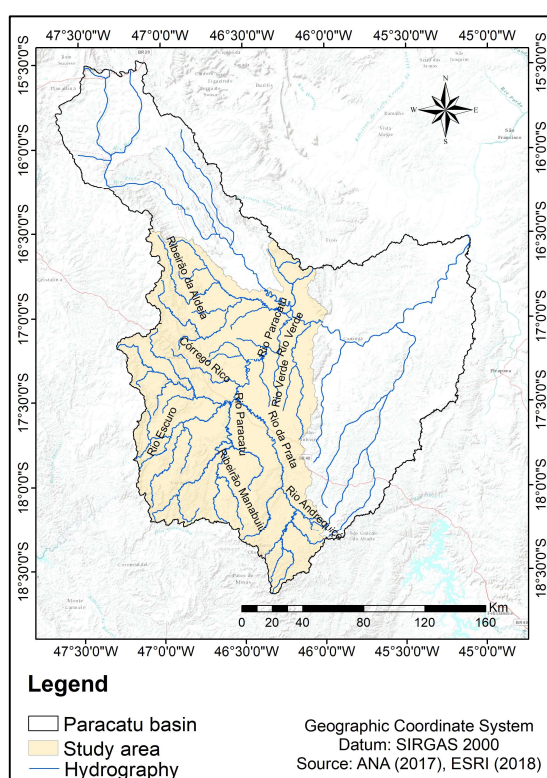


Figura 2 - Área de estudo contemplada na bacia do rio Paracatu.

A área de estudo foi definida em função da disponibilidade de dados fluviométricos compatíveis com o período base para a calibração do modelo WEAP, o que justifica a não utilização do Baixo curso do rio Paracatu e do rio Preto.

Além das nascentes do rio Paracatu, a área de estudo é formada pelas bacias do rio Escuro, ribeirão Escurinho, rio da Prata, ribeirão Entre-Ribeiros, rio Verde e um pequeno trecho do rio Preto.

## 3.2 ANÁLISES DE TENDÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS

### 3.2.1 Base de dados

Para a análise de tendência foram utilizados os dados mensais de cinco estações fluviométricas e nove estações pluviométricas localizadas na área de estudo. As análises foram realizadas em série histórica na base anual e mensal, adotando-se o período base de 1980 a 2014. Na Figura 3 é possível observar a disposição das estações pluviométricas e fluviométricas na área de estudo. Já na Tabela 1 e na Tabela 2 são apresentadas as estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas para análise de tendência, respectivamente.

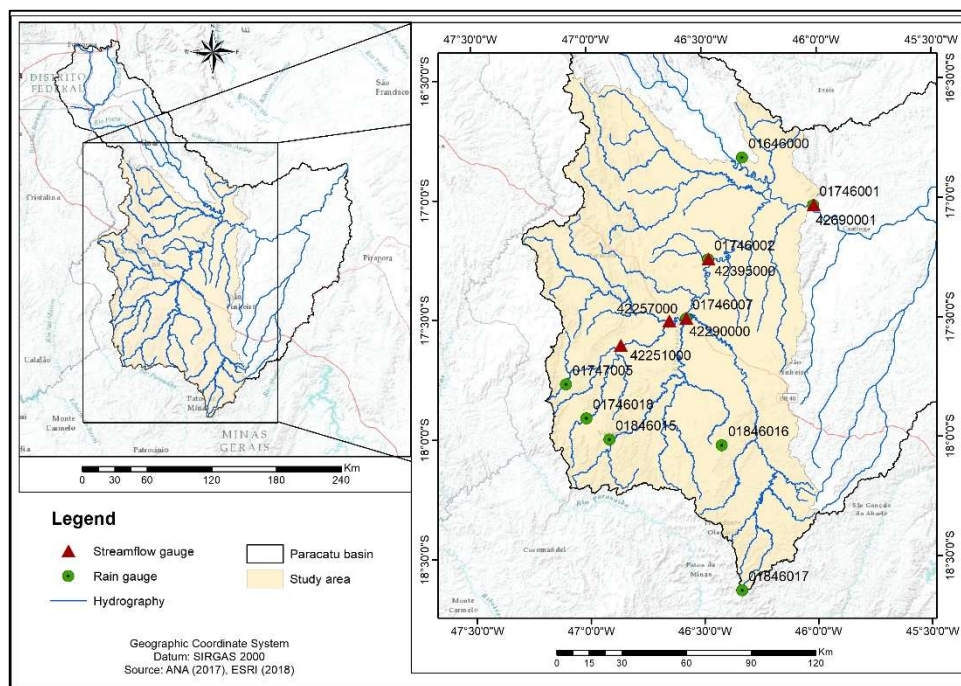


Figura 3 - Estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas.

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para a análise de tendência na área em estudo

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)
01646000	Porto dos Poções	-16,830	-46,323
01746001	Porto da Extrema	-17,031	-46,014
01746002	Santa Rosa	-17,256	-46,474
01746007	Ponte da BR-040 – Paracatu	-17,503	-46,572
01746018	Fazenda Limoeiro	-17,916	-47,012
01747005	Guarda-Mor	-17,773	-47,099
01846015	Vazante	-18,344	-45,837
01846016	Ponte Firme	-18,005	-46,911
01846017	Leal de Patos	-18,034	-46,420

Tabela 2 - Estações fluviométricas utilizadas para a análise de tendência na área em estudo

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Área montante (Km <sup>2</sup> )
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	-17,613	-46,859	1812
42257000	Barra do Escurinho	-17,512	-46,646	3808
42290000	Ponte da BR-040 – Paracatu	-17,502	-46,571	7741
42395000	Santa Rosa	-17,255	-46,473	12810
42690001	Porto da Extrema	-17,030	-46,014	20741

Em relação aos dados de precipitação trabalhou-se com duas modalidades de séries de dados: 1) série histórica anual com a utilização dos totais precipitados para o período de 1980 a 2014, perfazendo 420 dados mensais; e 2) série mensal, 12 séries com totais precipitados em cada um dos meses do ano para o período de 1980 a 2014, contemplando 35 dados em cada série histórica.

Já para os dados fluviométricos foram utilizadas nas análises a vazão mínima média com sete dias de duração ( $Q_7$ ), bem como a vazão média ( $Q_{med}$ ) e a vazão máxima ( $Q_{max}$ ) para cada ano ou mês do período de 1980 a 2014, assim como feito para o caso dos dados de precipitação.

### 3.2.2 Análises de tendência em séries temporais

Antecedendo o teste de Mann Kendall foi aplicado o teste de Run (Thom 1966), para avaliar a aleatoriedade da série. Em seguida utilizou-se o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para avaliar se as séries de dados pluviométricos e fluviométricos apresentam tendência temporal de alteração estatística significativa, sendo que a mudança pode ser positiva ou negativa.

O teste de Mann-Kendall foi aplicado para checar a hipótese nula, que deve ser rejeitada para que exista tendência na série de dados. Para isso adotou-se no presente trabalho um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. O teste não paramétrico de Pettitt foi adotado para confirmar ou não a estacionariedade da série histórica e localizar o ponto de mudança, sendo utilizado o nível de significância de 5%.

Os cálculos associados a todos os testes de tendência foram desenvolvidos no ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), por meio dos pacotes: “randtests” função “runs.test”, pacote “Kendall” função “MannKendall” e pacote “trend” função “pettitt.test”.

### 3.2.3 Uso e cobertura da terra

Utilizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra na área em estudo com o intuito de observar se as mudanças no uso e cobertura da terra promoveram alguma alteração no regime fluviométrico da bacia. Esta comparação foi baseada no princípio de que na medida em que a vegetação original é substituída ocorrem, possivelmente, alterações na dinâmica da água na bacia.

A avaliação na mudança do uso da terra foi feita com base no MapBiomas (2018). Esse mapeamento foi realizado para os anos de 1985 a 2017 e contou com o esforço de várias instituições de ensino e de pesquisa, além de empresas do setor. As classificações realizadas pela equipe do MapBiomas foram realizadas por meio do algoritmo Random Forest, considerando várias variáveis espaciais que auxiliaram no processo de classificação, principalmente as coleções de imagens do satélite LANDSAT. As resoluções espaciais das imagens são de 30 m.

Foram utilizadas as imagens do uso e cobertura da terra dos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2006, 2011 e 2014. Deve ser ressaltado que nas imagens classificadas adquiridas junto ao MapBiomas foram realizadas algumas adaptações com o intuito de agrupar algumas classes de uso e cobertura da terra que, do ponto de vista hidrológico, apresentavam comportamento semelhante. Por exemplo, a classe “Cultura anual e perene” foi agrupada com a classe “Cultura semi-perene”, resultando na classe “Agricultura”. A classe “Mosaico da agricultura e pastagem” foi agrupada com a classe “Pastagem”. Já as classes “Formação campestre” e “Outra formação não florestal” foram agrupadas com a classe “Formação savânica ou Cerrado”.

Além dos mencionados agrupamentos foi realizado também o mapeamento da “Agricultura irrigada”. A classe da “Agricultura irrigada” foi baseada no levantamento da ANA (2015) para todos os Pivôs do Brasil no ano de 2014. Contudo, como o intuito era avaliar o uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2006, 2011 e 2014, por meio do levantamento da ANA (2015) e com o auxílio de imagens LANDSAT foram realizados os mapeamentos dos pivôs para cada ano, sendo assim inserida a classe “Agricultura irrigada” no mapeamento. Como a irrigação por pivô central é a predominante na área de estudo, assumiu-se que toda a área irrigada era representada por esse tipo de sistema de irrigação.

Por fim, foram obtidas nove classes de uso e cobertura da terra: “Agricultura irrigada”, “Agricultura”, “Formação florestal”, “Formação savânica”, “Floresta plantada”, “Pastagem”, “Infraestrutura urbana”, “Mineração” e “Rio e lagos”

### 3.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO WEAP

#### 3.3.1 *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)*

Foi utilizado para a calibração do modelo WEAP o método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)*, considerado o método mais complexo para a realização do balanço hídrico, representando a bacia hidrográfica em duas camadas de solo. Na camada superior (superficial), o modelo simula a evapotranspiração, considerando a chuva e a irrigação em terras agrícolas e não agrícolas, os escoamentos superficiais e subsuperficiais e as mudanças na umidade do solo. Já na camada inferior ocorrem simulações para as rotinas de escoamento de base para o rio e mudanças na umidade do solo (Figura 4) conforme Yates et al. (2005b).

O mesmo autor citado anteriormente relata que a grande dificuldade para a utilização do método encontra-se na necessidade de uma maior parametrização do solo e do clima.

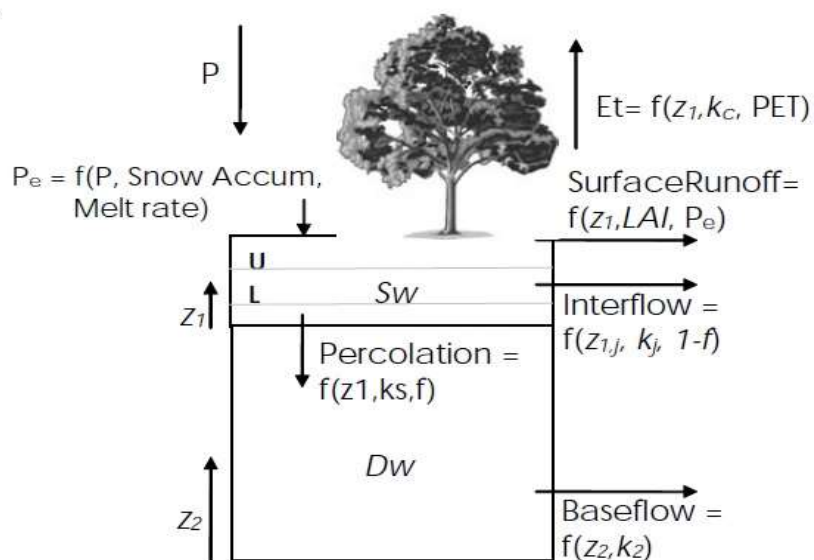


Figura 4 - Esquema do armazenamento de água do solo com duas camadas, mostrando as diferentes entradas e saídas para um dado tipo de cobertura da terra ou tipo de cultura, j.

FONTE: Yates et al. (2005b)

Para a aplicação do modelo na área de estudo, foi considerado cada fração de área j, em função do tipo de cobertura da terra ou tipo de cultura. Em

cada fração de área  $j$  foi assumido um clima uniforme, onde a equação do balanço de massa corresponde a Equação 17.

$$SWC_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = Pe(t) - PET(t)K_{c,j}(t) \left( \frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - Pe(t)z_{1,j}^2 \frac{RRF_j}{2} - PFD_j RZC_j z_{1,j}^2 - (1 - PFD_j)RZC_j z_{1,j}^2 \quad (17)$$

em que o valor de  $z_{1,j}$  varia entre 0 e 1, sendo 0 o ponto de murcha permanente e 1 a capacidade campo. Já o valor de  $SWC_j$  corresponde a uma estimativa da capacidade de retenção de água do solo para cada fração de cobertura da terra  $j$ .

O primeiro termo da Equação 17 é definido como a precipitação efetiva ( $\text{mm mês}^{-1}$ ). O segundo termo refere-se à evapotranspiração de cada fração de área,  $j$ , em que  $PET$  é a evapotranspiração potencial da cultura de referência (*Penman-Monteith*) em  $\text{mm mês}^{-1}$  e  $K_{c,j}$  é o coeficiente de cultura/planta para cada fração de cobertura da terra.

O terceiro termo representa o escoamento superficial, onde  $Pe$  é a precipitação efetiva e o  $RRF$  (*Runoff Resistance Factor*) é o fator de resistência ao escoamento, em que valores mais baixos de  $RRF_j$  referem-se à classe de cobertura da terra que promoverá a maior resposta ao escoamento superficial, ou seja, solos descobertos. Possui relação direta com o índice de área foliar e declividade do solo, sendo a faixa de variação entre 0 e 10, em que valores mais altos proporcionam diminuição no escoamento.

O escoamento subsuperficial e a percolação são representados pelo quarto e quinto termos da Equação 17, respectivamente, em que o parâmetro  $RZC_j$  (*Root Zone Conductivity*) é uma estimativa da condutividade hidráulica da camada de armazenamento superior ( $\text{mm tempo}^{-1}$ ) e  $PFD_j$  (*Preferred Flow Direction*) é um parâmetro de ajuste relacionado ao solo, topografia, tipo de cobertura da terra, sendo possível o fracionamento da água tanto na horizontal,  $PFD_j$ , quanto na vertical ( $1 - PFD_j$ ), em que  $1,0 = 100\%$  de fluxo horizontal e  $0 = 100\%$  de fluxo vertical.

O balanço de massa para a segunda camada ( $z_{2,j}$ ) é obtido conforme a Equação 18.

$$DWC_j \frac{dz_{2,j}}{dt} = (1 - PFD_j)RZC_j z_{1,j}^2 - DC_j z_{2,j}^2 \quad (18)$$

em que o fluxo de entrada para a camada inferior é a percolação profunda a partir do armazenamento superior; *DC (Deep Conductivity)* é a condutividade da camada inferior ( $\text{mm h}^{-1}$ ), representada como valor único para cada sub-bacia hidrográfica; e *DWCj (Deep Water Capacity)* é a capacidade de armazenamento de água na camada inferior (mm).

A área de estudo foi dividida em sub-bacias nas quais o método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)* foi aplicado. Essa divisão foi realizada com base na otocodificação nível 5 de acordo com o método Otto Pfafstetter, proposto pela Agência Nacional de Águas (ANA), levando-se em consideração o curso d'água de maior influência em cada região.

Sendo assim, a região de estudo foi dividida em dez sub-bacias, nomeadas da seguinte maneira: Rio Escuro 1 (RES1), Rio Escuro 2 (RES2), Ribeirão Escurinho (REHO), Rio Paracatu 1 (RPA1), Rio Paracatu 2 (RPA2), Rio Paracatu 3 (RPA3), Rio da Prata (RPRA), Ribeirão Entre Ribeiros (RERI), Rio Preto (RPRO) e Rio Verde (RVDE), conforme se apresenta na Figura 5.

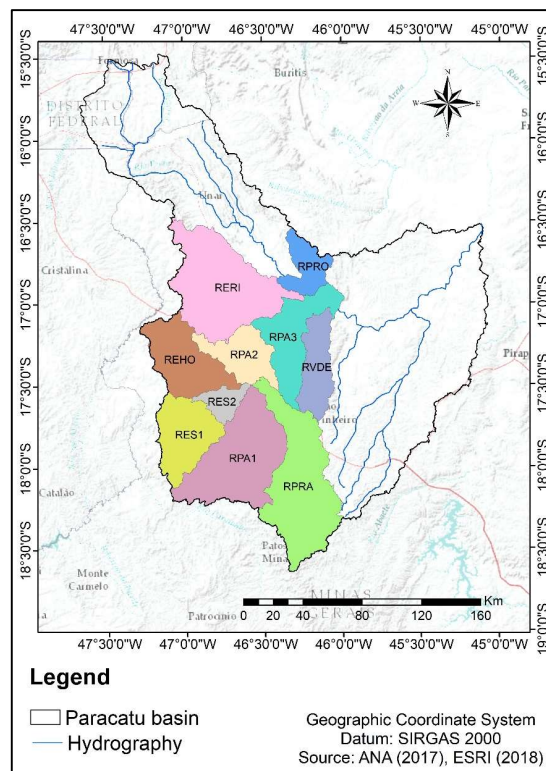


Figura 5 - Divisão da área de estudo em 10 sub-bacias para aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)*.

### 3.3.2 Calibração e validação

A calibração no modelo WEAP foi realizada utilizando a série temporal de dados de vazão observados e a série temporal de dados de vazão estimados, considerando tanto a variação mensal da vazão demandada pelos setores usuários quanto a variação do uso e cobertura da terra e os dados climatológicos, considerando um intervalo de 10 anos de dados (2000 a 2009). A validação foi realizada utilizando os mesmos parâmetros obtidos durante a calibração, contudo, considerando o período de 2010 a 2014.

Durante a calibração os parâmetros do modelo foram variados dentro de um intervalo até que se obtivesse um ajuste aceitável da vazão estimada em comparação com a vazão observada. As etapas para a calibração foram executadas conforme apresenta-se na Figura 6.

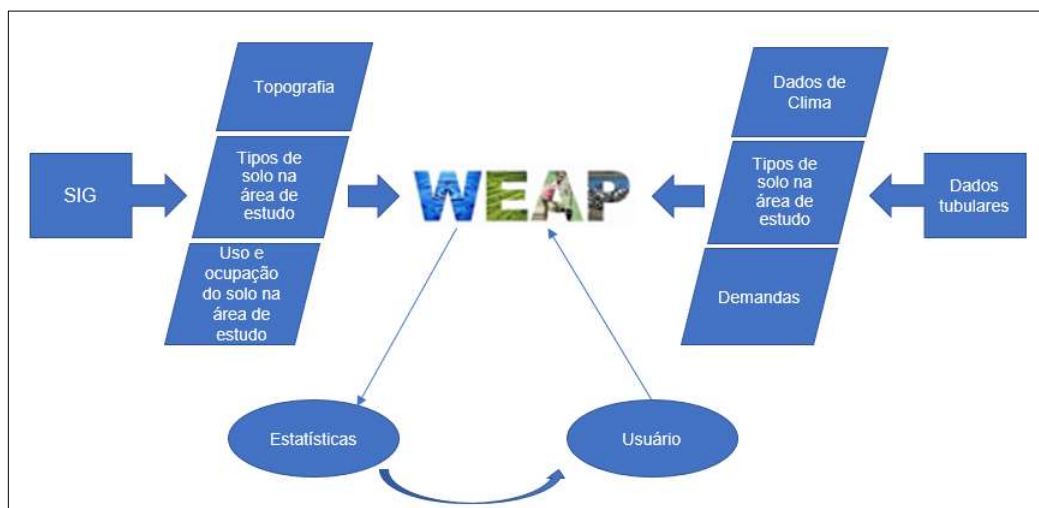


Figura 6 - Fluxograma das etapas de calibração do modelo WEAP na bacia do rio Paracatu.

Os parâmetros calibráveis foram inseridos no modelo WEAP por meio de rotinas criadas utilizando a linguagem de programação Visual Basic - VBA, o que tornou o processo de calibração manual mais intuitivo, visto que os resultados das estatísticas de ajuste eram visualizados prontamente a cada simulação.

#### 3.3.2.1 Dados climáticos

Em decorrência do WEAP realizar o balanço de água no solo para cada subárea (sub-bacia), foi realizado o levantamento de todos os dados necessários para a realização desse balanço.

Para a estimativa da evapotranspiração foram utilizados os dados climáticos de temperatura média ponderada, umidade relativa do ar e velocidade do vento (Anexos 1, 2 e 3). Na Figura 7 são apresentadas as estações climatológicas da rede do INMET, utilizadas para a obtenção dos respectivos dados climáticos, em base mensal, para o período de 2000 a 2014.

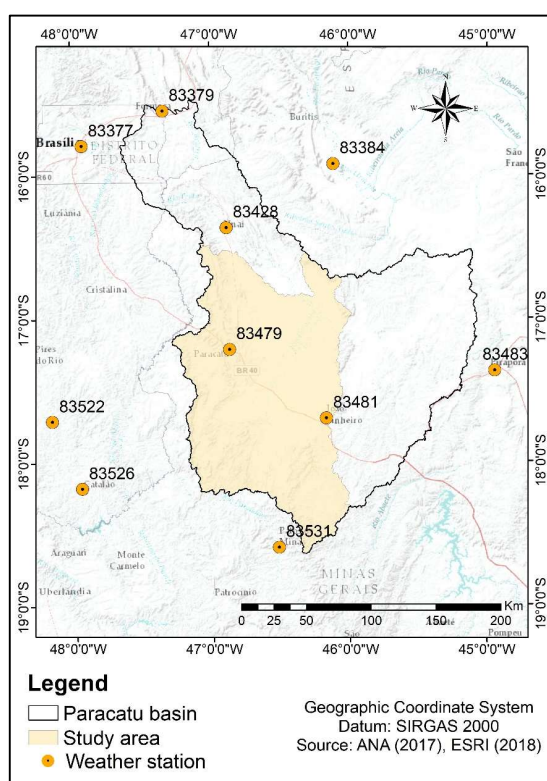


Figura 7 - Estações climatológicas utilizadas na calibração do WEAP.

Na Tabela 3 são apresentadas as estações climatológicas utilizadas, assim como municípios, latitude, longitude e altitude onde cada uma se encontra.

Nos meses que haviam falhas nos dados de temperatura Média ponderada, umidade relativa do ar e velocidade do vento foi realizado o preenchimento dos dados faltantes com base no método da ponderação regional (BERTONI; TUCCI, 2002).

Após a realização do preenchimento dos dados de clima realizou-se a espacialização para a área de estudo por meio do algoritmo *Inverse Distance Weighted – IDW*, utilizando a segunda potência, devido à baixa densidade de estações, conforme sugere Almeida (2017). Em seguida, foi feito o recorte para cada uma das 10 sub-bacias, a partir do qual obteve-se a média de cada variável para todos os meses de 2000 a 2014. Esse procedimento teve como objetivo gerar uma série de dados climáticos para cada sub-bacia para a aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)* tanto na calibração como na validação do WEAP.

A espacialização e o recorte da média de cada variável climática foram implementados em ambiente *R* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016), por meio do pacote “gstat”.

Tabela 3 - Estações climatológicas utilizadas na calibração do modelo WEAP

Estação climatológicas	Municípios	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
83377	Brasília (DF)	-15,780	-47,930	1.159
83379	Formosa (GO)	-15,530	-47,330	935
83384	Arinos (MG)	-15,900	-46,050	519
83428	Unaí (MG)	-16,360	-46,550	460
83479	Paracatu (MG)	-17,230	-46,880	712
83481	João Pinheiro (MG)	-17,700	-46,160	760
83483	Pirapora (MG)	-17,350	-44,910	505
83522	Ipameri (GO)	-17,710	-48,160	773
83526	Catalão (GO)	-18,180	-47,950	840
83531	Patos de Minas (MG)	-18,510	-46,430	940

Assim como para os demais dados climáticos, cada sub-bacia necessita de uma série de dados pluviométricos para a aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)*, tanto para calibração como para a validação.

Sendo assim, foram utilizadas estações da rede da ANA para a obtenção dos dados mensais de precipitação. No total utilizaram-se 20 estações pluviométricas, sendo o critério de seleção das estações a existência da

menor porcentagem de falhas nos registros históricos considerando o período de 2000 a 2014 (Anexos 4 e 5).

Nos meses que haviam falhas foi realizado o preenchimento dos dados faltantes com base no método da regressão linear simples em base mensal (BERTONI; TUCCI, 2002), ou seja, as regressões lineares entre as estações foram feitas mês a mês. Utilizou-se para o preenchimento as estações de apoio que possuíam o maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ), desde que esse valor fosse maior que 0,7 (BARBOSA et al., 2005; PRUSKI et al., 2004).

Após o preenchimento dos dados de precipitação, realizou-se a espacialização para a área de estudo por meio do algoritmo *Inverse Distance Weighted – IDW*, utilizando a segunda potência. Em seguida foi feito o recorte para cada uma das 10 sub-bacias, a partir do qual obteve-se a média mensal precipitada para todos os meses de 2000 a 2014. Na Figura 8 e Tabela 4 são apresentadas as estações pluviométricas utilizadas.

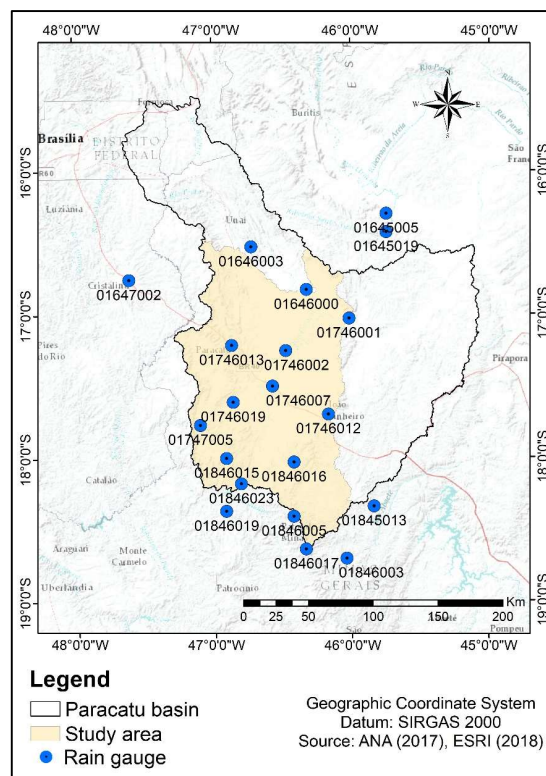


Figura 8 - Estações pluviométricas utilizadas na calibração do WEAP.

**Tabela 4 - Estações pluviométricas utilizadas na calibração do WEAP**

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)
01645005	Vila Urucuia	-16,301	-45,743
01645019	Fazenda Conceição	-16,429	-45,743
01646000	Porto dos Poções	-16,830	-46,323
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	-16,530	-46,721
01647002	UHE Batalha Cristalina	-16,757	-47,606
01746001	Porto da Extrema	-17,031	-46,014
01746002	Santa Rosa	-17,256	-46,474
01746007	Ponte da BR-040 - Paracatu	-17,503	-46,572
01746012	João Pinheiro	-17,700	-46,167
01746013	Paracatu	-17,217	-46,867
01746019	Fazenda Córrego do Ouro	-17,614	-46,859
01747005	Guarda-Mor	-17,773	-47,099
01845013	São Gonçalo do Abaeté	-18,344	-45,837
01846003	Major Porto	-18,707	-46,037
01846005	Presidente Olegário	-18,413	-46,423
01846015	Vazante	-18,005	-46,911
01846016	Ponte Firme	-18,034	-46,420
01846017	Leal de Patos	-18,642	-46,335
01846019	Rocinha	-18,374	-46,915
01846023	Lagamar	-18,183	-46,805

### 3.3.2.2 Dados fluviométricos

As estações fluviométricas foram utilizadas para permitir a avaliação do ajuste do modelo WEAP, ou seja, as vazões mensais observadas nas estações fluviométricas foram comparadas com as vazões mensais estimadas pelo modelo. Na Figura 9 e na Tabela 5 são apresentadas as estações fluviométricas utilizadas para a calibração do modelo WEAP na área de estudo. Os dados da cada estação fluviométrica utilizada são apresentados no Anexo 6.

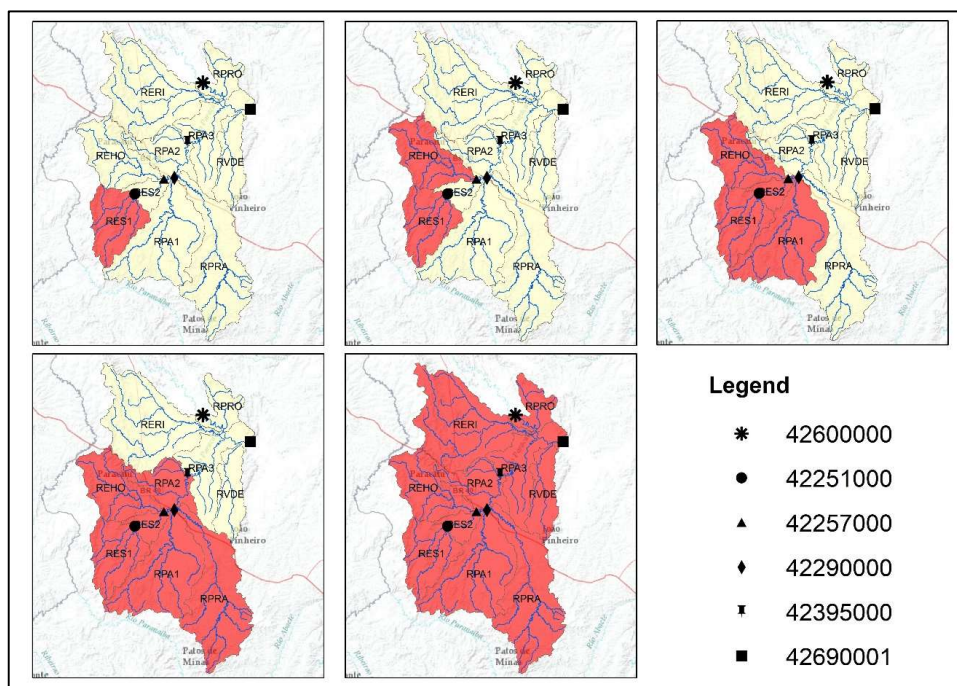


Figura 9 - Estações fluviométricas utilizadas para a calibração do modelo WEAP.

Tabela 5 - Estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo WEAP

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Área montante (Km <sup>2</sup> )
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	-17,613	-46,857	1812
42257000	Barra do Escurinho	-17,512	-46,646	3808
42290000	Ponte da BR-040 - Paracatu	-17,502	-46,571	7741
42395000	Santa Rosa	-17,255	-46,473	12810
42690001	Porto da Extrema	-17,030	-46,014	20741

A calibração iniciou-se da estação mais a montante da bacia e seguiu em direção a jusante. Dessa maneira, a calibração foi iniciada na estação Fazenda Córrego do Ouro (42251000). A vazão estimada pelo modelo WEAP nesse ponto da hidrografia foi resultado da aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)* na sub-bacia denominada RES1. Da mesma maneira a vazão estimada pelo modelo WEAP no ponto onde se localiza a estação 42257000 foi resultado da aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)* na sub-bacia denominada de REHO.

Já para o ponto onde se localiza a estação 42290000 a vazão estimada foi resultado da aplicação do método *Rainfall Runoff (Soil Moisture Method)* para as sub-bacias RES1, RES2, REHO e RPA1. De maneira acumulativa o processo se repetiu até a estação 42690001.

Apesar da área de estudo não contemplar grande parte da bacia do rio Preto, esse rio deságua no rio Paracatu antes da última estação de calibração. Sendo assim, para representar o que acontece na bacia do rio Preto considerou-se a vazão da estação 42600000 como uma entrada de água no sistema. Com essa informação foi possível calibrar o modelo WEAP na estação 42690001, mesmo não se aplicando o modelo WEAP para a bacia do rio Preto.

### 3.3.2.3 Uso e cobertura da terra e tipos de solo

O modelo WEAP necessita para o período de calibração (2000 a 2014) dos dados da evolução do uso e cobertura da terra. Para tanto, foram utilizadas as imagens do uso e cobertura da terra dos anos de 2000, 2006, 2011 e 2014. As imagens classificadas foram adquiridas junto ao MapBiomas (2018), contudo, foram realizadas algumas adaptações, descritas no tópico 3.2.3.

Foram consideradas nove classes de uso e cobertura da terra: “Agricultura irrigada”, “Agricultura”, “Formação florestal”, “Formação savânica”, “Floresta plantada”, “Pastagem”, “Infraestrutura urbana”, “Mineração” e “Rio e lagos”.

Um aspecto importante para a calibração e para a estimativa dos cenários futuros refere-se a importância de se mapear a área irrigada. O modelo WEAP associa a demanda quantitativa de água pela irrigação à área irrigada. Sendo assim, essa informação é fundamental ao longo da calibração para associar a evolução da demanda de água pela irrigação com a evolução da área irrigada. Dessa forma, baseando-se no aumento da área irrigada em cada sub-bacia foi possível estimar a demanda do uso da água pela irrigação em cenários futuros.

O uso e cobertura da terra juntamente com a declividade do terreno são representados no modelo WEAP como o fator de resistência ao escoamento (*RRF*). Logo, modificações no uso e cobertura da terra refletem diretamente na quantidade de água que infiltra e que escoam superficialmente.

O tipo de solo também é fundamental para a calibração do modelo WEAP, uma vez que está relacionado tanto com a capacidade de armazenamento da

água no solo, representado no modelo pelo parâmetro *SWC*, como pela dinâmica de água dentro do solo, governada pelo parâmetro *PFD* (descritos no item 3.3.1). Os tipos de solo presentes na área de estudo estão representados na Figura 10, obtidos do levantamento realizado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (DPS- UFV).

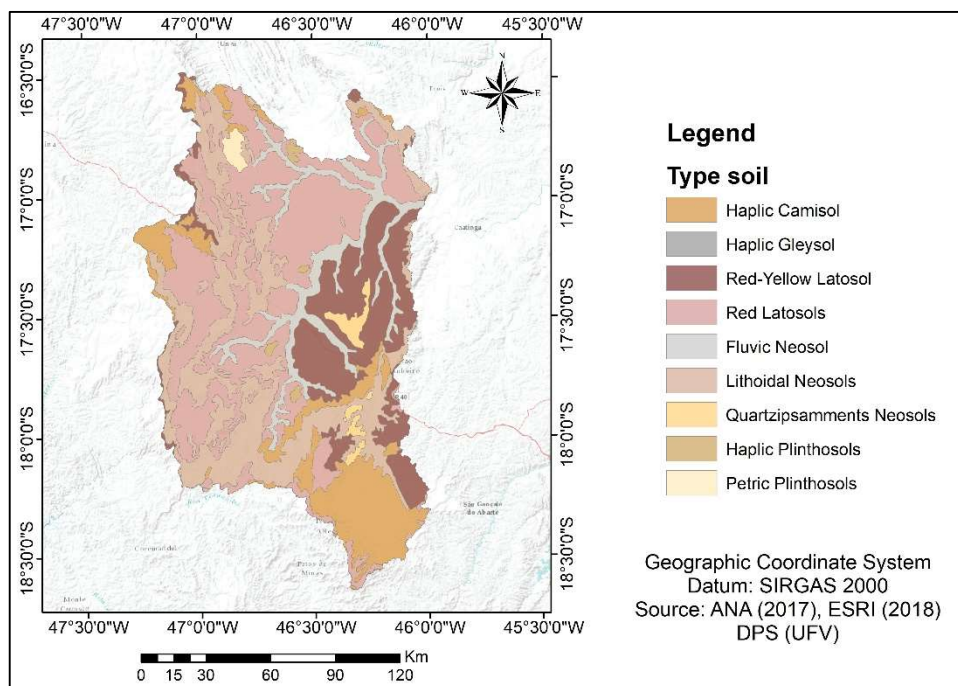


Figura 10 - Tipos de solo na área de estudo.

#### 3.3.2.4 Dados de demanda pelo uso da água

Os dados de outorgas e usos insignificantes na área em estudo foram obtidos junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), sendo as portarias da região SF7, correspondente à bacia hidrográfica do rio Paracatu, identificadas uma a uma no período de 2000 a 2017. Posteriormente, realizou-se a extração das informações das outorgas e dos usos insignificantes, como o nome do outorgado, a localização do ponto de captação, o tipo de captação (superficial, barramento ou subterrânea), o corpo d'água, a finalidade do uso, a validade das outorgas, o valor de vazão deferido e as informações sobre as horas de captação por dia, os dias no mês e os meses no ano.

Tantos as outorgas quanto os usos insignificantes foram categorizados nos seguintes usos: irrigação, abastecimento público, consumo geral (usos

pequenos de pouca relevância, do tipo paisagismo e lavagem de máquinas), consumo humano, dessedentação de animais, extração mineral e processos industriais.

Durante a fase de preparação da base de dados de outorgas percebeu-se que boa parte das primeiras outorgas emitidas para a bacia do rio Paracatu não possuíam especificações sobre a quantidade de horas/dia e dias/mês para fins de captação de água. Para que houvesse maior precisão nos volumes gerados, foi necessário realizar uma padronização dos dados brutos para as portarias que não possuíam especificação das horas e/ou dias de captação no mês, obedecendo os seguintes critérios definidos no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu (IGAM, 2006):

- 1) Irrigação - Irrigation – IR: considerou-se 15,3 h/dia de captação e 25,8 dias/mês.
- 2) Considerou-se que a captação ocorre durante 24 (h/dia) e todos os dias do ano para os seguintes usos:
  - a) abastecimento público - public supply – PS;
  - b) consumo geral - general consumption – GC;
  - c) consumo Humano - human consumption – HC;
  - d) dessedentação de animais - watering livestock – WL;
  - e) extração mineral - mineral extraction – ME; e
  - f) processos industriais - industrial processes – IP.

Em algumas portarias de outorgas eram definidos quantos meses haveriam de captação, entretanto não apresentavam nenhuma especificação de quais seriam estes meses. Neste caso foram considerados como prioritários aqueles com menores índices pluviométricos, principalmente quando se tratava da irrigação. Na falta de valores de vazão outorgada a portaria era desconsiderada.

No caso dos usos insignificantes, a partir do tempo médio de captação de todos os cadastros, foi realizada uma padronização para aqueles que não

apresentavam essa informação, sendo atribuído 10 horas de captação diária. Além disso, foi adotado que as captações eram realizadas todos os dias nos meses do ano.

Na Figura 11 são apresentadas as outorgas e os usos insignificantes levantados para a área de estudo. No total foram levantados e analisados 1.999 outorgas e 4.277 usos insignificantes.

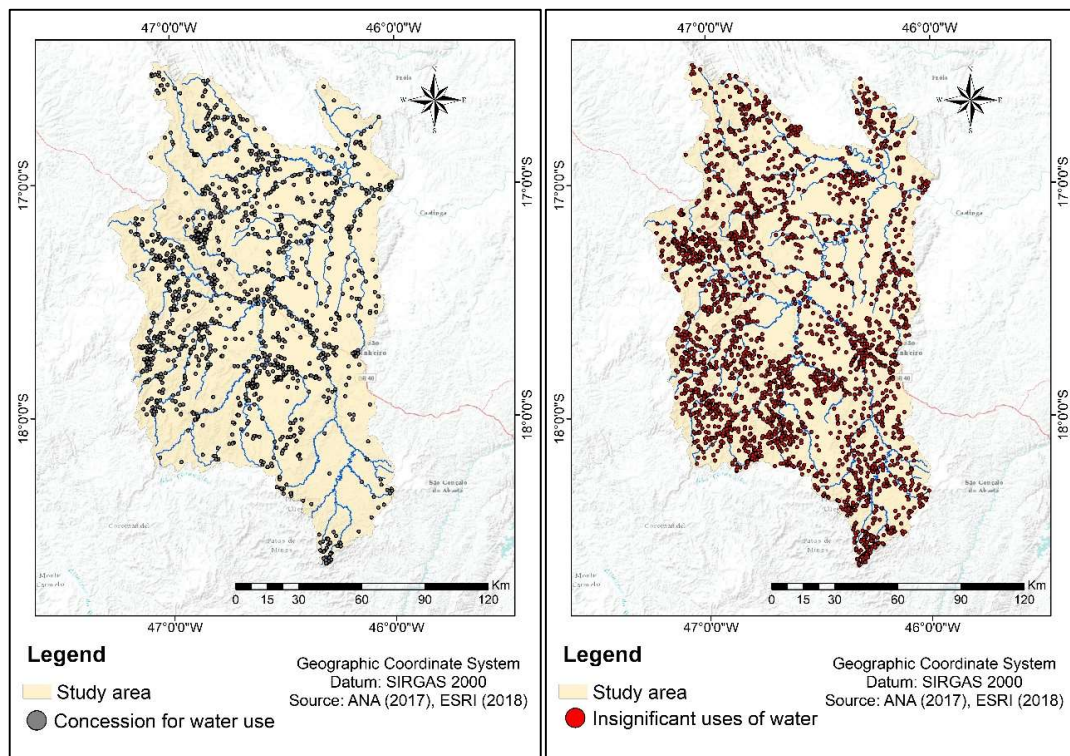


Figura 11 - Outorgas e usos insignificantes na área de estudo.

As captações realizadas nas sub-bacias se deram de três formas: em barramento, em cursos d'água e subterrânea. As duas primeiras detinham valores expressivos quanto ao volume outorgado, em torno de 95% do total. Devido à baixa representatividade de outorgas com captação subterrânea estas foram desconsideradas.

A série de volumes mensais foi gerada considerando o acúmulo dos volumes outorgados por uso desde o ano 2000 até 2014. Além dos anos de calibração foram obtidos os volumes outorgados até 2017 para auxiliar na projeção dos cenários futuros (Item 3.4). Quando era identificado a renovação de alguma portaria, a partir da data de renovação eram considerados apenas os volumes da nova portaria. Para as portarias que aparentemente não foram

renovadas, pressupôs-se que o outorgado continuava fazendo o uso da água, logo, a portaria era mantida ao longo de toda a série.

Mediante os resultados deste levantamento foi possível estimar para todos meses do ano (janeiro a dezembro) o volume, em m<sup>3</sup>, de água retirada por cada um dos outorgados. Em cada sub-bacia foi calculado o volume captado, para cada tipo de uso, em todos os meses do ano para a série temporal de 2000 a 2017, considerando as captações superficiais (barramento e em cursos d'água).

### 3.3.2.5 Estatísticas de ajuste do modelo

A aferição da acurácia dos valores estimados pelo WEAP em comparação aos dados históricos observados nas estações fluviométricas foi realizada por meio do Índice de Concordância de Willmott (d) (WILLMOTT, 1981), do Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (ENS) (NASH; SUTCLIFFE, 1970), da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e do Erro Médio Absoluto (MAE).

O Índice de concordância de Willmott, o Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (ENS), a Raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o Erro Médio Absoluto (MAE) foram calculados por meio das Equações 19, 20, 21 e 22, respectivamente.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \hat{O}| + |O_i - \hat{O}|)^2} \quad (19)$$

$$ENS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \hat{O})^2} \quad (20)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (21)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (22)$$

em que,  $\hat{O}$  é média dos dados observados;  $O_i$  são os dados observados,  $P_i$  são os dados estimados e  $n$  é número de observações em um determinado intervalo de tempo.

O valor de  $d$  varia de 0 a 1, sendo que quanto maior o valor  $d$ , melhor o desempenho do modelo. Já o valor de ENS varia de  $-\infty$  a 1, sendo que maiores valores indicam melhor ajuste do modelo. Quando o valor de ENS for maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de ENS entre 0,36 e 0,75 o desempenho é considerado aceitável, enquanto valores de ENS inferiores a 0,36 o modelo é julgado inaceitável (BALOKOSKI et al., 2010; PRUSKI et al., 2007; VIOLA et al., 2009).

O RMSE e o MAE possuem dimensões iguais à dimensão dos dados observados e estimados. O RMSE pode ser interpretado como a raiz de uma medida do desvio médio entre os dados observados e preditos ao quadrado. Já o MAE representa o desvio médio entre os dados e preditos pelo modelo. Num comparativo entre o RMSE e o MAE nota-se que o RMSE proporciona maior peso aos grandes desvios, já o MAE dá um peso igual a todos os desvios.

Tanto o RMSE quanto o MAE, além de terem sido aplicados a todas as séries de dados de vazão observadas e estimadas, também foram aplicados apenas para as vazões mínimas, com o intuito de melhorar o ajuste dessas durante o processo de calibração, principalmente no período de recessão do escoamento. Esta etapa foi muito importante, uma vez que se tem como objetivo utilizar WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos, é desejado uma boa calibração e estimativa das vazões mínimas.

### 3.4 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

Foram adotadas quatro possibilidades de cenários futuros para a área de estudo, sendo todos associados a duas premissas: aumento da área irrigada e mudanças climáticas. As simulações consistiram em estimar as vazões mensais pelo modelo WEAP até o ano de 2030; levando em consideração o aumento da área irrigada e dois cenários de mudanças climáticas.

O aumento da área irrigada foi baseado na ANA (2017), no qual é estimado um incremento de 75 a 100% da agricultura irrigada na área de estudo. Conforme mencionado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu (IGAM, 2006), nessa bacia existe o predomínio da agricultura via pivô central, logo, os incrementos na área irrigada nessa bacia serão destinados a esse sistema de irrigação.

As projeções de mudanças climáticas foram baseadas no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (COLLINS; KNUTTI, 2013). Para as simulações de cenários futuros no modelo WEAP foram adotados dois cenários, RCP 4.5 e RCP 8.5, sendo o primeiro cenário categorizado como intermediário e o segundo como pessimista, conforme o IPCC.

Tanto o cenário 4.5 quanto o 8.5 foram gerados a partir do modelo climático Eta, com resolução espacial de 20 km de pixel, que cobre a área da América do Sul, América Central e o Caribe. Especificamente para este trabalho, o *downscaling* foi realizado por meio dos modelos climáticos globais, o Hadley Centre Global Environmental Model, versão 2 (HadGEM2-ES), Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC5) e Canadian Earth System Model (CanESM2).

Os dados dos modelos climáticos MIROC5 e CanESM2 foram obtidos junto ao PROJETA/INPE (Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul Regionalizadas pelo Modelo Eta). Foram obtidos em base mensal para os anos de 2015 a 2030, tanto para o modelo MIROC5 quanto para o CanESM2. Os dados de temperatura média ponderada (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento ( $m.s^{-1}$ ) e precipitação (mm). De posse desses dados foi gerado para cada sub-bacia uma série de dados mensais para cada variável climática.

Para a obtenção da série futura de vazões no modelo WEAP foram utilizados os parâmetros calibrados para sub-bacia considerando o período de 2000 a 2014, juntamente com as séries geradas pelos modelos climáticos para o período de 2015 a 2030.

Dessa forma, os cenários futuros para este trabalho foram:

1. Cenário 1 (S1) – RCP 4.5 do IPCC para mudanças climáticas e não incremento na área irrigada até o ano de 2030;
2. Cenário 2 (S2) - RCP 4.5 do IPCC para mudanças climáticas e incremento de 100% na área irrigada até o ano de 2030;
3. Cenário 3 (S3) - RCP 8.5 do IPCC para mudanças climáticas e não incremento na área irrigada até o ano de 2030; e
4. Cenário 4 (S4) - RCP 8.5 do IPCC para mudanças climáticas e incremento de 100% na área irrigada até o ano de 2030.

### 3.5 INDICES DE SUSTENTABILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ESTUDO

De posse das séries de vazões, considerando os cenários futuros (2015 – 2030), foi utilizado o índice de sustentabilidade de recursos hídricos, proposto por SANDOVAL-SOLIS (2011), para verificar o comportamento da disponibilidade hídrica na área de estudo levando-se em consideração tanto as mudanças climáticas quanto o aumento da demanda de água via irrigação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Após a aplicação do Teste de Run às séries de dados anuais e mensais de precipitação e de vazão, verificou-se que a hipótese  $H_0$  foi aceita e que as séries temporais eram independentes e aleatórias e, portanto, foi possível a aplicação dos Testes de Mann-Kendall e Pettitt aos dados das estações fluviométricas e pluviométricas (NEETI; EASTMAN, 2011).

#### 4.1.1 Uso e cobertura da terra

Na Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18 estão apresentados o uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2006, 2011 e 2014, respectivamente. Os usos representados foram: Agricultura, Formação florestal, Floresta Plantada, Agricultura Irrigada, Mineração, Pastagem, Rios e Lagos, Formação Savânica (ou Cerrado) e Área Urbana.

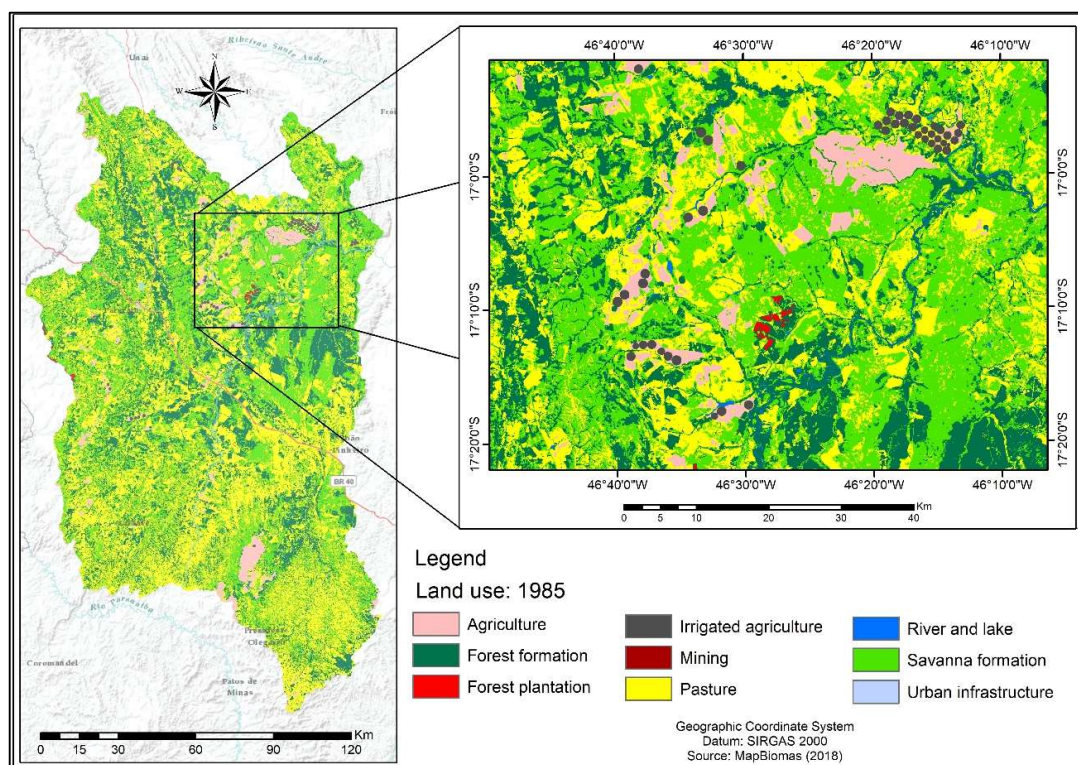


Figura 12 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1985.

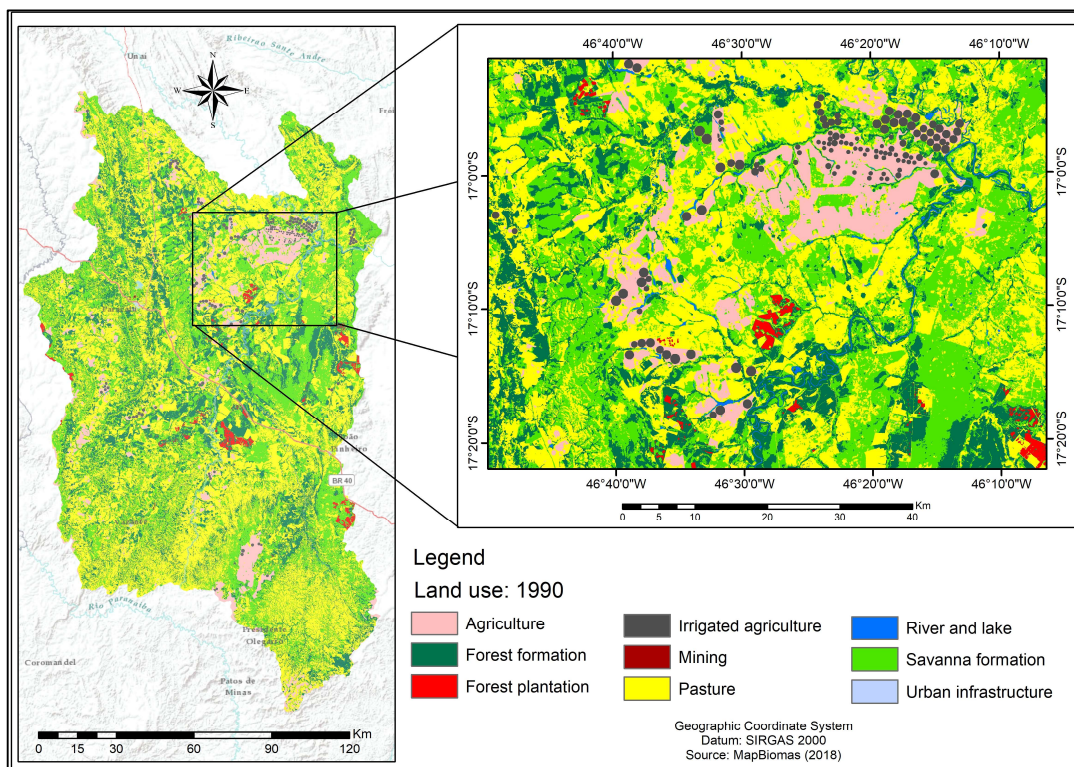


Figura 13 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1990.

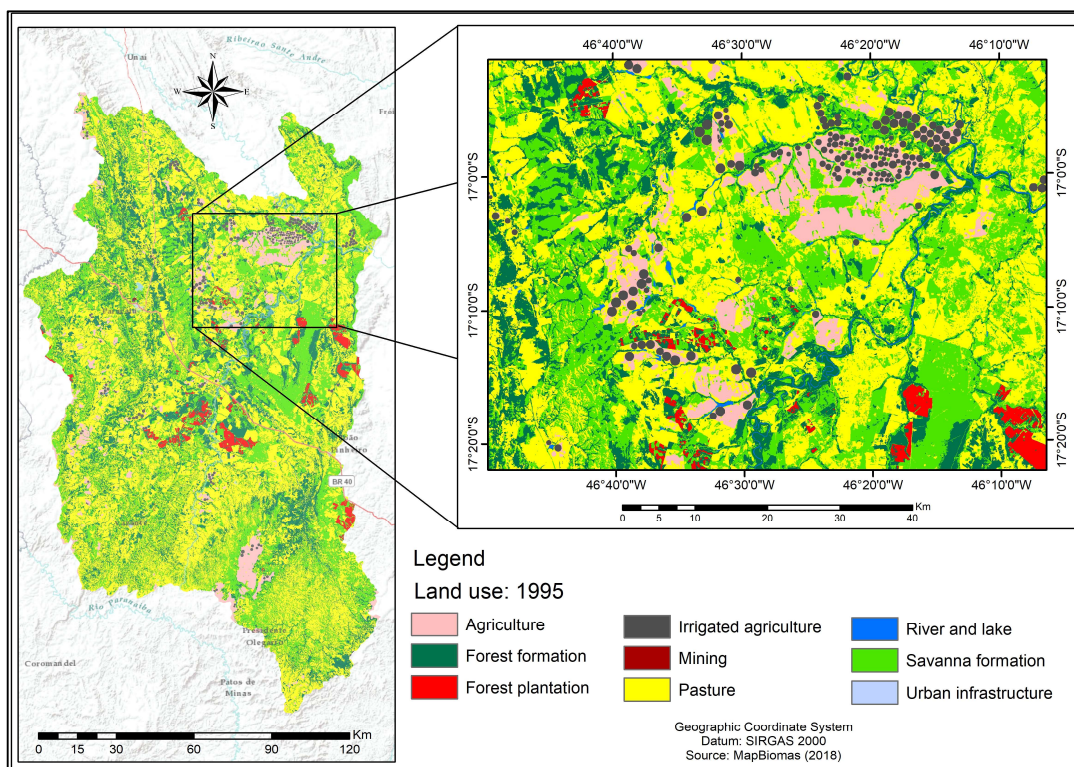


Figura 14 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 1995.

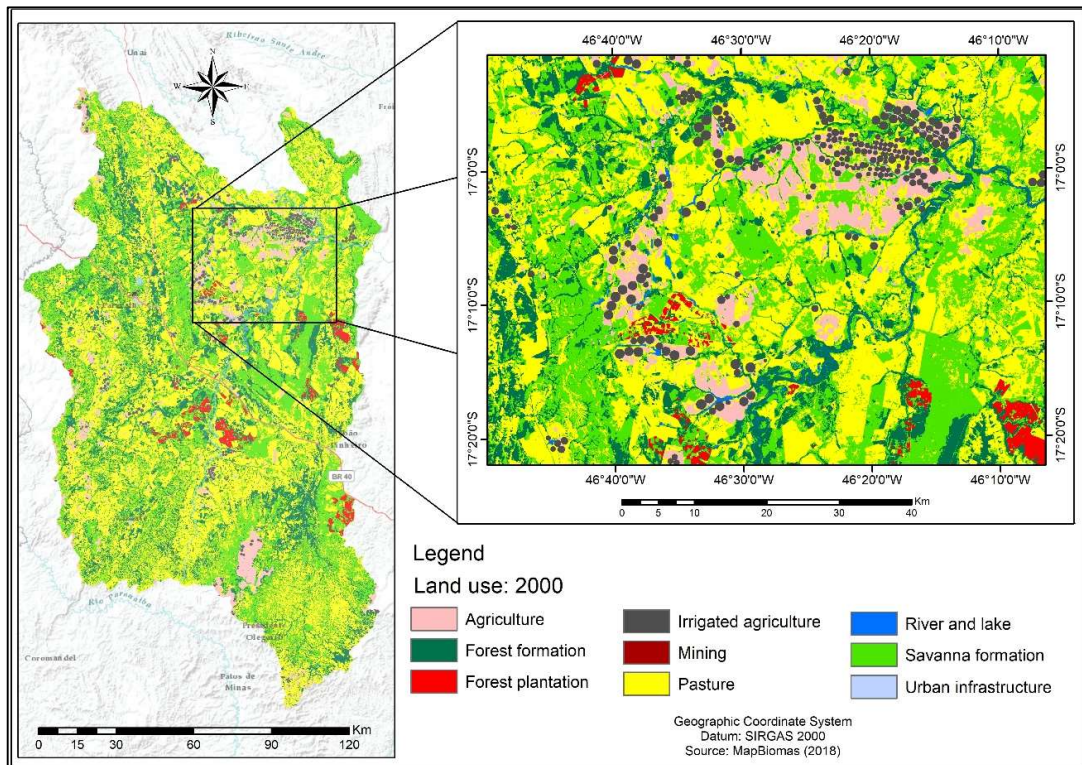


Figura 15 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2000.

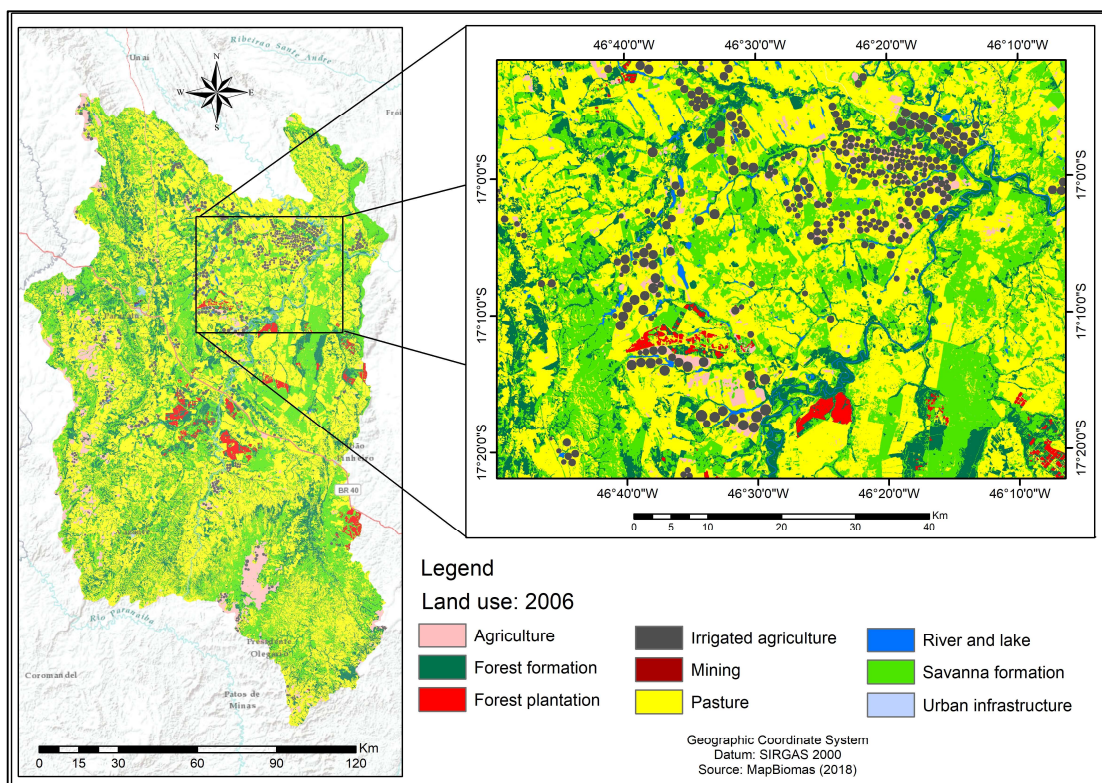


Figura 16 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2006.

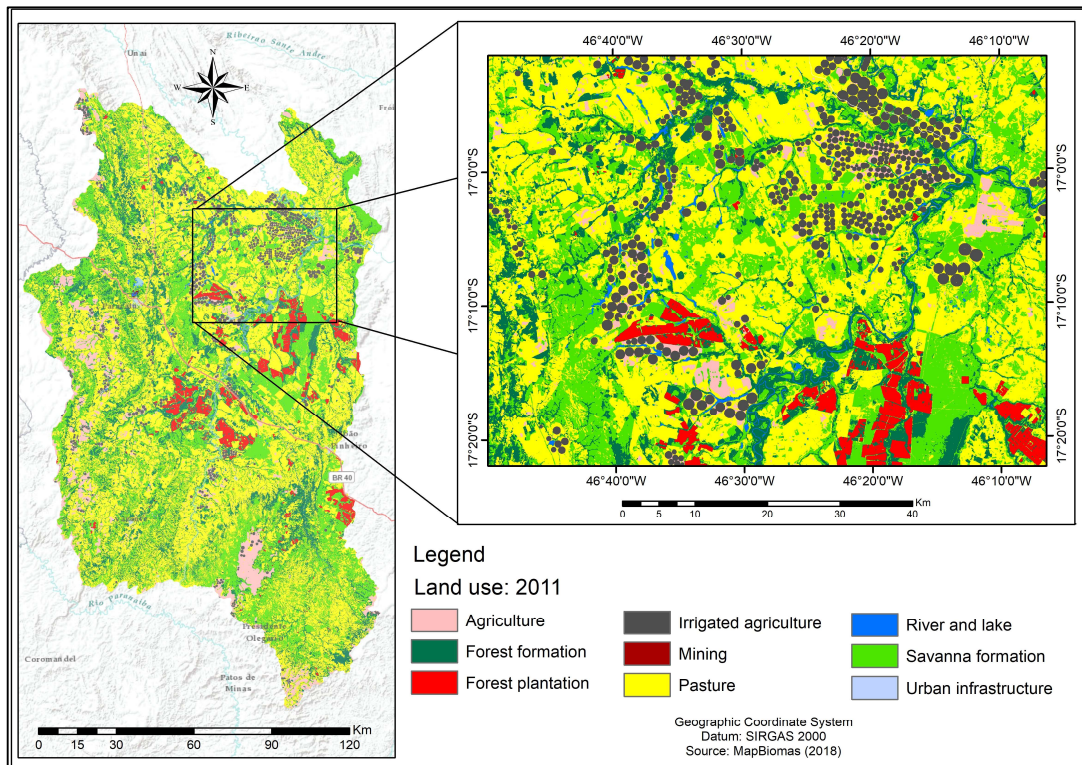


Figura 17 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2011.

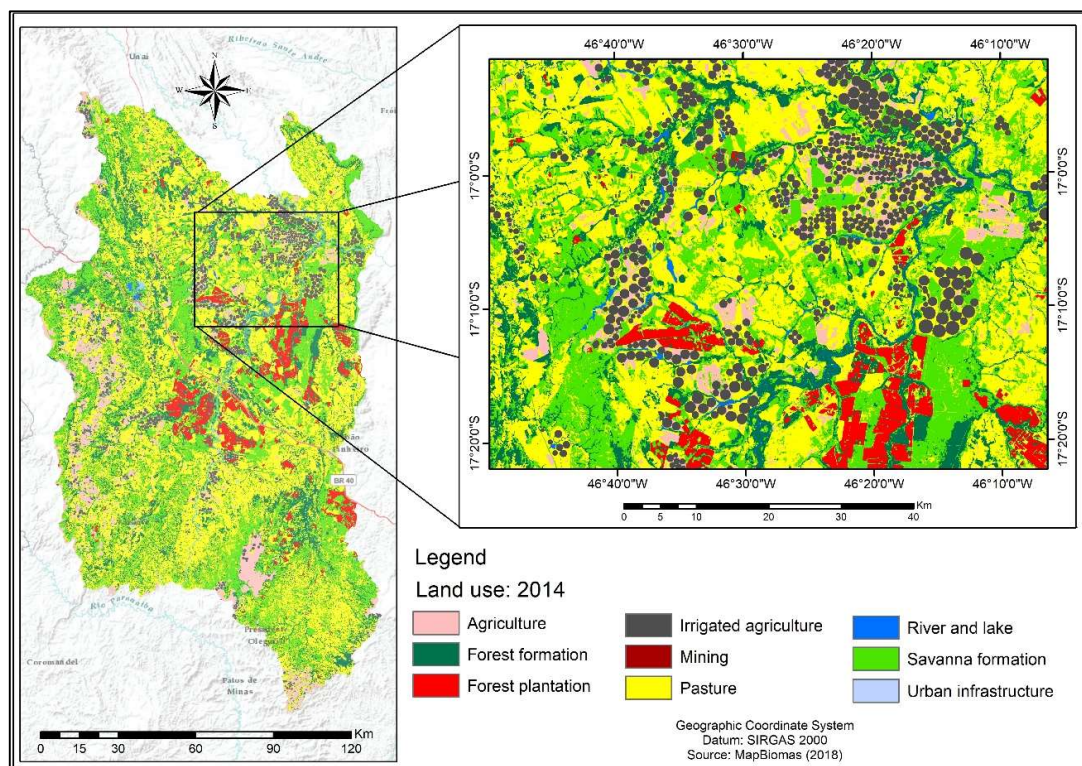


Figura 18 - Uso e cobertura da terra na área de estudo no ano de 2014.

No ano de 1985 haviam poucas áreas com Florestas Plantadas e Agricultura Irrigada na área em estudo, identificados pelas áreas em vermelho e pelos círculos que formam os pivôs centrais, respectivamente. A maior predominância nesse ano era de Pastagem, Cerrado, e Formação Florestal. Nessa época, a Agricultura estava iniciando sua expansão na área de estudo, sendo possível notar algumas áreas de destaque, como por exemplo a região de confluência entre o ribeirão Entre-Ribeiros e o rio Paracatu e a região mais ao sul da área de estudo (como destacado na Figura 12). A Agricultura ocupava nessa época apenas 564,18 km<sup>2</sup>, ou seja, 2,7% da área de estudo.

As Formações Florestais se concentravam nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), tanto de mata ciliar quanto de topos de morro. Já no ano 2000 (Figura 15) observou-se um aumento nas áreas de Pastagem, Agricultura, Agricultura Irrigada e Floresta Plantada. Em contrapartida, ocorreu redução nas áreas de Formação Florestal e Cerrado. A variação do uso e cobertura da terra para os anos analisados na área de estudo pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Uso e cobertura da terra para os anos analisados.

<b>Uso e cobertura da terra (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Anos</b>						
	<b>1985</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2006</b>	<b>2011</b>	<b>2014</b>
Formação Florestal	4534,8	3849,9	3631,6	3468,4	3117,4	3263,5	3160,8
Floresta Plantada	18,4	160,1	317,0	291,0	264,3	604,2	883,9
Formação savânica	7160,4	6601,0	6315,3	6441,6	6301,3	5926,6	5701,1
Pastagem	8322,3	8942,4	9348,4	9222,4	9734,4	9148,0	8663,5
Agricultura	564,2	942,9	825,2	877,7	735,2	1010,6	1365,4
Infraestrutura urbana	12,3	15,2	17,1	18,4	19,2	24,4	28,0
Mineração	1,1	3,0	3,1	4,5	3,3	4,2	2,3
Rio, lago e oceano	48,2	72,9	64,1	90,6	118,9	125,1	103,9
Agricultura irrigada	78,9	153,2	222,0	324,6	445,3	632,9	835,3

FONTE: MapBiomias, 2018 - modificado

Entre 1985 e 2000 os maiores incrementos ocorreram nas classes Floresta Plantada (1.481%) e Agricultura irrigada (310%). Ao passo que as

maiores reduções ocorreram nas classes Formação florestal (-23,5%) e Cerrado (-10,8%).

A Agricultura irrigada apresentou um crescimento concentrado na bacia do ribeirão Entre-Ribeiros. Já a classe Floresta Plantada concentrou-se na parte central da área de estudo, como pode se observar na Figura 15.

No ano de 2014 (Figura 18) notam-se expressivas mudanças no uso de cobertura da terra, principalmente devido ao crescimento das classes Agricultura, Agricultura irrigada e Floresta Plantada. Em contrapartida, ocorreu redução nas áreas de Formação Florestal, Cerrado e Pastagem. Observa-se a redução na classe Pastagem em decorrência da expansão das áreas de Agricultura, Agricultura irrigada e Floresta Plantada.

Entre 2000 e 2014 os maiores incrementos ocorreram, novamente, nas classes Floresta Plantada (203,8%) e Agricultura irrigada (157,3%). Ao passo que as maiores reduções ocorreram nas classes Cerrado (-11,5%) e Formação florestal (-8,9%). Nota-se também a evolução da Agricultura na região oeste da bacia, assim como o crescimento da classe Floresta Plantada na região leste da área de estudo.

Com o intuito de correlacionar o uso e cobertura da terra com os dados de vazão, avaliou-se as modificações no uso e cobertura da terra a montante de cada uma das estações fluviométricas utilizadas no estudo e que foram objeto da aplicação dos testes de Mann-Kendall e Pettitt.

Nas Figura 19, Figura 20 e Figura 21 são apresentadas a evolução do uso e cobertura da terra a montante das estações 42251000, 42257000, 42290000, 42395000 e 42690001, respectivamente.

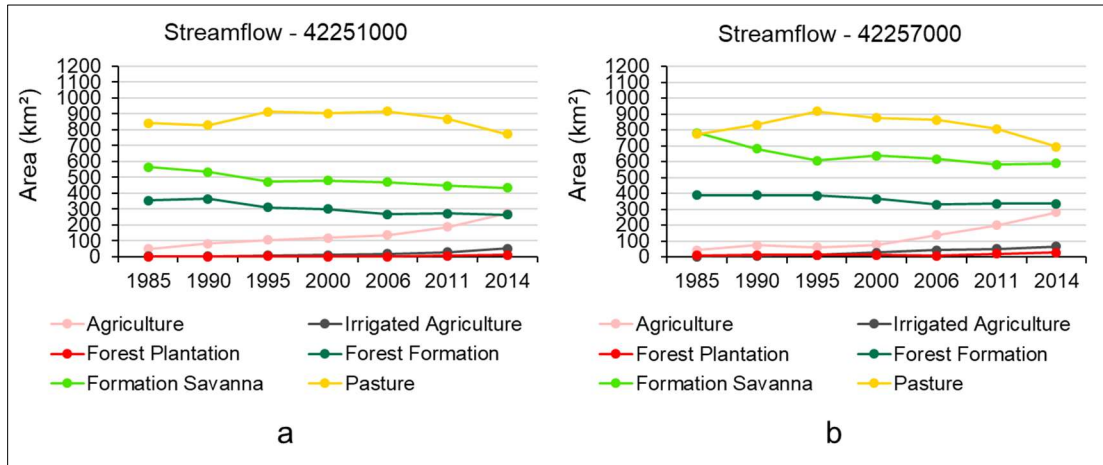


Figura 19 - Uso e cobertura da terra a montante das estações: (a) 42251000; e (b) 42257000.

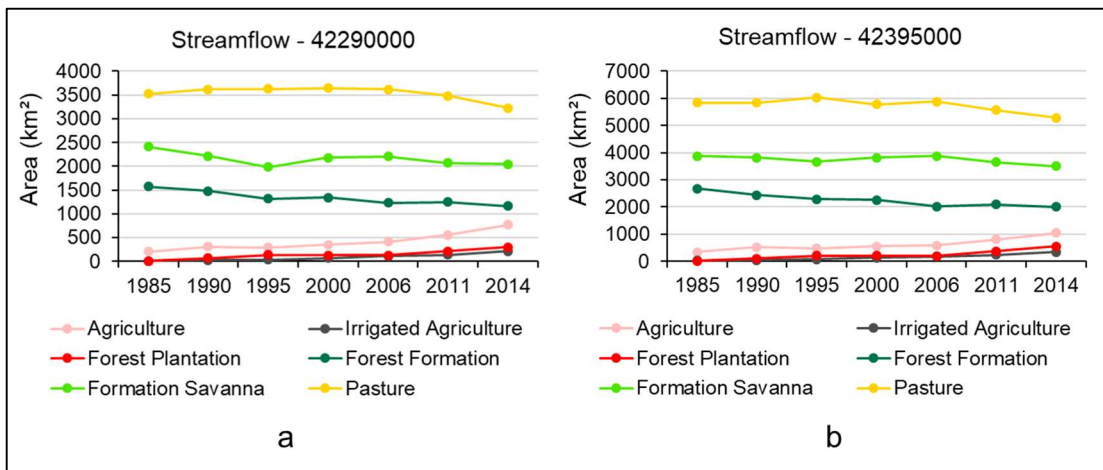


Figura 20 - Uso e cobertura da terra a montante das estações: (a) 42290000; e (b) 42395000.

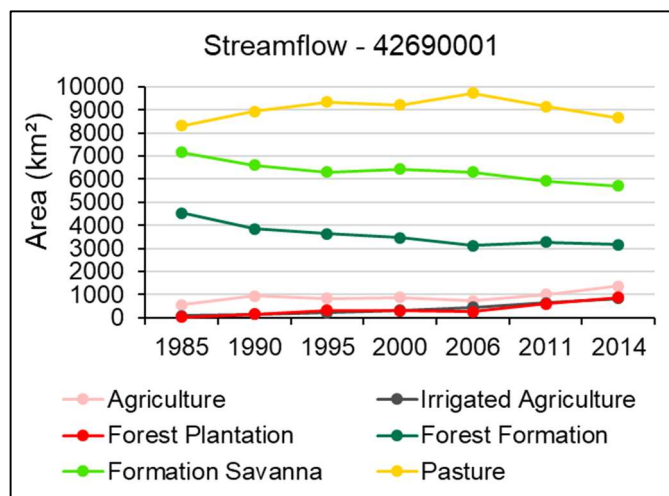


Figura 21 - Uso e cobertura da terra a montante da estação 42690001.

Observa-se que houve uma redução nas formações naturais florestais (classes Formação Florestal e Cerrado) ao longo de toda a série (1985 – 2014). Entretanto, do início, até meados da série, a classe Pastagem apresentou incrementos, ao passo que reduções na mesma magnitude foram observadas nas classes Formação Florestal e Cerrado. Notou-se, ainda, um crescimento nas classes Agricultura e Floresta Plantada ao longo do tempo, todavia esse crescimento ocorreu em maior magnitude a partir do ano 2000, onde é observado a redução na classe Pastagem. Nos gráficos acima, note que foram representadas apenas as classes de maior relevância para o estudo.

#### 4.1.2 Tendência série anual

Ao se aplicar o Teste de Mann Kendall às séries históricas de vazões máximas anuais ( $Q_{\max \text{ anual}}$ ) das cinco estações fluviométricas, nenhuma apresentou tendência a 5% de significância. Com relação à vazão média ( $Q_{\text{med anual}}$ ), apenas a estação 42690001 apresentou tendência, sendo essa de caráter negativo, e com mudança de comportamento no ano de 1994.

Essa mesma estação apresentou tendência negativa na vazão mínima anual ( $Q_7 \text{ anual}$ ), com ponto de mudança no mesmo ano (1994), o que justifica a redução na vazão média. As demais estações fluviométricas em estudo (42395000, 42251000, 42257000 e 42290000) também apresentaram tendência de redução na  $Q_7 \text{ anual}$  considerando o Teste de Mann Kendall a 5% de significância.

É importante observar que a mudança de comportamento nas séries histórica anual das vazões média e mínima ocorreu entre 1992 e 1995 (Tabela 7), conforme o Teste de Pettitt.

Tabela 7 - Tendência na série histórica total de vazões média e mínima e ponto de mudança para as cinco estações fluviométricas adotadas no estudo

<b>Estação</b>	<b>Variável</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
42690001	$(Q_{\text{med anual}})$	Negativa	1994
	$Q_7 \text{ anual}$	Negativa	1994
42395000	$Q_7 \text{ anual}$	Negativa	1995
42251000	$Q_7 \text{ anual}$	Negativa	1992

Estação	Variável	Tendência	Ponto de Mudança
42257000	Q <sub>7</sub> anual	Negativa	1995
42290000	Q <sub>7</sub> anual	Negativa	1993

Na Figura 22 é possível observar o comportamento dos dados de vazões para as estações fluviométricas que apresentaram tendência ao longo da série histórica em estudo, ou seja, 1980 a 2014. As linhas em vermelho indicam a tendência dos dados, sendo notória a redução dos valores de Q<sub>7</sub> e Q<sub>med</sub> anual. Os desvios nos dados observados são as regiões na cor cinza que envolvem a linha de tendência, corroborando com o ponto de mudança da série total e indicando uma maior frequência de vazões mínimas entre os anos de 1993 a 1995.

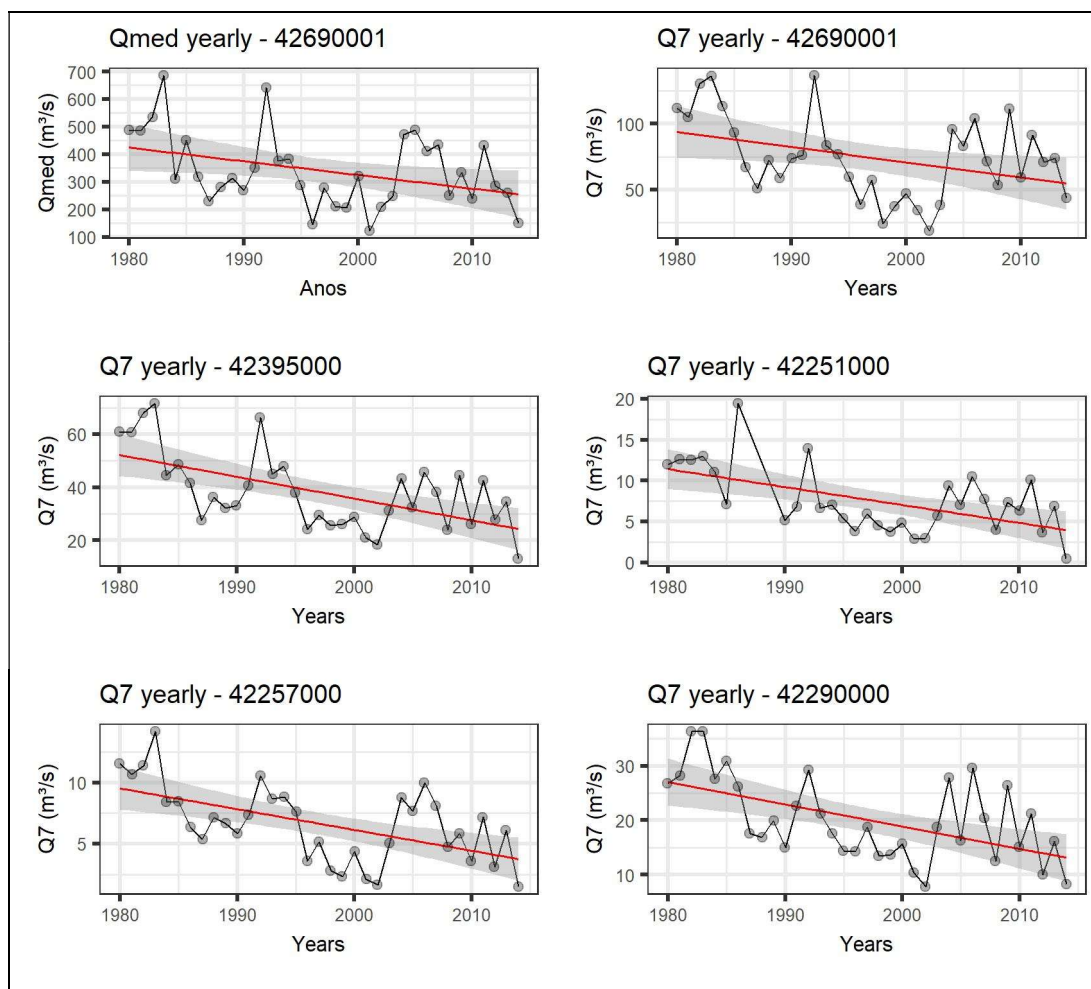


Figura 22 - Comportamento dos dados de vazões para as estações fluviométricas que apresentaram tendência anual ao longo da série histórica (1980 a 2014).

Nenhuma estação pluviométrica apresentou tendência significativa na precipitação total quando analisada em série anual, ou seja, o padrão do comportamento pluviométrico permaneceu uniforme de 1980 a 2014 considerando o Teste de Mann Kendall a 5% de significância.

Tal constatação evidencia que, provavelmente, os totais precipitados anuais não contribuíram para as reduções nas vazões, corroborando com WANG et al. (2013), que observaram redução significativa da vazão média anual, porém, não foi observado a tendência significativa para a precipitação (série histórica entre 1963-2008).

Desta forma, a princípio, a variação na precipitação não promoveu distúrbio na vazão. Sendo assim, a redução de  $Q_7$  nas séries anuais das estações fluviométricas é decorrente, possivelmente, do aumento da demanda da água e variação do uso e cobertura da terra.

#### 4.1.3 Tendência série mensal

Analisando a série mensal de vazões, os dados de vazão máxima mensal ( $Q_{\max \text{ mensal}}$ ) apresentaram variação em todas as estações pelo menos em algum mês (Tabela 8), conforme o Teste de Mann-Kendall a 5% de significância. Nota-se, de modo geral, uma tendência negativa para a  $Q_{\max \text{ mensal}}$ , com exceção para o mês de janeiro na estação 42251000, com mudança de comportamento no ano de 1999.

Esse aumento na tendência da  $Q_{\max \text{ mensal}}$  para a estação 42251000 está relacionado com a elevada umidade do solo no mês de Janeiro em associação a modificação do uso da terra a montante dessa estação. Como observado na Figura 19, entre 1985 e 2000 houve uma redução de aproximadamente 3% para a classe Formação Florestal, e 5% para a classe Cerrado, e consequente aumento da classe Pastagem a montante da estação fluviométrica 42251000.

O que potencializa o aumento da vazão máxima nessa estação especificamente é o fato da mesma estar mais a montante em relação a todas as outras estações, ou seja, devido a declividade mais acentuada nas áreas de cabeceira juntamente com a redução das áreas com cobertura Florestal, espera-se um aumento na vazão máxima.

Sabendo-se que a capacidade de infiltração depende do uso e cobertura da terra, quanto maiores as áreas de formações florestais menor será o escoamento superficial produzido. Tal fato é ainda mais evidente em solos que sofrem a ação da compactação, como as pastagens degradadas no Brasil, cuja capacidade de infiltração pode diminuir consideravelmente, resultando em maior escoamento superficial em bacias que apresentaram elevada substituição de florestas por pastagens (TUCCI; CLARKE, 1997).

Além disso, o desmatamento de formações florestais e em áreas de cerrado, e sua conseqüente fragmentação e substituição por terras agrícolas e pastagens, afetam diretamente o balanço hídrico da bacia, uma vez que a água deixa o sistema através de escoamento ao invés de evapotranspiração (SPERA; GALFORD; COE, 2016).

Nas demais estações, a tendência ocorreu somente em caráter de redução da vazão máxima. As tendências negativas ocorreram entre julho a dezembro, e nos anos de 1992 a 1994. Nos meses de fevereiro a junho não foi observado presença de tendência significativa. A redução na tendência das vazões máximas nas nessas estações podem ser justificadas pela elevada quantidade de pequenas barragens de terra construídas na região, que promovem um efeito de regularização dos cursos d'água, logo, reduzindo as vazões máximas em vários meses do ano.

Tabela 8 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão máxima ( $Q_{\max \text{ mensal}}$ ), caráter da tendência e ponto de mudança

<b>Vazão máxima mensal</b>			
<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
42251000	Janeiro	Positiva	1999
	Setembro	Negativa	1992
	Outubro	Negativa	1994
42257000	Janeiro	Negativa	1986
	Agosto	Negativa	1993
	Setembro	Negativa	1994
	Outubro	Negativa	1994
	Novembro	Negativa	1994
	Dezembro	Negativa	1992
42290000	Outubro	Negativa	1993
42395000	Julho	Negativa	1994
	Agosto	Negativa	1986
	Setembro	Negativa	1993

<b>Vazão máxima mensal</b>			
<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
42690001	Outubro	Negativa	1993
	Julho	Negativa	1994
	Agosto	Negativa	1986
	Setembro	Negativa	1993
	Outubro	Negativa	1992

Em relação às vazões médias mensais ( $Q_{med\ mensal}$ ), todas as estações apresentaram tendência em pelo menos um mês do ano, sempre de caráter negativo (Tabela 9), segundo o Teste de Mann-Kendall a 5% de significância.

É importante ressaltar que em todas as estações ocorreu redução na vazão média no mês de Agosto. Nota-se que a redução na  $Q_{med\ mensal}$  (1980 – 2014) ocorreu apenas nos meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Janeiro, não sendo observada quaisquer mudanças na tendência dos dados nos meses de Fevereiro a Maio e no mês de Dezembro.

As mudanças de tendência nas  $Q_{med\ mensais}$  ocorreram, especificamente, nos anos de 1985, 1986, 1994 e 1995, conforme o Teste de Pettitt.

Ao se analisar as vazões mínimas mensais com 7 dias de duração ( $Q_7\ mensal$ ), em pelo menos dois meses do ano todas as estações apresentaram tendência (Tabela 10), conforme o Teste de Mann-Kendall a 5% de significância. Nota-se, também, que todas as tendências foram de redução no valor das  $Q_7\ mensais$ , com ocorrência nos anos de 1986, 1992, 1993, 1994 e 1995. O que justifica a redução da  $Q_{med\ mensal}$ .

Tabela 9 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão média ( $Q_{med\ mensal}$ ), caráter da tendência e ponto de mudança

<b>Vazão média mensal</b>			
<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
42251000	Agosto	Negativa	1994
	Setembro	Negativa	1994
42257000	Julho	Negativa	1985
	Agosto	Negativa	1995
	Setembro	Negativa	1995
42290000	Outubro	Negativa	1995
	Novembro	Negativa	1995
42290000	Agosto	Negativa	1986
42395000	Junho	Negativa	1986

<b>Vazão média mensal</b>			
<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
	Julho	Negativa	1986
	Agosto	Negativa	1995
	Setembro	Negativa	1994
	Outubro	Negativa	1995
	Janeiro	Negativa	1986
42690001	Julho	Negativa	1994
	Agosto	Negativa	1994

Os meses que apresentaram redução na  $Q_7$  se concentram entre Julho e Novembro, exceto na estação 42290000, que apresentou tendência de redução da  $Q_7$  no mês de Janeiro.

A redução da  $Q_{med}$  mensal está atrelado às  $Q_{max}$  mensal e as  $Q_{min}$  mensal. Devido ao fato de ter ocorrido redução nestas, conseqüentemente a  $Q_{med}$  mensal sofre redução. Assim, é importante frisar, assim como na  $Q_{med}$  mensal, a frequência em que as estações apresentaram tendência de redução na  $Q_7$  mensal nos meses de Agosto e Setembro.

Quando se analisa a Tabela 9 juntamente com a Tabela 10, nota-se que as tendências de redução tanto na  $Q_{med}$  mensal quanto na  $Q_7$  mensal ocorreram nos mesmos meses para as estações 42251000 e 42257000, corroborando com o fato de que efetivamente ocorreram modificações nas tendências das vazões entre os anos de 1992 e 1995, conforme o Teste de Pettitt.

Tabela 10 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de vazão mínima com 7 dias de duração ( $Q_7$  mensal), caráter da tendência e ponto de mudança

<b>Vazão mínima mensal</b>			
<b>Estação</b>	<b>Mês</b>	<b>Tendência</b>	<b>Ponto de Mudança</b>
42251000	Agosto	Negativa	1994
	Setembro	Negativa	1994
	Julho	Negativa	1995
	Agosto	Negativa	1992
42257000	Setembro	Negativa	1995
	Outubro	Negativa	1994
	Novembro	Negativa	1995
	Janeiro	Negativa	1986
42290000	Setembro	Negativa	1986
	Outubro	Negativa	1993

Vazão mínima mensal			
Estação	Mês	Tendência	Ponto de Mudança
42395000	Julho	Negativa	1986
	Agosto	Negativa	1995
	Setembro	Negativa	1994
	Outubro	Negativa	1994
42690001	Maio	Negativa	1994
	Julho	Negativa	1994

As mudanças de comportamento das três vazões (máxima, média e mínima), na escala mensal, estão associadas ao aumento da demanda pelo uso da água na bacia, bem como mudança do uso e cobertura da terra. Como o aumento da classe agricultura irrigada foi crescente ao longo de todo o período analisado, maiores serão os incrementos nas captações para atender as demandas hídricas das culturas. Como na região o período de maior déficit hídrico ocorre entre os meses de maio a outubro, os aumentos nas captações promoveram reduções nas vazões, causando modificação no comportamento da tendência.

Conforme citado anteriormente, as tendências de redução nas vazões ocorreram, na sua maioria, entre 1992 e 1995. Anteriormente a esse período a área de Agricultura irrigada era pequena e praticamente constante na área de estudo, sendo que a partir desse período, até o ano de 2014, a área irrigada apresentou incrementos expressivos. Observa-se que, inicialmente, a agricultura na área de estudo era de sequeiro, porém com a sua intensificação, passou-se a fazer o uso de sistemas de irrigação, promovendo abstrações nos recursos hídricos superficiais.

Na bacia do rio Republicano, em Nebraska e no noroeste do Kansas, observou-se tendência de redução da vazão entre 1948 a 2003 sem que houvesse mudança de tendência na precipitação (WEN; CHEN, 2006). Dessa forma, os autores concluíram que o declínio da vazão foi em função número crescente de poços usados para irrigação, com conseqüente declínio no nível do lençol freático.

Além disso, o desmatamento de formações florestais e em áreas de cerrado, e sua conseqüente fragmentação e substituição por terras agrícolas e pastagens, faz com que o solo fique mais compactado e assim a água deixa

o sistema através de escoamento ao invés de evapotranspiração (SPERA; GALFORD; COE, 2016). Quando o solo se encontra em condições de compactação, analisando o período chuvoso, o escoamento superficial é preferencial em relação a infiltração da água no solo, o que aumenta a vazão de cheia. Porém, quando não ocorre a infiltração da água no solo, o lençol freático sofre o rebaixamento, o que reduz a vazão dos rios no período da seca.

Das estações pluviométricas analisadas, somente duas estações, 01747005 e 01746018, apresentaram tendência de redução do total precipitado, ambas no mês de outubro e nos anos de 1995 e 1992, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Estações que apresentaram tendência na série histórica mensal de precipitação, caráter da tendência e ponto de mudança

Precipitação total mensal			
Estação	Mês	Tendência	Ponto de Mudança
01747005	Outubro	Negativa	1995
01746018	Outubro	Negativa	1992

Na Figura 23 é observado o comportamento da precipitação do mês de outubro, ao longo do período base, para as estações 01747005 e 01746018. As duas estações pluviométricas encontram-se próximas, nas regiões de cabeceira da área de estudo e, pela proximidade entre as mesmas, esperava-se que o padrão pluviométrico fosse similar.

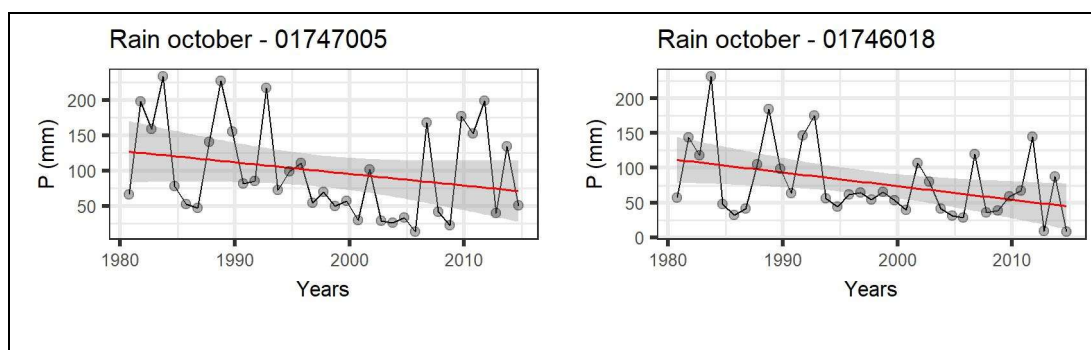


Figura 23 - Comportamento dos dados de precipitação ao longo da série histórica das estações que apresentaram tendência mensal.

As duas estações estão localizadas na cabeceira da bacia, o que influencia diretamente na vazão de todas as estações fluviométricas. A redução do total precipitado no mês de outubro influenciou na tendência das vazões dos meses de novembro e outubro, juntamente com o aumento da demanda. Sem a entrada de água na bacia hidrográfica, por meio da precipitação, a vazão dos rios permanece nas cotas mais baixas.

## 4.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO WEAP

Dentre todos os dados de entrada do modelo WEAP utilizados para a calibração, o que necessitou de maior tempo para manipulação foram as outorgas de uso da água, as quais foram separadas por sub-bacia, sendo a agricultura irrigada a grande responsável pela demanda de água.

Na Figura 24 é apresentada a evolução das demandas de água a montante de cada estação fluviométrica utilizada para a calibração, entre os anos de 2000 a 2014. Esta demanda inclui todas as atividades usuárias de água previstas nos processos de outorgas para a bacia do rio Paracatu fornecidos pelo IGAM.

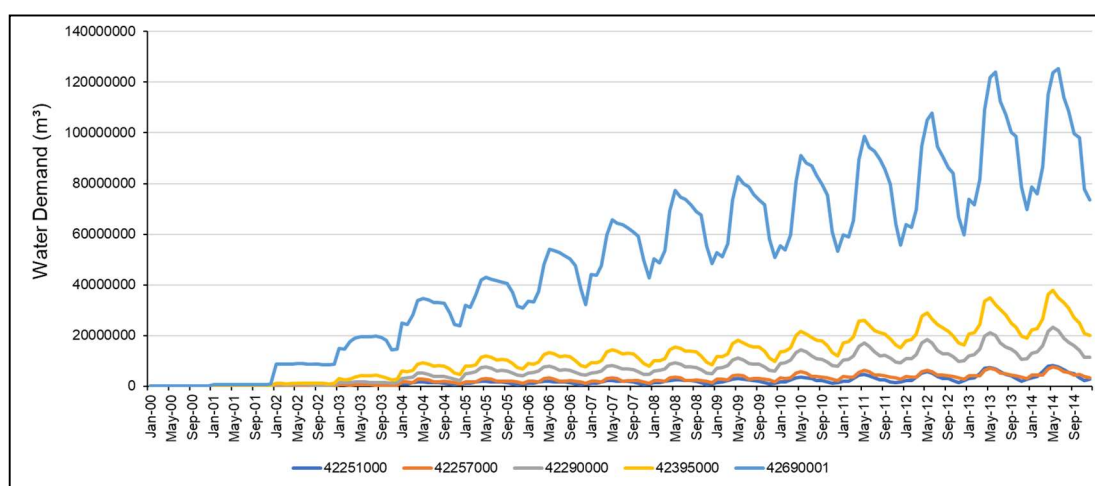


Figura 24 - Evolução das demandas de água a montante das estações fluviométricas utilizadas para fins de calibração do WEAP.

Na calibração do modelo os parâmetros do modelo variavam em um intervalo aceitável em conformidade com as características da bacia hidrográfica, como, por exemplo, tipo de solo, declividade, uso e cobertura da terra.

Deve ser ressaltado que, dos parâmetros calibrados no modelo WEAP, o *Preferred Flow Direction* - PFD variou em escala mensal e foi mantido constante para cada classe de uso e cobertura da terra, podendo ou não variar de sub-bacia para sub-bacia (Tabela 12). O *Runoff Resistance Factor* - RRF também apresentou escala mensal, com variação em cada classe de uso e cobertura da terra, mas sendo constante para cada sub-bacia em relação ao

uso e cobertura da terra (Tabela 13). Tanto o PFD quanto o RRF são adimensionais.

Já os parâmetros Soil Water Capacity - SWC, Root Zone Conductivity - RZC, Deep Water Capacity - DWC e Deep Conductivity - DC apresentaram valores constantes para os usos, contudo, variaram entre as sub-bacias, em função do tipo de solo predominante (Tabela 14).

Tabela 12 - Média dos valores mensais calibrados do parâmetro *PFD* para cada sub-bacia

<i>Preferred Flow Direction - PFD</i>												
<i>Sub-bacia</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>RES1</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>REHO</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>RES2</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>RPA1</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>RPRA</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>RPA2</i>	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9
<i>RERI</i>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
<i>RPRO</i>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
<i>RVDE</i>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6
<i>RPA3</i>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6

Tabela 13 - Valores mensais calibrados do parâmetro *RRF* para cada classe de uso da terra

<i>Runoff Resistance Factor - RRF</i>												
<i>Tipo de uso da terra</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>
<i>Pastagem</i>	3,3	3,1	2,8	2,1	1,9	2,5	5,1	8	8	8	7,3	3,3
<i>Cerrado</i>	4	3,8	3,5	2,8	2,3	3,4	5,8	8	8	8	7,5	3,8
<i>Formação Florestal</i>	6	6	5,5	4	4	4	6	8	8	8	7,5	4
<i>Agricultura</i>	3	2,8	2,5	1,8	1,6	2,2	4,8	8	8	8	7,3	3
<i>Floresta Plantada</i>	4	3,8	3,5	2,8	2,3	3,3	5,8	8	8	8	7,5	3,8
<i>Infraestrutura Urbana</i>	1	1	1	1	1	1	1	8	8	8	4,5	1
<i>Agricultura Irrigada</i>	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	7,5	4
<i>Rios e Lagos</i>	1	1	1	1	1	1	1	8	8	8	4,5	1

Tabela 14 - Valores calibrados dos parâmetros SWC, RZC, DWC e DC para cada sub-bacia

<i>Sub-bacia</i>	<i>SWC</i> <i>(mm)</i>	<i>RZC</i> <i>(mm mês<sup>-1</sup>)</i>	<i>DWC</i> <i>(mm)</i>	<i>DC</i> <i>(mm mês<sup>-1</sup>)</i>
<i>RES1</i>	1.100	240	1.000	200
<i>REHO</i>	1.200	190	1.000	200
<i>RES2</i>	900	200	1.000	200
<i>RPA1</i>	700	125	1.000	200
<i>RPRA</i>	800	180	1.000	200

<i>Sub-bacia</i>	<i>SWC</i> (mm)	<i>RZC</i> (mm mês <sup>-1</sup> )	<i>DWC</i> (mm)	<i>DC</i> (mm mês <sup>-1</sup> )
<i>RPA2</i>	900	180	1.000	200
<i>RERI</i>	800	180	1.000	200
<i>RPRO</i>	800	180	1.000	200
<i>RVDE</i>	800	180	1.000	200
<i>RPA3</i>	800	180	1.000	200

Faiz et al. (2018) obtiveram para a calibração do WEAP na bacia do rio Songhua – China valores de SWC, RZC, DWC, DC e RRF de 2500 (mm); 220 (mm mês<sup>-1</sup>); 320 (mm); 750 (mm mês<sup>-1</sup>) e 3,8; respectivamente. Em contrapartida, Pham et al. (2017) obtiveram para a calibração do modelo WEAP para uma pequena bacia hidrográfica do Vietnam valores de SWC, RZC, DWC, DC, RRF e PFD de 969,7 (mm); 134,8 (mm mês<sup>-1</sup>); 624,2 (mm); 2,9 (mm mês<sup>-1</sup>); 6,7 e 0,98; respectivamente.

Ao se comparar os dados obtidos por FAIZ et al. (2018) e PHAM et al. (2017) com o presente trabalho nota-se que existem algumas divergências nos valores dos parâmetros calibráveis. Contudo, como o modelo WEAP se trata de um modelo conceitual, as características particulares de cada local são fundamentais para descrever corretamente o sistema. Sendo assim, os resultados obtidos por FAIZ et al. (2018) tendem a ser bastante diferentes desse trabalho em virtude das diferenças existentes entre os locais de estudo, assim como PHAM et al. (2017).

Na Figura 25 são apresentadas as vazões observadas e estimadas em cada estação utilizada para a calibração (2009 a 2014) e validação (2010 a 2014) do modelo WEAP no presente trabalho. É possível notar, em uma análise visual prévia, que o comportamento das vazões previstas pelo modelo WEAP em comparação às vazões observadas apresentam comportamento similar, principalmente no que diz respeito às vazões mínimas.

Nota-se também que o modelo possui dificuldade em prever as vazões máximas em quaisquer das estações. FAIZ et al., (2018) também obtiveram o mesmo comportamento para as vazões máximas e salientaram que modelos concentrados, como o WEAP, possuem dificuldades de ajustar as vazões de pico. Contudo, como o intuito é utilizar o modelo WEAP como ferramenta de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos, o mais conveniente é se estimar com precisão o período de recessão do escoamento.

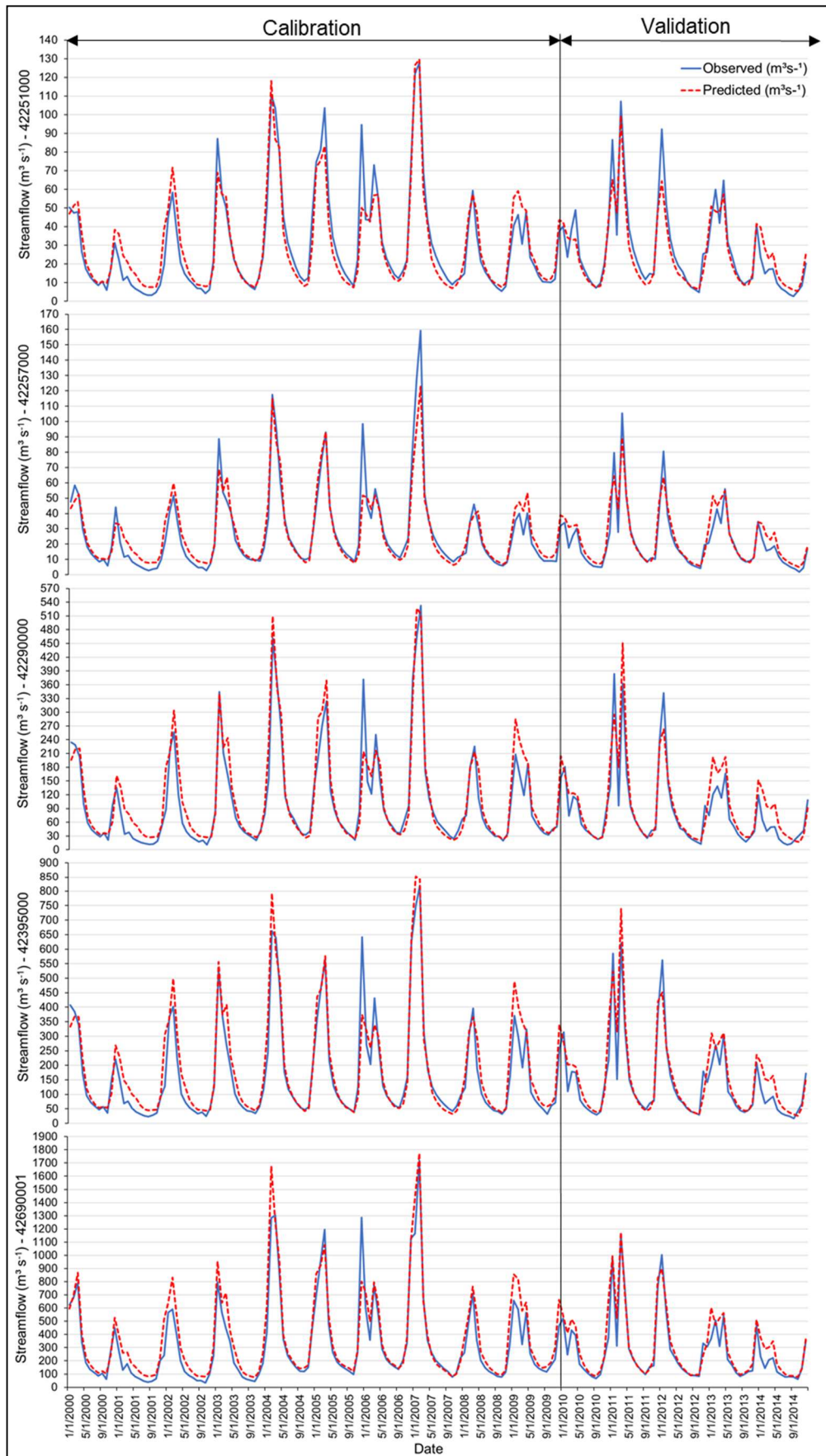


Figura 25 - Vazões observadas e estimadas nas estações utilizadas para a calibração e validação do modelo WEAP.

Na Tabela 15 são apresentadas as estatísticas utilizadas para a avaliação do ajuste, em base mensal, do modelo WEAP na calibração, enquanto na Tabela 16 são apresentadas as estatísticas da validação.

Tabela 15 - Estatísticas de ajuste do modelo WEAP na calibração (2000 - 2009)

Índices	Calibração				
	42251000	42257000	42290000	42395000	42690001
d	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97
ENS	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89
RMSE	8,08	8,37	33,18	54,31	106,44
MAE	5,52	5,26	21,82	35,02	69,89

Tabela 16 - Estatísticas de ajuste do modelo WEAP na validação (2010 - 2014)

Índices	Validação				
	42251000	42257000	42290000	42395000	42690001
d	0,97	0,96	0,95	0,97	0,97
ENS	0,89	0,88	0,82	0,86	0,89
RMSE	7,58	7,07	34,63	50,37	81,62
MAE	5,46	4,72	23,67	33,51	51,66

Os dados da Tabela 15 e da Tabela 16 corroboram com a análise visual da Figura 25, e refletem a capacidade do modelo WEAP em prever as vazões na área de estudo, considerando os parâmetros calibráveis e os dados de entrada.

O Índice de concordância de Willmott ( $d$ ), em todas as estações, foi acima de 0,95 para a calibração; valores esses semelhantes aos encontrados por Khalil et al. (2017) ao calibrarem o modelo WEAP para a bacia do rio Mae Klong na Tailândia. Os referidos autores obtiveram em oito estações valores de  $d$  variando entre 0,88 e 0,99 na calibração e de 0,81 a 0,99 para validação. Já no presente trabalho foram obtidos para a validação valores de  $d$  variando entre 0,95 e 0,97, comprovando que os valores dos parâmetros calibráveis do modelo WEAP para a área de estudo são adequados para prever as vazões.

Ao se comparar os valores obtidos por KHALIL; RITTIMA; PHANKAMOLSIL (2018) e os obtidos no presente trabalho em relação ao Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (ENS), verifica-se que no presente obteve-se melhor desempenho, uma vez que variaram entre 0,89 e 0,91; enquanto que os valores obtidos por KHALIL; RITTIMA; PHANKAMOLSIL (2018) variaram entre 0,62 e 0,96 para a calibração. Em relação a validação

KHALIL; RITTIMA; PHANKAMOLSIL (2018) obtiveram ENS variando de 0,43 a 0,95, enquanto que no presente trabalho o ENS variou de 0,82 a 0,89.

Cabe ressaltar que todos os valores de ENS obtidos foram superiores a 0,75; caracterizando o modelo como bom, conforme BALTOKOSKI et al., (2010).

FAIZ et al. (2018), durante a calibração do modelo WEAP, obtiveram um ENS médio de 0,83 para a bacia do rio Songhua na China, para o período de 1988 a 2010. Os mesmos autores compararam os modelos hidrológicos WEAP, GRJ4, NAM, VHB e SWAT e obtiveram valores de 0,83; 0,62; 0,73; 0,8 e 0,81, respectivamente, na calibração, enquanto para a validação os valores de 0,88; 0,64; 0,8; 0,82 e 0,8; respectivamente.

Foi realizado, ainda, no presente estudo, a aplicação do RMSE e do MAE para as vazões mínimas de cada ano e em cada estação fluviométrica utilizada para a calibração (Tabela 17).

Tabela 17 - RMSE e MAE ( $m^3 s^{-1}$ ) aplicados às vazões mínimas previstas e observadas

Índices	Calibração				
	42251000	42257000	42290000	42395000	42690001
RMSE	2,66	2,84	8,86	14,22	31,15
MAE	2,39	2,42	7,26	11,52	27,61
Índices	Validação				
	42251000	42257000	42290000	42395000	42690001
RMSE	2,08	1,59	5,59	8,20	11,16
MAE	1,83	4,72	4,59	7,20	10,31

Ao se comparar os valores da Tabela 17 em relação às vazões mínimas anuais das estações fluviométricas para o período de calibração e validação (2000 – 2014) observou-se que a magnitude das vazões observadas (Figura 25) em comparação com RMSE e o MAE demonstram a qualidade da calibração do modelo, corroborando com as demais estatísticas e enfatizando que o modelo WEAP aplicado à área de estudo foi adequado para prever as vazões.

Portanto, o modelo WEAP pode ser utilizado para a avaliação da disponibilidade hídrica superficial da água na área de estudo, possibilitando prever cenários futuros e, ao mesmo tempo, ser utilizado como uma ferramenta para o Planejamento e a Gestão de Recursos Hídricos.

### 4.3 CENÁRIOS FUTUROS

A bacia do rio Paracatu possui um histórico crescente de demanda pelo uso da água, principalmente pela irrigação, o que vem comprometendo a sustentabilidade dos recursos hídricos na região ao longo do tempo. Como a tendência de aumento da área irrigada é ainda hoje crescente na região, como observado na evolução da área irrigada da bacia (Tabela 7) e pela tendência de redução das vazões (Figura 22), projeções acerca do assunto são fundamentais a fim de evitar um cenário de insustentabilidade no futuro.

Os cenários futuros adotados no presente trabalho foram baseados no aumento da área irrigada ANA (2017) e nas projeções climáticas do IPCC. Cerca de 94% do volume total outorgado (2000 – 2017) na área de estudo são destinados à agricultura irrigada, evidenciando a preocupação com a sustentabilidade dessa atividade. Na Figura 26 são apresentadas as demandas de água para a Agricultura Irrigada em cada sub-bacia da área de estudo.

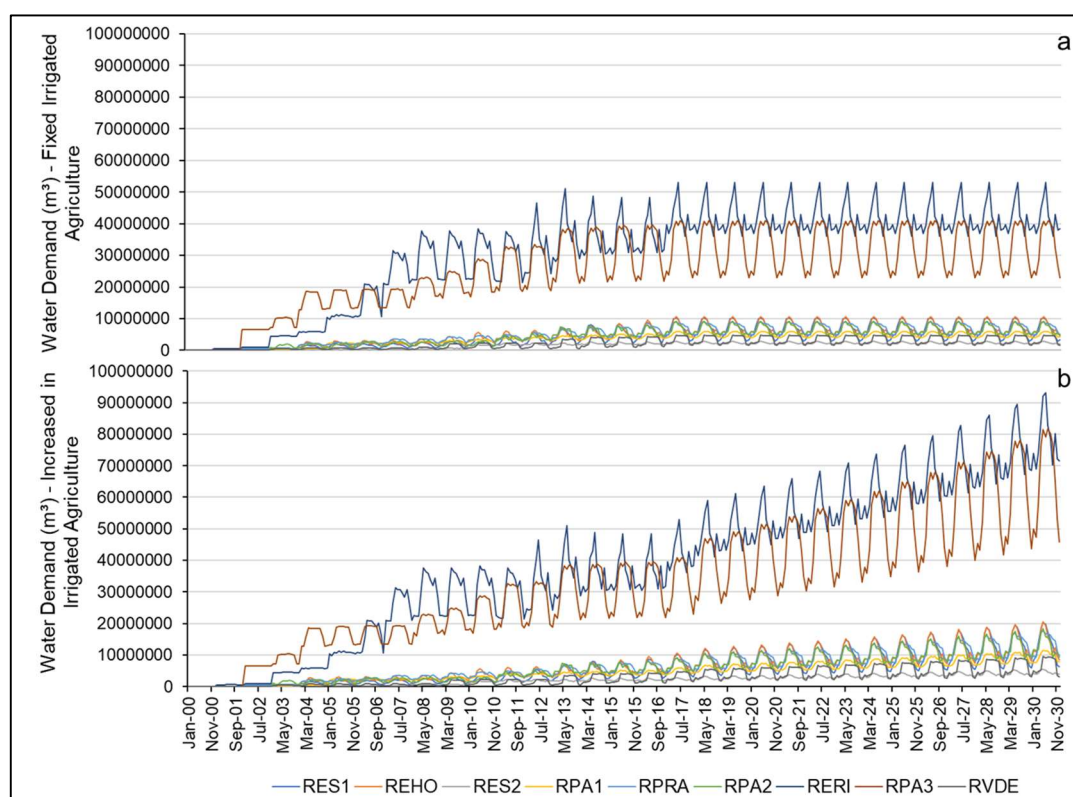


Figura 26 - Demandas de água para a agricultura irrigada em cada sub-bacia da área de estudo considerando: (a) demanda fixa; e (b) demanda crescente da irrigação.

É possível observar na Figura 26a o comportamento da demanda por sub-bacia considerando que a área irrigada estabilizou em 2017 e, a partir daí, não apresentará incrementos; e, na Figura 26b, a área irrigada aumentará em 100% da sua área até 2030, conforme a projeção da ANA (2017).

Em associação com as demandas decorrentes da área irrigada, utilizaram-se modelos climáticos de circulação global para estimar os dados climáticos para a área de estudo até 2030. Na Figura 27 são apresentadas as médias anuais (2015 a 2030) dos parâmetros climáticos para as RCP's 4.5 e 8.5, obtidas dos modelos climáticos globais CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5.

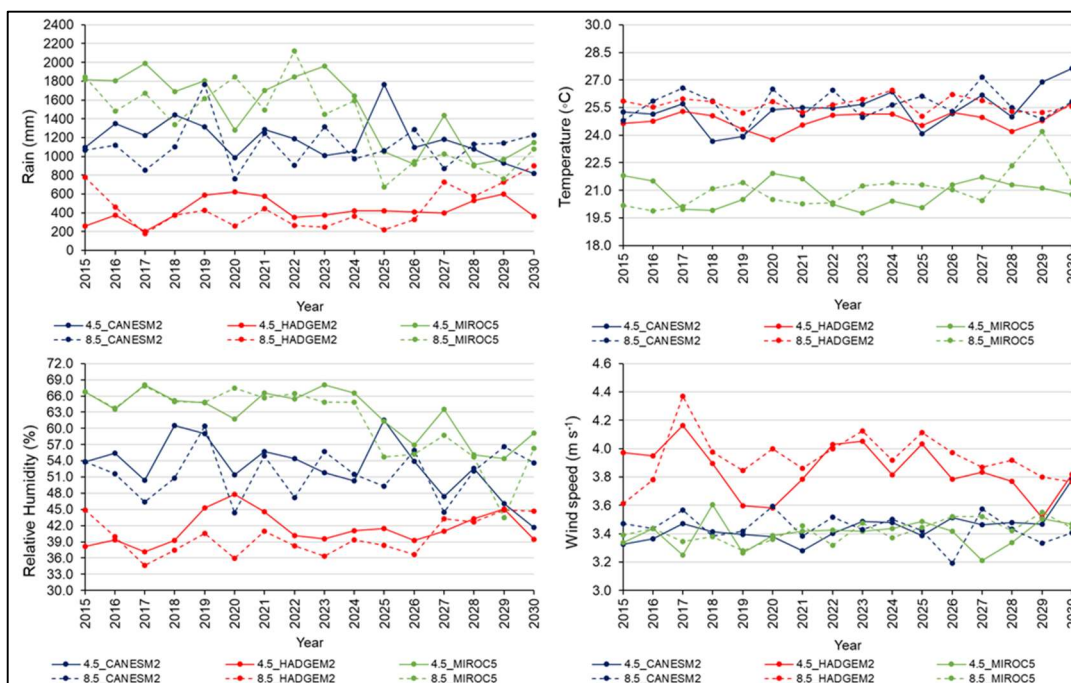


Figura 27 - Médias anuais (2015 a 2030) das projeções futuras dos parâmetros climáticos para as RCP's 4.5 e 8.5, obtidas dos modelos climáticos globais CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5.

Ao se analisar a Figura 27, verifica-se que os modelos climáticos globais CANESM2, HADGEM2-ES e MIROC5 apresentam comportamentos distintos entre as variáveis climáticas para o período de 2015 a 2030. Contudo, quando se compara a variação dos dados entre as RCPs não é observada uma variação muito brusca nos dados climáticos, assim como evidenciado por ULIANA et al., 2014. Esses autores, ao avaliarem 27 modelos climáticos globais para a bacia do rio São Francisco, observaram que entre 2011 e 2040

as RCP's 4.5 e 8.5 mostram-se semelhantes, passando a apresentar maiores divergências apenas entre 2041 a 2100.

Os mesmos autores citam que existem muitas divergências entre os modelos climáticos globais, o que reforça as incertezas existentes nessas projeções. Por esse motivo, optou-se por rodar o modelo WEAP com as projeções de cada um dos três modelos climáticos adotados, tanto para a RCP 4.5 quanto para a RCP 8.5 e considerando duas situações: com o aumento da demanda pela irrigação a partir do ano de 2017 e sem o aumento da demanda pela irrigação a partir do ano de 2017.

De posse das saídas do modelo WEAP, ou seja, das demandas requeridas e das demandas fornecidas, obteve-se a média dos resultados dos três modelos climáticos globais para as projeções RCP 4.5 e RCP 8.5; considerando com e sem o aumento na demanda pela irrigação. Com base nos valores médios obteve-se os índices de sustentabilidade para as sub-bacias para os Cenários S1, S2, S3 e S4.

#### 4.4 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE

Na Figura 28 são apresentados Cenários S1, S2, S3 e S4 e os respectivos índices de sustentabilidade, constando os índices de Confiabilidade Volumétrica – Rel, Vulnerabilidade – Vuln, Déficit Máximo – MaxDef., Resiliência – Res, Sustentabilidade – SI; para as sub-bacias que compõe a área de estudo.

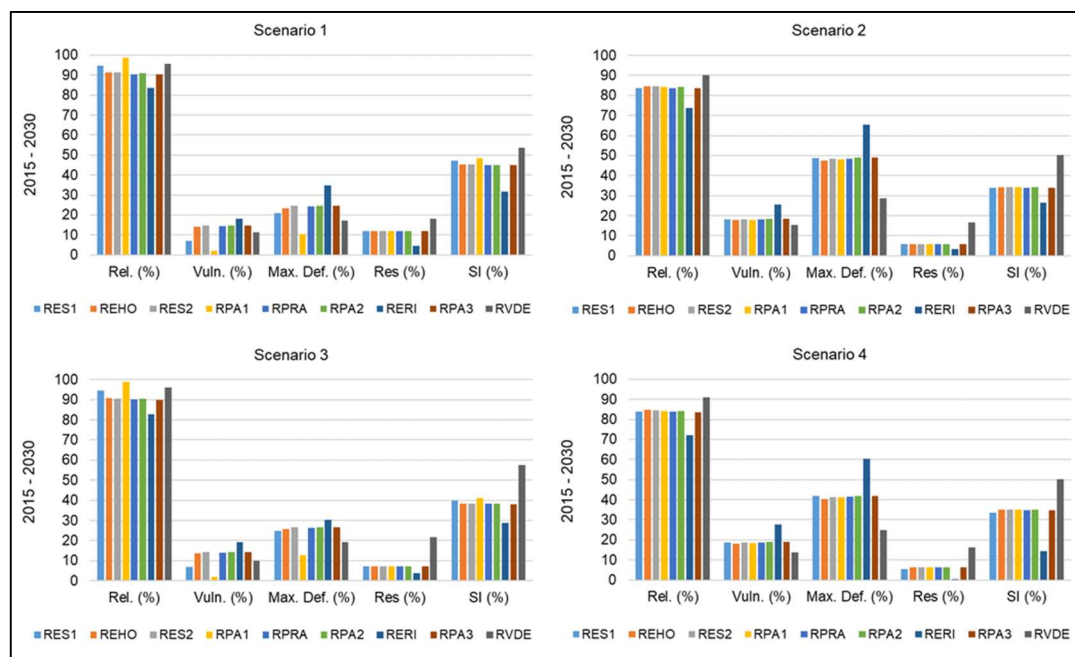


Figura 28 - Índices de Confiabilidade Volumétrica – Rel, Vulnerabilidade – Vuln, Déficit Máximo – Max.Def., Resiliência – Res, Sustentabilidade – SI dos recursos hídricos para os cenários S1, S2, S3 e S4 para as sub-bacias que compõem a área de estudo.

De maneira geral pode-se observar que os Cenários S2 e S4 são os que apresentam piores índices para a performance dos recursos hídricos, o que permite inferir que a sustentabilidade na área de estudo está diretamente relacionada com o aumento da demanda pelo uso da água, que no caso foi devido ao aumento da demanda pela Agricultura Irrigada.

Como observado na Figura 27, os padrões das precipitações para os modelos utilizados não apresentam grandes modificações em relação aos dados comumente obtidos na região, exceto para o HADGEM2-ES. Logo, as modificações na performance dos índices estão relacionadas com o aumento da demanda de água e não necessariamente com as mudanças climáticas.

Da mesma maneira, como foi verificado nos resultados das análises de tendência, as modificações nas vazões ocorrem pelo aumento da demanda de água na bacia, o que afeta diretamente na sua disponibilidade.

Quando se analisa os índices por sub-bacia, é possível notar que a sub-bacia do ribeirão Entre-Ribeiros (RERI) é a que possui situação mais complexa do ponto de vista da sustentabilidade dos recursos hídricos. Quando se analisa o Cenário S1, a sub-bacia RERI possui uma Confiabilidade Volumétrica (Rel) relativamente alta, ou seja, boa parte do volume total é fornecido durante o período de simulação, representando um valor em torno de 83%, enquanto as demais sub-bacias possuem confiabilidade superior a 90%. Nos Cenários S2 e S4 esse valor reduz para 73%. Já em relação ao Cenário S3, esse não difere quando comparado com o Cenário S1, uma vez que nesse cenário também não há aumento da demanda pela irrigação.

Corroborando os resultados da Confiabilidade Volumétrica (Rel.), é possível notar que na medida que uma sub-bacia se torna menos confiável (Rel.) em relação ao atendimento da demanda, esta tende a se tornar mais vulnerável (Vuln.) e menor será sua resiliência (Res.). Conseqüentemente, maiores serão os déficits máximos (Max. Def.), o que torna a bacia menos sustentável (Sl.).

Dentre todas as sub-bacias avaliadas, a sub-bacia do RVDE foi a que em todos os cenários apresentou melhor performance em relação a sustentabilidade dos recursos Hídricos, fato que pode ser justificado pela menor quantidade de outorgas de uso de água na área. De 2000 a 2017 foram emitidas um total de 34 portarias de outorga para a sub-bacia RVDE, enquanto que a sub-bacia RERI teve, para o mesmo período, 436 usuários com portarias deferidas pelo órgão ambiental.

Na Figura 29 são apresentados os Índices de sustentabilidade (SI) dos Recursos Hídricos para cada cenário na área de estudo. É possível observar que em todos os cenários a sub-bacia do RVDE, a leste da área de estudo, apresentou maior SI, sendo este de 50 a 60%, reduzindo somente no S4 para 40 a 50%. Essa sub-bacia é a que apresenta menor variação da área irrigada em relação às demais sub-bacias, entretanto, a redução do SI no cenário S4 está relacionada ao aumento da demanda pela irrigação em conjunto com as mudanças climáticas proporcionadas pela RCP 4.5.

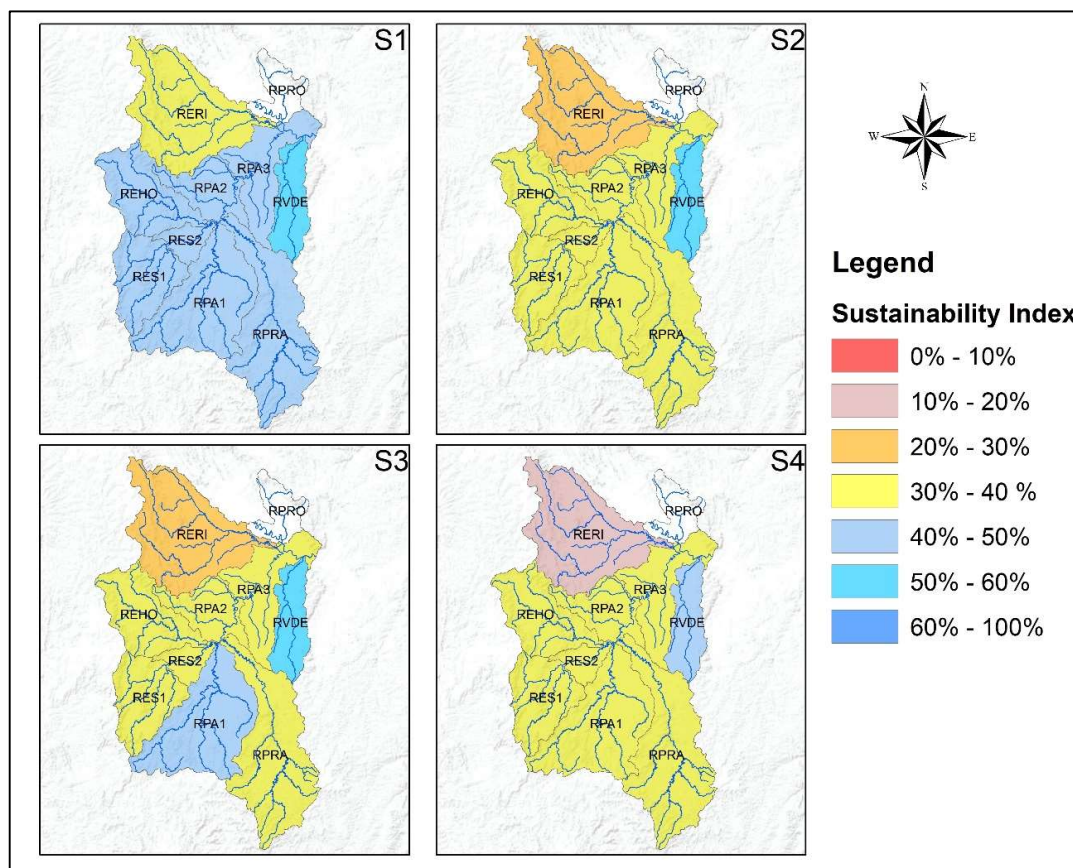


Figura 29 - Índice de sustentabilidade dos Recursos Hídricos para a área de estudo nos quatro diferentes cenários.

As sub-bacias localizadas ao sul da área de estudo apresentaram SI de 40 a 50%, tendo, este percentual sido reduzido nos cenários S2, S3 e S4 para 30 a 40%, com exceção da sub-bacia RPA1 no cenário S3. Os SI destas sub-bacias são afetados tanto pela alteração no comportamento das mudanças climáticas quanto pelo aumento da demanda pela irrigação. A RPA1 não sofreu alteração do SI no cenário S3 devido às mudanças climáticas, somente pelo aumento da demanda pela irrigação.

A sub-bacia RERI, foi a que apresentou maior redução do SI para todos os cenários apresentados, estando o SI no cenário S4 entre 10-20%, em que há maior variação no comportamento das mudanças climáticas e aumento da demanda por irrigação.

Cabe aqui ressaltar que devido às prioridades de atendimento na demanda, em todos os cenários, 100% da demanda foi atendida para os usos Abastecimento Público, Consumo Humano e Dessedentação de Animais.

Na Figura 30 estão apresentados os índices de desempenho relacionados apenas à irrigação, os quais apresentam comportamento semelhante quando

comparados aos índices de desempenho dos recursos hídricos para as sub-bacias (Figura 28), uma vez que a demanda de água pela irrigação corresponde a 94% da demanda total de água na bacia.

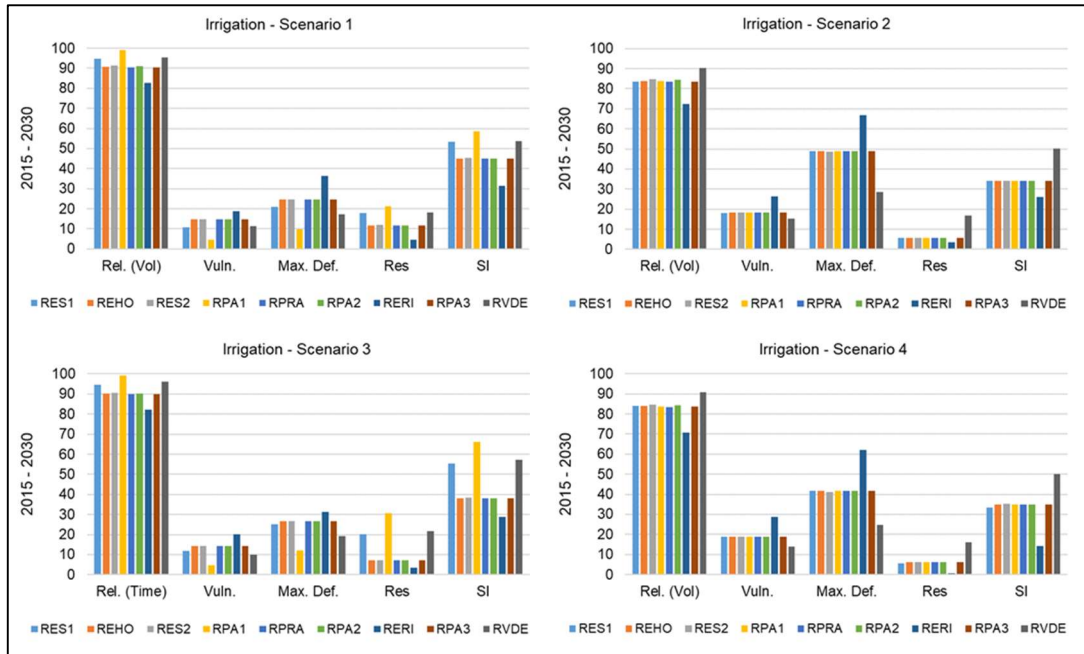


Figura 30 - Índice de sustentabilidade da irrigação para as sub-bacias que compõe a área de estudo nos quatro diferentes cenários.

Quando analisado o SI da Irrigação (Figura 31), em comparação aos SI dos Recursos Hídricos (Figura 29), observa-se um comportamento semelhante para os cenários S2 e S4, que correspondem ao aumento da demanda por irrigação a partir de 2017. No cenário S1 as sub-bacias RPRA e RES1 apresentaram SI de 50 a 60% (valores superiores em relação aos apresentados na Figura 29), o que mostra que os demais usos, que demandam água, influenciam na variação do índice de sustentabilidade.

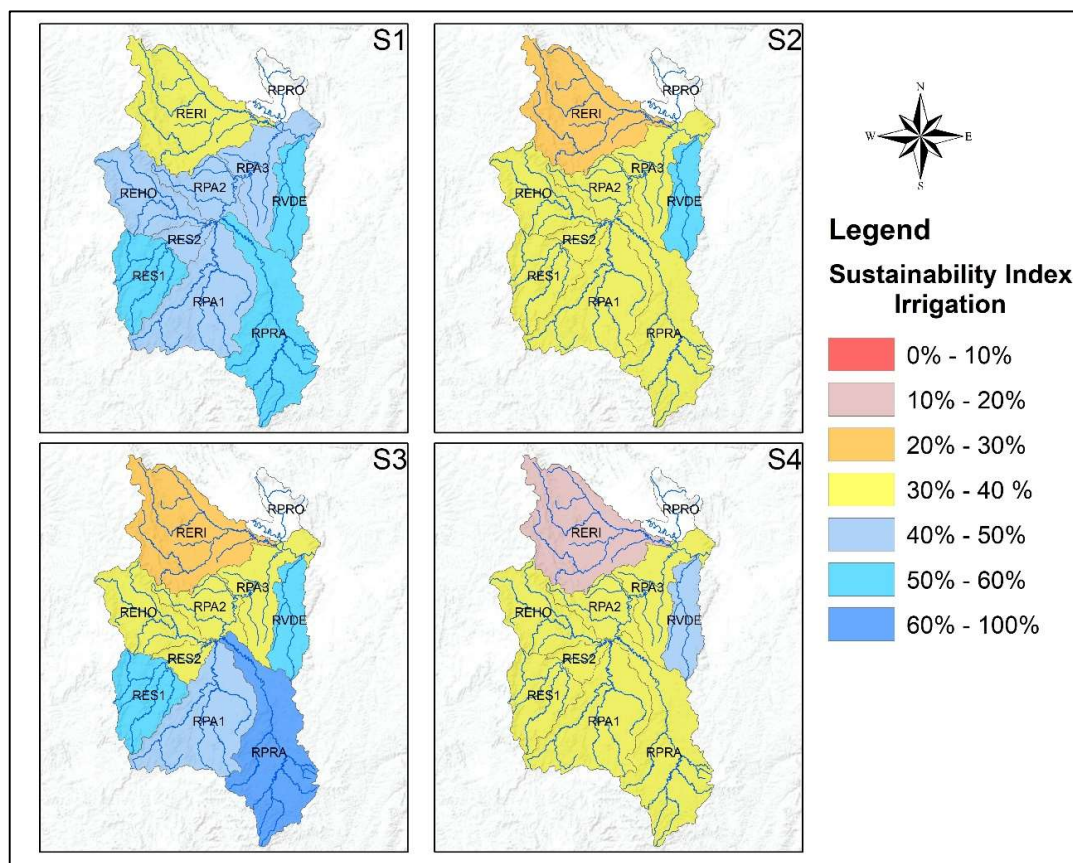


Figura 31 - Índice de sustentabilidade da irrigação para a área de estudo nos quatro diferentes cenários.

Os cenários utilizados para avaliação dos índices de recursos hídricos na área de estudo foram definidos por tratarem de dois assuntos de relevância quando se fala em disponibilidade hídrica: irrigação e mudanças climáticas. Porém, para melhores resultados e aplicações mais fiéis à realidade da área de estudo seria necessária uma maior interlocução entre a modelagem e as partes interessadas, quer sejam elas do poder público ou privado, de modo que as projeções e os cenários fossem embasados nos anseios de todos os envolvidos. Além disso, para uma gestão mais eficiente seria necessário a instalação de mais estações fluviométricas na bacia, juntamente com um regir no controle das captações de cada usuário.

Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que é possível realizar gestão de recursos hídricos utilizando modelos hidrológicos. Viabilizando o diagnóstico completo da bacia para condições atuais e futuras, como por exemplo os efeitos das políticas de alocação de água e as medidas impostas pelos órgãos gestores.

De posse do modelo WEAP calibrado para área de estudo e com projeções setoriais específicas e detalhadas para os usos de água na bacia tem-se em mãos uma ferramenta com grande potencial para ser utilizada para o planejamento futuro dos recursos hídricos, assim como para sua gestão atual.

## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se que a modelagem hidrológica, especificamente o modelo WEAP, pode ser uma ferramenta de grande valia para a gestão de recursos hídricos, uma vez que possibilita o diagnóstico atual e projeções futuras da bacia, além de gerenciar de maneira otimizada os recursos hídricos, relacionando o crescimento das demandas de água simultaneamente com as mudanças climáticas e do uso da terra.

O teste de Mann Kendall a 5% de significância comprova que, em geral, a vazão mínima ( $Q_7$ ), vazão média e vazão máxima apresentam tendência de comportamento negativo para a área de estudo, tanto para dados mensais quanto anuais, corroborando com o aumento da demanda pelo uso da água, uma vez que não se observou modificação expressiva no padrão das precipitações da região.

As estatísticas de ajuste do modelo WEAP para a área de estudo demonstraram que o modelo foi devidamente calibrado, obtendo, em todas as estações fluviométricas, valores considerados bons tanto para a calibração quanto para a validação.

Em relação ao índice de sustentabilidade de recursos hídricos, de maneira geral os Cenários S2 e S4 são os que apresentam piores índices para a sustentabilidade dos recursos hídricos na bacia do rio Paracatu, o que permite inferir que a sustentabilidade está diretamente relacionada com o aumento da demanda pelo uso da água.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. S. DE. **Geoquímica dos filitos carbonosos do depósito Morro do Ouro, PARACATU, MINAS GERAIS.** [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 2009.

ALMEIDA, L. T. Espacialização de chuvas intensas: Uma nova proposta. **Dissertação**, p. 76, 2017.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2015.**

ANA. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada.** 2017.

ARNOLD, J. G. et al. SWAT: MODEL USE, CALIBRATION, AND VALIDATION. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491–1508, 2012.

ASSAF, H. et al. Chapter Thirteen Generic Simulation Models for Facilitating Stakeholder Involvement in Water Resources Planning and Management: A Comparison, Evaluation, and Identification of Future Needs. **Developments in Integrated Environmental Assessment**, v. 3, n. October, p. 229–246, 2008.

BACK, Á. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 717–726, 2001.

BALTOKOSKI, V. et al. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro - Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 1, p. 253–261, 2010.

BARBOSA, S. E. DA S. et al. Geração de modelos de reginização de vazões máximas, médias e de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais. **Eng. Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 64–71, 2005.

BECK, S.; MAHONY, M. The IPCC and the politics of anticipation. **Nature Publishing Group**, v. 7, n. 5, p. 311–313, 2017.

BERGER, T. et al. Capturing the complexity of water uses and water users

within a multi-agent framework. **Water Resources Management**, v. 21, n. 1, p. 129–148, 2006.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: **TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: [s.n.].

BOMBARDI, R. J.; MARIA, L.; CARVALHO, V. DE. Práticas Simples em Análises Climatológicas : Uma Revisão Simple Practices in Climatological Analyses : A Review. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 311–320, 2017.

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v. 45, p. 217–228, 2000.

BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. 1988.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva**, 2006. (Nota técnica).

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T. VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO NO SUL DO BRASIL NO CLIMA PRESENTE E FUTURO Universidade Federal de Santa Maria ( UFSM ), Departamento de Fitotecnia , Santa Maria , RS , Brasil , UFSM , Departamento de Física , Santa Maria , RS , Brasil . **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 81–88, 2015.

COLLINS, M.; KNUTTI, R. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. 2013.

DOULGERIS, C. et al. Water allocation under deficit irrigation using MIKE BASIN model for the mitigation of climate change. **Irrigation Science**, v. 33, n. 6, p. 469–482, 2015.

DUKHOVNY, V. A., SOKOLOV, V. I. INTEGRATED WATER RESOURCES Experience and Lessons Learned from Central Asia – towards the Fourth World Water Forum. 2005.

FAIZ, M. A. et al. Performance evaluation of hydrological models using ensemble of General Circulation Models in the northeastern China. **Journal of**

**Hydrology**, v. 565, n. August, p. 599–613, 2018.

GLEICK, P. H. The Changing Water Paradigm — A Look at Twenty-First Century Water Resources Development. **Water International**, v. 25, n. 1, p. 127–138, 2000.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water Resources Research**, v. 18, n. 1, p. 14–20, 1982.

HASSABALLAH, K. et al. Model-Based Optimization of Downstream Impact during Filling of a New Reservoir: Case Study of Mandaya/Roseires Reservoirs on the Blue Nile River. **Water Resources Management**, v. 26, n. 2, p. 273–293, 2012.

IGAM. **Plano diretor de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu : resumo executivo**, 2006. (Nota técnica).

IPCC. **Mudança Painel do clima Intergovernamental ." Quinto Relatório de Avaliação - AR5**. [s.l: s.n.].

IRESON, A.; MAKROPOULOS, C.; MAKSIMOVIC, C. Water resources modelling under data scarcity: Coupling MIKE BASIN and ASM groundwater model. **Water Resources Management**, v. 20, n. 4, p. 567–590, 2006.

JAISWAL, S. K.; VERMA, M. K.; GUPTA, M. PLANNING FOR OPTIMUM USE OF WATER RESOURCES OF MRP COMPLEX USING MIKE BASIN. **Journal of Indian Water Resources Society**, v. 33, n. 1, p. 15–22, 2013.

JOHNSTON, R.; SMAKHTIN, V. Hydrological Modeling of Large river Basins: How Much is Enough? **Water Resources Management**, v. 28, n. 10, p. 2695–2730, 2014.

KHALIL, A.; RITTIMA, A.; PHANKAMOLSIL, Y. The projected changes in water status of the Mae Klong Basin, Thailand, using WEAP model. **Paddy and Water Environment**, v. 16, n. 3, p. 439–455, 2018.

KOCH, H. et al. Scenarios of water resources management in the Lower

Lusatian mining district , Germany. **Ecological Engineering**, v. 24, p. 49–57, 2005.

KOCH, H.; GRÜNEWALD, U. A Comparison of Modelling Systems for the Development and Revision of Water Resources Management Plans. **Water Resour Manage**, v. 23, p. 1403–1422, 2009.

LOUCKS, D. P. et al. **Water Resources Systems Planning and Management and Applications: An Introduction to Methods, Models and Applications**. [s.l: s.n.]. v. 51

LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E. Water Resources systems Planning and Management: an Introduction to Methods, Models and Applications. **UNESCO Press**, 2005.

LUDWIG, F.; SLOBBE, E. VAN; COFIN, W. Climate change adaptation and Integrated Water Resource Management in the water sector. **Journal of Hydrology**, v. 518, n. PB, p. 235–242, 2014.

MEINSHAUSEN, M. et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. p. 213–241, 2011.

MOLINOS-SENANTE, M. et al. A management and optimisation model for water supply planning in water deficit areas. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 139–146, 2014.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. [s.l: s.n.].

MUGATSIA, E. A. Simulation and Scenario Analysis of Water Resources Management in Perkerra Catchment using WEAP Model. **Dissertação**, p. 145, 2010.

NASCIMENTO, F. R. DO. Categorização De Usos Múltiplos Dos Recursos Hídricos E Problemas Ambientais: Cenários E Desafios. **Revista da ANPEGE**, p. 81–97, 2011.

NEETI, N.; EASTMAN, J. R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the

Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 5, p. 599–611, 2011.

NEWMAN, T. P. Tracking the release of IPCC AR5 on Twitter: Users, comments, and sources following the release of the Working Group I Summary for Policymakers. **Public Understanding of Science**, v. 26(7), p. 815–825, 2017.

OMAR, M. M. Evaluation of actions for better water supply and demand management in Fayoum, Egypt using RIBASIM. **Water Science**, v. 27, n. 54, p. 78–90, 2014.

PEREIRA, S. B. et al. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 615–622, 2007.

PHAM, B. Q. et al. Assessment of Climate Change Impacts on Hydrological Processes and Water Resources By Water Evaluation and Planning (Weap) Model: Case Study in Thac Mo Catchment, Vietnam Assessment of Climate Change Impacts on Hydrological Processes and Water Resourc. **Proceedings of the 37th IAHR World Congress**, n. August, p. 4312–4321, 2017.

PRUSKI, F. F. et al. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. December, p. 247–253, 2004.

PRUSKI, F. F. et al. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 199–210, 2007.

REZENDE, P. S. DE. **Estudo ambiental no município de Paracatu, MG: quantificação, especiação e transporte de elementos tóxicos**. [s.l.] Tese (Doutorado em Ciências - Química) - Instituto de Ciências Exatas Departamento De Química. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: Estudo de caso da bacia do Paracatu.** [s.l: s.n.].

RODRIGUEZ, R. D. G. et al. Estimativa da demanda de água nas áreas irrigadas da bacia do Rio Paracatu. **Eng. Agrícola Jaboticabal**, v. 27, n. 1, p. 172–179, 2007.

SAFAVI, H. R.; GOLMOHAMMADI, M. H.; SANDOVAL-SOLIS, S. Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud River Basin. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 773–789, 2015.

SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil Trends Analysis of Precipitation and Temperature Data in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. April, 2016.

SANDOVAL-SOLIS, S. Water planning and management for large scale river Basins: Case of study of the rio grande/rio bravo transboundary Basin. **Technical (Online) Report - University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources**, v. 11, n. 2, p. 1–204, 2011.

SECHI, G. M.; SULIS, A. Intercomparison of Generic Simulation Models for Water Resource Systems. **International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs), Fifth Biennial Meeting**, p. 1–11, 2010.

SEDEMED. Sécheresse and Désertification dans le Bassin Méditerranéen - Drought and desertification in Mediterranean basins. **INTERREG IIIB MEDOCC**, v. 4, n. 03- 4.4- I-010, 2003.

SHINDE, P. P. G. Water Scenario 2025. **National Level Conference on Water Management Scenario 2025 Problems, Issues and Challenges**, p. 1–61, 2005.

SIMONOVIC, S. P. Reservoir Systems Analysis: Closing Gap between Theory and Practice. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.

118, n. 3, p. 262–280, 1992.

SOUZA, M. N. Dinâmica de sistemas e a modelagem com o uso do programa stella dos recursos hídricos da bacia do Rio Preto, Afluente do Rio Paracatu. **Tese**, p. 345, 2008.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T. Land-use change affects water recycling in Brazil ' s last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3405–3413, 2016.

THOM, H. C. S. Some of methods of climatological analysis. **World Meteorological Organization**, p. 54p., 1966.

TOSUNOGLU, F.; KISI, O. TREND ANALYSIS OF MAXIMUM HYDROLOGIC DROUGHT VARIABLES USING MANN – KENDALL AND Ş EN ' S INNOVATIVE TREND METHOD. **River Reserarch and Aplications**, v. 610, n. October 2016, p. 597–610, 2017.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. IMPACTO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL NO ESCOAMENTO: REVISÃO. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, p. 135–152, 1997.

ULIANA, E. M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 17–35, 2014.

VIOLA, M. R. et al. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 35, p. 581–590, 2009.

WANG, S. et al. Trend Analysis of Precipitation in the Jinsha River Basin in China. **Journal of Hydrometeorology**, v. 14, n. 1, p. 290–303, 2013.

WEN, F.; CHEN, X. Evaluation of the impact of groundwater irrigation on streamflow in Nebraska. **Journal of Hydrology**, v. 327, n. 3–4, p. 603–617, 2006.

YATES, D. N. et al. Planning Model Part 2 : Aiding Freshwater Ecosystem

Service Evaluation. **Water International**, v. 30, n. 4, p. 501–512, 2005a.

YATES, D. N. et al. WEAP21 – A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1 : model characteristics. **Water International**, v. 30, n. 4, p. 487–500, 2005b.

ZHANG, G.-H. G.-H. et al. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 911–918, 2007.

## **ANEXOS**

Anexo 1 - Dados de umidade relativa do ar utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
jan/00	72,84	76,29	75,60	77,04	78,85	76,65	78,13	81,89	80,06	74,55
fev/00	72,66	75,64	77,09	76,80	80,85	75,78	77,89	81,60	77,32	75,25
mar/00	74,54	78,02	77,24	77,62	82,25	77,25	79,83	83,55	78,08	76,71
abr/00	67,09	69,23	66,93	68,68	74,23	65,21	72,12	72,42	72,31	65,57
mai/00	62,52	57,42	61,23	59,32	68,99	59,23	66,47	67,48	68,56	58,13
jun/00	62,08	52,37	55,36	54,34	64,99	55,13	63,98	61,03	66,14	54,96
jul/00	55,31	53,34	55,72	55,48	69,31	57,04	62,95	62,92	61,68	52,27
ago/00	49,16	43,52	47,38	46,91	56,82	51,40	55,70	54,35	55,85	44,25
set/00	51,54	60,53	63,86	55,76	68,12	63,99	65,07	67,12	58,81	54,22
out/00	48,05	52,71	51,96	49,08	62,39	51,81	56,42	54,90	49,94	46,08
nov/00	73,88	79,38	76,68	77,88	80,93	73,87	78,82	78,88	75,38	73,80
dez/00	78,73	78,27	75,37	81,56	81,33	77,44	79,29	79,67	79,50	75,19
jan/01	63,28	67,78	70,63	67,79	74,16	67,43	70,70	75,23	70,09	61,13
fev/01	60,05	66,06	65,13	64,57	71,80	59,20	63,68	66,05	66,90	57,96
mar/01	74,71	75,99	73,91	78,12	78,70	68,53	75,44	75,78	76,48	72,73
abr/01	61,12	63,16	63,95	61,93	71,40	55,11	63,41	65,28	64,82	57,94
mai/01	63,56	63,87	65,25	62,47	73,59	58,27	70,03	65,94	68,35	62,11
jun/01	58,08	57,49	61,88	56,92	69,96	58,79	68,90	61,27	63,15	56,43
jul/01	52,98	50,13	52,16	58,35	62,48	55,98	70,30	56,63	59,45	50,40
ago/01	46,74	48,73	50,74	61,48	57,79	51,00	66,40	55,03	52,23	46,15
set/01	47,32	53,69	53,88	61,57	58,98	52,58	62,85	60,91	53,04	49,38
out/01	63,34	68,07	63,40	69,71	68,82	61,54	70,74	68,27	65,75	61,68
nov/01	76,67	78,01	75,59	79,34	78,49	73,68	78,65	78,31	78,53	75,98

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/01	72,59	75,65	75,02	78,88	76,87	74,18	79,44	76,74	76,48	73,09
jan/02	73,08	75,94	72,52	75,89	75,35	70,41	76,36	78,18	74,24	69,22
fev/02	76,72	78,48	80,97	78,06	81,84	77,27	82,61	83,85	82,64	75,96
mar/02	69,50	68,20	69,20	69,14	73,03	68,45	77,35	75,40	74,69	68,75
abr/02	63,83	63,78	63,89	63,78	66,77	59,12	70,36	66,58	70,14	61,80
mai/02	65,78	59,52	64,84	58,94	68,95	62,10	74,56	69,51	70,12	64,44
jun/02	63,74	55,87	57,49	54,29	62,37	58,06	70,38	62,08	68,07	60,42
jul/02	58,57	53,52	53,77	52,83	60,26	59,63	65,09	59,90	65,69	57,45
ago/02	49,35	41,15	45,90	46,95	51,11	49,15	58,10	49,76	54,58	46,87
set/02	52,53	52,39	50,97	55,06	56,73	51,01	61,73	54,72	55,63	50,48
out/02	40,83	44,98	46,52	43,38	44,27	41,77	51,19	45,33	47,74	39,85
nov/02	62,67	67,59	66,65	64,96	66,40	64,42	68,83	67,83	71,19	63,56
dez/02	74,48	73,75	72,28	74,19	72,18	74,87	77,89	75,68	77,53	69,78
jan/03	81,79	78,62	83,01	79,26	81,35	80,69	83,79	85,77	82,66	77,54
fev/03	70,07	69,03	69,28	69,29	71,80	63,46	72,61	68,49	68,51	69,12
mar/03	76,74	78,86	77,24	77,93	78,33	73,54	80,60	82,18	73,98	75,35
abr/03	70,60	70,96	70,49	72,29	72,13	64,26	73,83	73,93	70,95	68,59
mai/03	69,60	65,04	62,78	66,34	64,59	61,37	73,90	67,44	69,06	65,56
jun/03	64,44	52,24	55,99	54,10	57,53	54,51	69,73	61,88	68,95	58,37
jul/03	59,86	48,50	53,92	51,38	51,62	48,44	64,62	54,65	59,42	51,81
ago/03	57,97	50,31	50,69	52,39	49,68	49,68	60,49	54,20	56,89	52,36
set/03	49,30	49,67	54,23	49,30	54,05	49,98	57,24	52,13	52,43	48,47
out/03	54,91	55,85	57,35	52,32	56,84	49,50	57,81	51,92	52,98	50,73
nov/03	69,46	73,78	71,38	71,04	70,91	68,84	71,38	73,36	65,66	69,01

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/03	68,23	66,33	70,87	67,61	70,06	65,27	73,26	72,52	67,65	66,21
jan/04	83,15	85,18	81,40	86,34	81,22	78,69	83,68	83,28	80,56	79,35
fev/04	82,85	84,71	83,42	85,53	83,53	82,50	86,04	85,61	83,87	81,73
mar/04	77,44	79,32	73,28	78,93	74,52	73,56	77,75	79,49	80,03	73,87
abr/04	78,45	76,88	74,38	76,60	75,15	72,31	77,53	78,43	79,84	73,57
mai/04	72,50	70,99	68,57	70,58	71,11	66,01	73,72	74,86	74,46	67,69
jun/04	68,70	59,94	62,03	65,01	63,87	59,43	69,36	68,28	70,84	62,96
jul/04	61,97	56,69	60,56	60,95	59,87	58,89	65,84	64,05	67,35	56,48
ago/04	49,15	39,17	46,69	45,86	44,45	52,32	54,02	48,00	55,48	41,90
set/04	39,85	29,98	38,33	34,16	35,68	39,72	45,14	38,73	43,50	33,92
out/04	49,94	59,85	59,52	58,52	59,65	52,90	60,21	60,35	52,95	51,85
nov/04	60,36	70,38	67,40	65,96	67,62	62,66	70,27	65,98	59,90	64,90
dez/04	76,39	76,74	75,51	78,45	79,19	75,70	83,30	82,28	77,70	76,91
jan/05	79,45	79,06	81,77	81,45	80,65	78,15	81,45	82,84	80,40	76,46
fev/05	73,52	74,61	68,20	78,79	69,38	70,49	78,14	74,44	77,65	71,55
mar/05	80,15	82,13	78,02	83,63	81,56	78,40	82,05	82,83	82,01	77,22
abr/05	68,17	69,20	64,53	72,33	66,80	62,58	72,22	68,83	69,83	66,21
mai/05	66,09	66,09	64,17	65,73	64,01	61,24	68,69	68,05	71,79	63,53
jun/05	64,77	63,39	65,40	65,45	65,38	62,21	69,46	69,16	71,63	61,95
jul/05	56,93	52,98	56,49	54,10	55,40	54,36	61,22	61,64	64,20	54,21
ago/05	46,98	44,44	47,83	45,05	49,59	46,21	52,97	50,94	54,24	47,14
set/05	45,58	51,22	54,81	53,93	52,58	50,38	55,03	57,89	56,39	47,18
out/05	36,25	45,62	50,66	42,69	49,05	41,10	44,33	46,02	46,31	38,31
nov/05	73,94	79,59	78,52	79,18	77,30	78,63	82,42	81,29	80,71	77,67

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/05	76,05	79,24	78,58	78,55	79,77	78,50	81,33	83,21	80,55	75,36
jan/06	61,44	67,65	66,49	66,15	65,99	62,46	70,81	68,57	65,55	63,51
fev/06	65,38	75,63	74,97	74,80	76,40	65,19	74,72	75,79	68,52	71,70
mar/06	76,61	79,72	80,15	80,53	81,54	77,71	82,65	84,02	83,39	79,14
abr/06	71,18	74,28	73,73	74,23	75,30	72,53	79,91	80,18	80,81	73,48
mai/06	65,19	62,06	61,97	65,78	68,15	59,13	69,89	69,87	75,75	65,26
jun/06	62,41	58,80	60,87	60,40	62,55	56,24	70,23	67,59	69,91	60,68
jul/06	60,54	50,35	56,21	55,80	58,14	52,31	64,39	62,14	65,49	56,19
ago/06	50,68	47,09	49,06	46,81	50,21	54,27	57,78	55,72	57,65	49,53
set/06	51,60	52,67	51,94	53,36	54,53	53,60	60,26	59,07	57,31	51,45
out/06	71,96	80,78	73,73	78,35	76,90	77,16	80,13	79,21	77,16	73,31
nov/06	74,14	75,51	72,08	75,76	74,54	78,13	81,18	82,06	80,21	73,21
dez/06	75,23	76,88	79,28	76,63	81,56	77,54	83,06	85,27	80,59	74,90
jan/07	71,19	77,40	81,02	77,54	81,05	78,83	89,12	85,59	81,60	74,79
fev/07	76,03	78,61	78,23	81,22	78,94	77,96	86,86	83,13	80,29	76,97
mar/07	60,88	61,40	64,32	64,35	65,90	59,50	72,60	68,16	68,77	62,19
abr/07	62,33	64,72	66,49	67,28	69,58	65,05	71,85	74,33	71,40	65,24
mai/07	60,70	56,30	59,52	58,89	63,68	57,98	66,53	66,09	66,46	58,55
jun/07	56,43	51,64	54,09	53,55	59,21	52,05	63,52	60,98	64,29	54,60
jul/07	54,24	49,40	53,04	50,91	54,25	52,38	65,10	57,27	59,91	51,54
ago/07	42,31	38,74	42,65	38,13	41,41	44,48	56,11	44,74	49,48	41,66
set/07	38,28	35,55	39,43	36,50	37,38	43,09	51,37	42,11	45,53	37,83
out/07	36,50	47,45	51,02	45,82	47,64	44,27	50,62	49,90	46,65	43,72
nov/07	55,01	69,70	66,64	64,97	68,17	64,03	68,33	69,03	58,08	62,18

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/07	68,41	71,71	72,64	71,47	72,51	70,47	75,78	74,45	70,69	70,10
jan/08	68,23	74,94	76,59	72,53	78,71	72,03	77,53	78,35	72,99	70,02
fev/08	68,86	78,48	77,18	76,71	81,08	71,99	79,84	78,43	75,27	72,71
mar/08	74,56	78,73	76,98	77,83	79,04	74,98	81,81	81,40	80,04	74,55
abr/08	71,38	73,61	72,08	74,35	75,65	67,10	77,06	77,84	77,38	71,06
mai/08	60,91	58,63	64,74	60,21	69,38	57,27	68,49	70,96	68,09	64,38
jun/08	60,32	53,92	60,69	55,45	62,53	56,83	66,47	66,77	65,63	58,96
jul/08	51,67	43,34	48,07	47,10	50,08	48,10	58,40	54,33	58,73	50,77
ago/08	41,97	35,23	42,74	38,79	42,64	42,06	48,04	51,40	51,06	42,61
set/08	44,32	42,02	46,95	45,13	44,53	45,75	48,75	52,29	50,20	46,17
out/08	37,69	46,88	54,72	45,69	56,79	45,25	46,61	54,33	45,50	43,31
nov/08	70,08	74,49	69,85	74,70	70,54	68,83	72,66	76,28	72,64	71,53
dez/08	75,55	80,87	74,92	79,38	78,27	76,77	80,23	83,15	80,70	78,38
jan/09	73,03	76,23	78,54	77,38	77,15	72,59	78,36	80,40	78,22	73,81
fev/09	69,25	72,60	75,82	73,27	75,96	70,04	73,48	78,21	73,56	70,06
mar/09	69,00	73,15	71,85	72,48	76,35	68,83	75,04	78,44	75,68	68,58
abr/09	78,78	78,38	71,34	78,86	75,93	73,10	80,88	78,80	79,50	76,37
mai/09	72,96	70,37	67,47	71,22	72,37	64,98	75,02	72,99	72,55	70,37
jun/09	70,18	64,35	66,96	65,60	69,11	61,89	72,99	73,13	71,16	66,78
jul/09	58,15	48,99	56,65	50,01	59,35	51,12	62,70	62,60	59,64	54,43
ago/09	54,08	50,60	56,08	51,94	54,56	52,09	61,53	58,81	58,10	52,57
set/09	51,87	59,98	61,93	55,57	63,39	53,56	63,23	64,38	59,10	54,33
out/09	69,90	74,47	69,78	73,07	72,48	67,87	74,39	76,26	71,66	71,10
nov/09	66,47	72,20	70,33	71,82	73,87	65,73	70,19	72,85	69,81	67,28

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/09	76,77	80,67	77,39	80,21	76,77	78,42	81,84	82,43	82,38	76,81
jan/10	65,60	71,57	74,31	71,42	73,58	66,61	73,28	74,34	72,81	69,35
fev/10	61,83	66,71	68,04	65,94	71,89	60,87	68,46	68,71	65,71	62,01
mar/10	74,96	75,71	74,11	76,96	75,26	74,48	79,69	77,82	78,72	74,74
abr/10	66,18	65,43	64,10	64,90	66,68	63,88	72,10	69,78	74,83	65,25
mai/10	66,00	59,54	59,73	61,32	63,16	61,82	70,52	67,74	71,93	64,85
jun/10	59,84	54,58	58,92	54,51	59,34	57,83	67,43	62,85	67,36	58,81
jul/10	51,91	49,88	53,02	51,59	52,22	52,92	61,53	56,44	60,06	51,82
ago/10	44,46	38,47	41,35	42,17	42,75	41,31	51,11	42,04	51,93	42,44
set/10	40,13	35,44	42,44	38,88	42,19	42,66	49,16	43,93	46,28	38,51
out/10	54,36	66,99	60,59	64,03	62,98	60,52	66,99	67,31	62,00	60,56
nov/10	77,77	78,88	76,79	79,28	75,77	77,54	80,63	79,89	79,16	75,73
dez/10	73,60	78,13	73,33	77,22	76,20	75,69	77,54	76,88	73,92	72,58
jan/11	71,18	74,30	76,63	77,54	78,34	75,52	77,52	76,46	73,19	69,28
fev/11	62,79	75,92	70,53	71,91	73,76	63,05	68,46	66,40	61,02	61,18
mar/11	79,42	79,51	82,29	80,30	81,52	80,13	84,69	82,75	81,53	78,94
abr/11	69,30	69,23	68,53	70,35	70,34	71,18	74,53	73,51	75,06	67,44
mai/11	65,23	61,65	63,93	63,13	67,70	62,29	69,19	65,45	71,12	63,27
jun/11	60,47	58,76	63,47	59,44	65,95	63,04	65,53	64,14	69,17	59,13
jul/11	56,73	47,74	53,69	50,23	55,62	58,05	59,64	56,10	64,56	52,04
ago/11	47,27	36,71	42,92	39,02	43,45	49,50	47,37	44,61	52,17	41,13
set/11	40,77	34,42	37,70	35,98	38,00	46,00	43,36	38,87	46,35	36,15
out/11	66,70	77,32	71,71	71,70	72,60	72,00	73,81	72,75	71,41	67,20
nov/11	72,08	75,53	65,99	75,76	67,84	72,97	74,43	72,08	73,98	70,02

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/11	78,03	77,96	79,60	77,27	79,88	81,21	83,14	84,62	82,55	76,16
jan/12	74,24	80,29	80,02	78,95	80,44	75,65	80,25	82,34	75,72	73,89
fev/12	65,47	72,14	66,04	69,58	69,58	65,32	71,24	71,71	66,06	66,54
mar/12	65,65	69,90	70,29	67,66	72,40	68,38	72,34	75,28	70,08	65,19
abr/12	61,28	69,73	70,24	65,57	74,73	67,18	71,32	74,65	69,89	63,23
mai/12	64,70	72,40	69,37	68,95	72,44	68,52	73,33	73,94	70,44	65,23
jun/12	57,81	63,30	67,08	59,36	69,51	62,77	68,62	71,28	68,75	58,77
jul/12	49,93	49,94	55,85	49,41	60,10	55,48	58,77	59,90	59,53	52,06
ago/12	43,81	45,23	48,69	45,34	48,42	51,10	52,02	51,10	52,67	43,73
set/12	40,03	42,58	45,22	40,86	47,21	49,59	49,09	48,48	49,65	42,46
out/12	41,19	48,69	50,52	45,35	50,98	49,76	49,89	52,07	49,10	44,91
nov/12	76,89	80,64	72,31	81,26	74,13	76,79	81,15	79,13	77,13	76,98
dez/12	59,55	70,22	67,78	64,40	71,10	65,06	69,54	71,47	64,65	62,02
jan/13	76,86	80,03	76,80	80,28	79,60	79,55	80,99	80,15	76,56	75,47
fev/13	64,92	65,21	68,38	66,47	72,68	67,13	69,49	70,79	66,51	65,74
mar/13	72,46	75,71	73,90	75,27	78,22	75,65	79,06	82,60	74,20	72,87
abr/13	74,88	75,18	70,50	76,01	75,05	72,58	77,76	77,32	78,26	73,10
mai/13	65,42	62,28	65,40	63,38	67,86	67,47	70,65	69,60	72,80	64,36
jun/13	66,49	65,55	68,53	64,31	71,74	68,93	73,63	73,19	72,87	68,61
jul/13	56,55	53,70	59,52	53,26	60,20	57,52	63,86	60,00	64,28	57,90
ago/13	46,28	42,73	48,00	44,00	48,71	52,72	55,92	49,81	50,78	45,79
set/13	48,43	50,13	52,34	51,69	53,58	57,07	57,69	55,74	53,97	50,47
out/13	57,81	63,35	60,38	62,10	63,28	62,67	68,44	66,59	61,18	62,35
nov/13	62,66	72,43	68,93	71,03	71,68	66,53	73,99	73,69	65,78	68,28

Mês/Ano	Umidade relativa									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/13	77,81	80,57	77,95	81,33	78,29	78,02	81,48	81,11	82,26	76,90
jan/14	62,16	65,86	64,90	67,10	66,73	66,02	70,77	67,81	67,07	62,83
fev/14	63,51	69,71	63,09	69,29	67,57	64,49	69,28	65,28	62,96	66,49
mar/14	72,87	78,94	72,43	79,06	76,43	72,27	79,23	76,56	69,41	74,13
abr/14	68,55	75,92	71,31	74,08	74,38	70,95	78,98	79,43	70,84	71,85
mai/14	59,50	62,40	61,30	63,37	67,31	58,67	69,90	68,73	64,73	65,05
jun/14	61,53	61,16	60,49	61,05	65,98	59,74	69,64	62,78	66,69	61,63
jul/14	56,21	55,89	60,27	57,95	62,86	58,22	66,05	62,15	61,19	56,36
ago/14	44,80	39,02	46,59	41,14	48,80	49,20	49,35	47,76	51,59	45,44
set/14	38,06	42,93	49,23	42,92	49,81	47,23	46,83	42,96	47,46	41,62
out/14	43,43	50,08	46,63	46,34	49,01	51,62	49,02	48,99	52,36	47,09
nov/14	64,61	73,80	71,72	71,90	73,41	72,10	70,24	71,97	70,03	67,92
dez/14	72,85	77,70	75,24	77,27	77,02	74,02	76,41	75,43	74,32	74,34

Anexo 2 - Dados de temperatura média do ar utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo.

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
jan/00	26,66	22,35	24,38	23,33	24,75	24,69	25,61	23,49	26,37	26,32
fev/00	26,73	22,24	24,05	23,32	24,71	24,68	25,44	23,47	26,67	25,89
mar/00	26,31	22,04	23,95	23,14	24,57	24,58	25,20	23,16	26,23	25,58
abr/00	25,89	21,73	23,12	22,93	24,19	24,01	24,49	22,30	24,84	25,09
mai/00	23,73	20,74	21,50	21,83	22,58	22,52	23,07	20,46	22,85	23,41
jun/00	22,29	19,61	21,14	20,75	22,12	21,76	21,64	19,74	21,21	21,66
jul/00	22,94	19,59	19,94	20,53	21,26	21,26	21,50	19,22	21,61	21,55
ago/00	24,51	21,81	23,21	22,47	23,68	23,20	23,67	21,83	23,40	23,65
set/00	26,66	21,99	23,32	23,06	24,02	24,19	24,57	21,96	25,17	25,26
out/00	28,53	23,83	26,30	25,23	26,80	26,85	27,39	25,31	28,10	27,82
nov/00	26,04	21,61	23,38	22,79	24,38	23,89	24,66	22,56	25,83	25,38
dez/00	26,45	22,55	24,26	23,41	25,22	24,52	25,66	23,70	26,24	26,12
jan/01	27,26	22,54	24,58	23,58	25,75	25,28	26,04	23,76	26,71	26,52
fev/01	28,07	23,33	25,93	24,34	27,73	27,34	27,55	24,67	27,74	27,40
mar/01	26,50	22,01	24,36	23,03	25,24	25,33	25,57	23,39	26,50	25,72
abr/01	26,31	22,47	24,25	23,47	25,38	25,55	25,83	23,36	26,16	25,74
mai/01	25,75	21,41	21,47	22,68	23,18	23,39	23,97	20,94	23,99	24,29
jun/01	23,72	20,00	20,97	21,01	22,14	22,15	22,46	20,06	22,46	22,35
jul/01	23,67	20,20	21,99	21,04	22,47	22,33	22,76	20,75	22,36	22,61
ago/01	24,20	20,01	21,88	21,20	22,07	22,03	22,67	20,70	23,30	22,49
set/01	27,10	22,39	24,12	23,94	24,47	24,21	24,75	22,31	25,78	25,52
out/01	26,44	21,63	23,96	23,20	24,10	24,28	24,65	22,59	25,88	25,57
nov/01	26,51	21,97	24,44	23,25	24,77	24,70	25,46	23,52	25,98	25,22

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/01	26,33	22,12	23,99	23,15	24,43	24,52	25,17	23,08	25,85	25,60
jan/02	27,18	22,44	24,87	23,86	25,24	25,39	26,07	24,10	27,04	26,83
fev/02	26,77	22,31	24,00	23,42	24,69	24,51	25,19	23,48	25,79	25,99
mar/02	27,00	22,94	25,01	23,95	25,43	25,47	25,65	24,03	26,49	25,81
abr/02	26,88	22,21	24,33	23,75	25,31	25,36	25,79	23,48	25,71	25,49
mai/02	25,02	21,30	23,05	22,67	23,67	23,76	23,66	21,76	24,19	24,11
jun/02	23,45	19,67	21,66	21,02	22,71	22,93	22,07	20,61	22,32	21,93
jul/02	24,63	20,56	21,94	21,97	22,93	22,94	23,09	21,01	23,22	23,20
ago/02	25,28	21,79	23,93	22,88	24,09	24,20	24,03	22,65	24,53	23,20
set/02	26,59	22,40	23,89	24,07	24,58	24,66	25,49	23,11	25,99	25,37
out/02	29,00	24,94	27,52	26,73	27,61	27,60	28,36	25,79	28,33	28,11
nov/02	27,62	23,01	25,73	24,58	25,47	25,68	26,54	24,54	26,60	26,88
dez/02	27,10	22,99	25,63	24,26	25,96	25,78	26,22	24,56	26,64	26,89
jan/03	26,72	22,73	24,39	23,87	24,79	24,70	25,38	23,79	26,21	26,56
fev/03	27,37	22,85	25,39	24,05	25,59	25,93	26,35	24,41	27,02	26,28
mar/03	26,75	21,92	24,14	23,44	24,49	24,88	25,10	23,15	26,83	25,66
abr/03	26,77	22,34	24,05	23,44	24,68	25,13	25,17	23,06	25,65	25,81
mai/03	24,09	20,21	21,31	21,36	22,16	22,38	22,32	20,36	22,95	23,21
jun/03	22,65	19,92	21,94	21,14	22,85	22,89	21,92	20,62	21,76	21,83
jul/03	22,16	19,43	21,30	20,27	21,71	21,63	21,33	19,96	21,33	21,08
ago/03	24,87	21,44	22,87	22,48	23,51	23,49	23,91	21,80	23,99	24,01
set/03	26,78	22,94	24,46	24,20	24,67	24,79	25,10	23,44	25,81	25,92
out/03	27,40	23,07	24,89	24,62	25,25	25,78	26,08	23,97	27,08	26,46
nov/03	26,68	22,40	24,22	23,64	24,45	24,77	25,49	23,37	27,11	26,56

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/03	27,39	23,42	25,45	24,81	25,92	26,10	26,46	24,60	27,75	26,85
jan/04	25,77	22,08	24,14	22,72	24,10	24,45	24,82	23,40	26,00	25,80
fev/04	25,10	21,73	23,50	22,48	23,79	23,84	24,29	22,85	25,34	24,36
mar/04	25,80	22,05	23,95	23,13	24,44	24,32	24,89	22,75	25,36	25,56
abr/04	25,13	21,75	23,56	22,55	23,99	23,76	24,09	22,37	24,40	25,05
mai/04	25,00	21,23	22,28	22,24	23,14	23,30	23,33	21,08	23,79	24,09
jun/04	22,34	19,08	20,74	20,07	21,20	21,42	21,04	19,15	21,16	21,37
jul/04	22,00	18,74	20,12	19,47	20,55	20,45	20,42	18,88	20,56	21,04
ago/04	23,76	20,93	22,58	21,78	23,15	23,05	22,41	21,13	22,57	22,87
set/04	26,31	23,67	26,15	24,24	25,78	25,79	25,62	24,20	25,88	25,73
out/04	28,71	23,77	25,57	24,98	26,38	26,78	26,97	24,84	28,11	28,31
nov/04	28,12	23,02	25,01	24,77	25,05	25,81	26,47	24,63	28,03	27,28
dez/04	26,59	22,50	24,32	23,67	24,37	24,32	24,56	22,99	26,20	25,72
jan/05	27,33	22,76	24,47	23,78	24,77	24,97	25,53	24,23	26,53	26,64
fev/05	27,45	23,04	24,70	23,93	25,18	25,10	25,74	23,83	26,14	26,43
mar/05	27,20	22,44	24,61	23,54	24,77	25,07	25,49	23,61	26,17	26,42
abr/05	27,01	22,37	24,63	23,71	25,31	25,54	25,26	23,46	25,96	25,84
mai/05	24,49	20,12	22,46	21,49	22,82	23,11	22,61	20,60	23,29	23,50
jun/05	23,62	19,94	21,28	20,67	21,69	21,97	21,31	19,69	22,15	22,65
jul/05	22,64	19,55	21,27	20,20	21,70	21,73	20,95	19,40	21,73	21,78
ago/05	24,60	21,72	23,07	22,57	23,46	23,66	22,86	21,34	23,86	24,00
set/05	27,26	23,88	25,28	24,77	25,45	25,72	25,19	23,65	26,73	27,25
out/05	29,57	25,32	27,30	26,47	27,71	28,42	27,68	26,31	29,49	29,49
nov/05	25,96	22,49	23,82	22,76	23,95	23,47	23,64	22,46	25,05	25,49

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/05	25,32	21,64	23,53	22,41	23,68	23,50	23,41	21,93	25,05	25,01
jan/06	25,74	22,87	24,67	23,95	25,26	25,50	24,83	23,56	26,84	26,36
fev/06	28,11	23,26	25,13	24,60	25,67	26,60	25,76	24,43	27,86	27,20
mar/06	27,00	22,64	24,50	23,82	24,84	25,07	24,54	23,62	26,21	25,96
abr/06	25,90	22,25	23,84	23,27	24,27	24,27	23,77	22,63	24,75	25,09
mai/06	23,47	20,73	21,64	22,04	22,22	22,58	21,52	19,99	22,21	22,97
jun/06	21,91	19,14	20,58	20,10	21,09	21,34	20,26	18,61	21,02	21,11
jul/06	22,41	19,79	21,39	20,44	21,58	21,81	20,49	19,15	20,96	21,74
ago/06	25,11	22,50	23,95	23,30	24,05	24,13	23,08	21,86	24,04	24,61
set/06	26,18	22,82	24,41	23,61	24,17	24,50	23,95	22,41	25,45	25,69
out/06	26,20	22,32	23,98	23,52	24,03	23,84	23,91	22,36	25,64	24,71
nov/06	26,45	22,31	24,23	23,70	24,30	24,32	24,13	22,66	25,35	24,85
dez/06	27,10	22,66	24,72	23,78	24,69	24,80	24,65	23,33	25,75	26,34
jan/07	27,68	22,87	24,71	24,15	24,78	24,99	24,86	23,54	26,12	26,58
fev/07	26,53	22,30	24,39	23,08	24,50	24,51	24,27	23,09	25,54	25,64
mar/07	27,57	23,27	25,60	23,86	25,58	25,91	25,18	23,50	26,38	26,34
abr/07	26,64	22,83	24,70	23,70	25,13	25,21	24,27	22,63	25,86	25,75
mai/07	24,73	21,28	22,23	22,36	23,23	23,32	22,20	20,45	23,53	23,93
jun/07	22,87	20,41	21,59	21,22	22,33	22,56	21,01	19,51	21,98	22,27
jul/07	23,53	20,84	22,13	21,74	22,73	22,87	21,54	20,25	22,31	23,03
ago/07	23,59	20,86	23,00	21,50	22,89	22,92	21,84	20,95	22,72	23,21
set/07	26,49	23,53	25,67	24,21	25,51	25,36	24,29	23,46	25,63	26,03
out/07	29,12	24,73	26,58	25,96	26,99	27,21	26,75	25,07	28,44	28,52
nov/07	29,11	23,31	25,62	24,75	25,51	26,06	25,94	24,34	28,69	27,77

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/07	26,99	22,50	24,66	23,66	24,87	25,06	25,04	23,72	26,80	26,19
jan/08	27,02	22,31	24,20	23,62	24,24	24,79	24,96	23,35	26,29	26,07
fev/08	27,07	22,38	24,28	23,61	24,74	25,24	25,12	23,56	26,20	26,17
mar/08	26,43	22,04	23,99	23,20	24,27	24,61	24,56	23,17	25,64	25,56
abr/08	26,61	22,43	24,20	23,34	24,72	25,08	24,69	22,99	25,73	25,71
mai/08	23,96	20,42	21,68	21,77	22,75	23,09	22,19	20,08	22,94	22,89
jun/08	22,84	19,75	21,62	20,73	22,42	22,48	21,55	20,17	22,21	22,06
jul/08	21,64	19,23	20,55	19,90	21,61	21,64	20,20	18,76	20,67	20,79
ago/08	24,43	21,66	23,66	22,38	24,17	24,23	22,87	21,69	23,71	23,71
set/08	27,03	23,77	25,07	24,45	25,67	25,57	25,05	23,17	26,09	26,00
out/08	29,57	24,55	25,97	25,79	26,96	27,70	27,21	24,93	29,01	28,76
nov/08	26,85	22,64	24,64	23,89	25,14	25,25	25,14	23,34	26,93	26,46
dez/08	26,33	22,14	24,20	23,07	24,42	24,50	24,59	22,66	25,83	25,84
jan/09	26,96	22,91	24,36	23,81	24,98	25,44	24,98	23,71	26,35	26,17
fev/09	27,19	22,93	25,08	24,04	25,64	25,86	25,22	23,82	26,80	26,48
mar/09	27,55	23,18	25,04	24,38	25,83	26,13	25,70	23,93	26,78	26,99
abr/09	25,42	21,73	23,43	22,74	23,92	24,23	23,59	21,91	25,07	24,45
mai/09	23,32	20,56	22,35	21,63	22,87	22,97	22,20	20,63	23,09	23,29
jun/09	23,02	19,61	20,74	21,06	21,95	22,10	21,17	19,18	22,36	22,22
jul/09	23,55	20,59	22,42	21,67	23,13	23,42	22,32	20,65	23,07	23,13
ago/09	24,30	21,34	22,82	22,40	23,44	23,23	22,69	20,89	23,82	23,73
set/09	27,96	23,44	25,03	25,01	26,06	26,44	25,75	23,74	27,30	27,15
out/09	27,68	22,80	24,86	24,15	25,32	25,46	25,46	23,66	27,07	26,27
nov/09	27,50	23,19	25,46	24,14	25,92	26,22	26,06	24,65	27,28	26,89

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/09	26,20	22,14	24,22	23,20	24,37	24,27	24,60	23,15	25,39	25,60
jan/10	27,49	23,00	25,02	24,09	25,89	26,15	25,70	24,15	26,94	26,51
fev/10	28,33	23,68	26,07	25,04	26,51	26,80	26,38	24,58	28,01	27,41
mar/10	27,28	23,49	25,43	24,30	25,62	25,42	25,59	23,78	27,10	26,84
abr/10	25,73	22,05	23,96	23,14	24,29	24,17	24,04	22,06	24,71	24,83
mai/10	25,45	21,83	22,83	23,25	23,95	23,85	23,18	20,80	24,30	24,42
jun/10	22,26	19,81	20,92	21,10	21,70	21,20	20,79	18,59	21,00	21,54
jul/10	23,23	20,12	22,25	20,95	22,29	22,06	21,78	20,04	22,30	22,16
ago/10	23,24	20,82	22,75	21,50	23,16	22,94	22,23	20,67	22,18	22,38
set/10	26,39	23,89	25,72	24,20	25,56	25,01	25,11	23,39	25,98	25,87
out/10	28,83	23,99	25,71	25,28	26,11	26,43	26,49	24,24	27,95	27,80
nov/10	25,79	21,99	24,06	22,94	24,50	24,28	24,51	22,77	26,09	25,40
dez/10	27,11	22,70	25,48	23,60	25,00	24,90	25,57	24,31	27,14	26,54
jan/11	26,74	22,52	24,51	23,26	24,75	24,95	25,24	23,41	26,56	26,40
fev/11	27,54	22,70	25,49	24,03	26,03	26,49	26,51	24,49	28,13	27,15
mar/11	26,46	22,52	23,88	23,50	24,40	24,44	24,59	23,06	25,94	25,75
abr/11	25,52	22,23	24,02	22,93	24,54	24,62	24,10	22,35	25,08	24,89
mai/11	23,66	20,61	22,22	21,62	22,98	23,23	22,43	20,71	22,99	23,27
jun/11	22,99	19,94	20,74	21,15	21,84	22,00	21,33	19,39	21,90	22,28
jul/11	22,42	20,06	21,80	21,04	22,60	22,61	21,57	20,08	21,76	22,37
ago/11	24,76	22,46	24,28	23,15	24,57	24,67	23,88	22,62	24,28	24,54
set/11	26,00	23,51	25,59	24,07	25,61	25,30	24,95	23,34	25,49	26,07
out/11	26,35	21,75	23,85	23,03	24,15	24,20	24,52	22,60	25,73	25,92
nov/11	25,69	21,58	24,03	22,22	24,00	23,43	24,09	22,26	24,95	25,27

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/11	25,84	22,02	23,77	23,26	24,03	23,93	24,47	22,50	25,05	25,65
jan/12	25,99	21,35	23,39	22,89	23,74	24,03	23,99	22,24	25,75	25,18
fev/12	26,78	22,26	24,95	24,01	25,28	25,50	25,37	23,22	26,74	25,83
mar/12	26,99	22,69	24,90	24,49	25,38	25,54	25,49	23,15	26,10	26,40
abr/12	27,33	23,03	24,84	24,95	25,19	25,57	25,74	23,06	26,29	26,90
mai/12	24,52	20,26	21,60	22,17	22,40	22,73	22,79	19,93	23,40	23,59
jun/12	25,03	20,88	22,24	22,77	23,06	23,49	23,07	20,54	23,58	24,52
jul/12	23,50	20,10	21,48	21,80	22,54	22,68	21,95	19,47	22,42	22,74
ago/12	24,08	20,34	22,08	21,66	22,40	22,31	21,97	20,06	22,74	23,54
set/12	27,23	24,04	25,38	25,41	25,74	25,80	25,02	23,49	26,00	26,85
out/12	28,23	24,39	26,82	26,03	27,06	27,27	26,67	24,74	28,37	28,20
nov/12	25,40	22,28	25,02	23,90	25,05	24,72	24,69	23,40	26,17	26,24
dez/12	27,27	23,38	26,17	25,66	26,79	27,21	26,22	24,85	28,27	27,75
jan/13	24,74	22,00	24,35	23,45	24,48	24,51	24,41	23,24	26,29	26,06
fev/13	27,32	23,39	25,46	24,81	25,98	26,39	25,48	24,27	27,21	26,84
mar/13	27,55	23,04	25,17	24,51	25,45	25,53	25,18	23,65	27,24	26,72
abr/13	25,36	21,75	23,00	22,75	23,69	23,86	23,21	21,68	24,75	24,89
mai/13	24,38	21,08	22,45	22,59	23,23	23,32	22,49	20,69	23,61	23,99
jun/13	23,88	20,59	22,29	21,91	22,93	23,15	22,12	20,38	23,32	23,49
jul/13	23,70	20,33	21,61	21,68	22,59	22,99	21,76	19,85	22,40	23,06
ago/13	24,38	21,26	22,66	22,52	23,33	23,50	22,50	20,92	24,99	23,82
set/13	26,99	23,22	24,58	24,27	24,91	25,05	24,79	22,70	26,31	26,41
out/13	26,62	23,03	24,89	24,13	25,21	25,34	24,68	23,04	26,81	26,15
nov/13	27,23	22,64	24,91	23,96	25,13	25,46	24,97	23,38	27,43	26,17

Mês/Ano	Temperatura média									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/13	26,51	22,47	24,73	23,75	25,15	25,18	24,91	23,75	26,11	26,51
jan/14	26,91	22,81	25,32	24,18	25,71	25,80	25,39	23,84	26,76	26,49
fev/14	26,81	22,51	25,30	23,83	25,80	26,19	25,58	24,10	27,38	26,34
mar/14	26,93	22,18	24,76	23,48	25,03	25,33	24,87	23,45	26,76	26,05
abr/14	26,99	22,41	24,54	23,84	24,93	25,20	24,67	22,94	26,47	25,97
mai/14	24,69	20,91	22,33	22,57	23,74	24,15	22,51	20,81	23,88	23,83
jun/14	23,69	19,92	22,08	21,57	22,77	23,18	21,92	20,44	22,66	23,09
jul/14	23,16	19,61	21,33	21,15	21,89	22,04	21,14	19,21	22,25	22,26
ago/14	24,29	21,42	23,46	22,72	24,37	22,57	22,87	21,31	21,98	24,02
set/14	27,44	24,22	25,68	25,85	26,19	26,38	25,96	24,09	26,86	27,82
out/14	28,23	24,17	26,66	25,70	27,14	27,06	26,62	24,84	27,79	28,09
nov/14	27,74	22,79	25,06	24,54	25,09	25,28	25,56	23,76	26,90	27,05
dez/14	26,38	21,99	24,14	23,25	24,39	24,61	24,37	23,04	26,59	25,65

Anexo 3 - Dados de velocidade do vento utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo.

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
jan/00	0,80	2,53	1,63	1,15	1,05	1,49	1,89	1,58	1,49	1,12
fev/00	0,89	2,01	1,60	0,78	1,02	1,51	1,86	1,50	1,45	0,89
mar/00	0,81	2,55	1,48	1,34	1,11	1,56	2,18	1,41	1,64	0,88
abr/00	0,84	2,18	1,27	1,16	1,03	1,44	1,64	1,32	1,42	1,16
mai/00	0,92	1,82	1,34	0,95	0,95	1,19	1,50	1,43	1,34	1,05
jun/00	0,60	2,27	1,38	1,01	0,99	1,15	1,19	1,61	1,31	0,78
jul/00	1,55	3,23	1,72	1,42	1,04	1,63	1,57	1,76	1,64	1,23
ago/00	1,23	2,97	1,81	1,43	1,15	1,75	1,91	2,20	1,55	1,26
set/00	2,17	3,52	2,37	1,57	1,26	1,81	2,54	2,61	2,14	1,72
out/00	1,40	2,26	1,70	1,41	1,22	1,20	1,90	1,94	1,98	1,69
nov/00	1,10	2,80	1,59	1,13	1,12	1,47	2,08	1,63	1,57	1,38
dez/00	0,98	3,03	1,61	1,29	1,16	0,93	1,95	1,10	1,51	1,10
jan/01	1,18	2,42	1,79	1,37	1,22	1,26	1,82	0,84	1,51	1,23
fev/01	0,88	1,78	1,40	1,27	0,99	0,93	1,85	0,86	1,54	1,08
mar/01	0,75	1,84	1,30	0,97	1,00	1,19	2,12	1,18	1,35	0,87
abr/01	0,92	2,48	1,35	1,24	1,07	1,38	1,97	1,03	1,46	1,02
mai/01	0,82	1,61	1,42	1,09	1,08	1,34	1,71	0,92	1,54	0,83
jun/01	0,81	2,37	1,76	1,53	1,01	1,30	1,60	1,34	1,56	1,19
jul/01	1,43	2,43	1,92	1,42	1,11	1,13	1,88	1,71	1,52	1,18
ago/01	1,57	4,43	2,30	2,17	1,42	1,85	2,61	2,87	2,44	1,43
set/01	1,28	2,57	2,38	1,69	1,23	1,57	2,08	1,75	2,06	1,48
out/01	1,19	2,39	2,01	1,26	1,13	1,37	2,22	1,62	1,71	1,15
nov/01	0,96	2,20	2,04	1,24	1,17	1,05	1,73	1,05	1,58	0,87

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/01	0,88	2,73	1,99	1,06	1,17	1,06	2,19	1,51	1,65	0,90
jan/02	0,96	2,61	2,23	1,24	1,20	0,98	2,24	1,96	1,66	1,22
fev/02	0,73	2,20	1,72	0,93	1,12	0,82	2,02	1,53	1,28	0,83
mar/02	0,86	2,67	1,99	1,24	1,14	1,62	2,02	1,53	1,40	0,90
abr/02	0,87	2,81	1,52	1,11	1,12	1,51	1,71	1,55	1,39	0,97
mai/02	0,81	2,33	1,49	1,00	1,11	1,35	1,76	1,57	1,44	0,98
jun/02	0,81	2,95	1,61	1,04	1,09	0,96	1,63	1,05	1,47	1,05
jul/02	1,17	2,20	1,89	1,27	1,13	1,18	2,01	2,04	1,67	1,12
ago/02	1,41	3,44	2,32	1,61	1,51	1,39	2,47	2,33	2,15	1,04
set/02	1,45	2,35	2,52	1,36	1,31	1,58	2,21	1,89	2,25	1,53
out/02	1,17	2,07	2,36	1,00	1,11	1,23	1,98	1,69	1,88	1,33
nov/02	1,01	1,88	2,06	1,03	0,89	1,31	2,27	1,53	1,46	1,03
dez/02	0,62	1,70	2,02	1,02	0,97	0,83	2,41	0,98	1,30	0,84
jan/03	0,74	2,49	2,07	1,08	0,96	0,66	1,89	1,14	1,35	0,90
fev/03	1,03	2,32	1,78	1,45	0,88	0,83	2,03	1,17	1,70	0,63
mar/03	0,67	1,91	1,49	1,02	0,81	1,10	1,79	0,72	1,42	0,86
abr/03	0,75	2,43	1,54	1,07	0,79	0,82	1,76	0,83	1,36	0,72
mai/03	0,82	2,59	1,86	1,08	0,99	1,03	1,68	1,26	1,48	0,81
jun/03	0,52	2,22	1,37	1,07	0,73	0,65	1,14	0,83	1,27	0,79
jul/03	1,15	3,02	1,75	1,37	1,06	1,63	1,76	1,83	1,55	1,51
ago/03	0,99	2,17	0,94	1,15	1,11	1,67	1,68	1,44	1,61	0,90
set/03	1,61	2,72	1,34	1,48	1,24	1,70	1,86	1,44	2,07	1,26
out/03	1,08	2,39	0,75	1,15	0,89	1,32	1,74	1,42	1,89	1,30
nov/03	0,95	1,93	0,82	1,10	0,82	1,24	2,09	1,56	1,91	1,03

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/03	0,74	2,18	0,80	1,01	0,81	0,57	2,27	1,39	1,64	0,68
jan/04	0,81	2,92	0,83	1,05	1,12	0,74	1,81	1,75	1,74	1,18
fev/04	0,66	2,33	0,64	0,61	0,90	0,66	1,31	1,11	1,31	0,89
mar/04	1,07	2,20	0,56	0,93	0,74	0,78	1,46	1,35	1,32	0,56
abr/04	0,82	2,06	1,05	0,61	0,80	0,77	1,52	1,09	1,16	0,67
mai/04	0,73	2,26	1,64	0,82	0,76	1,10	1,18	0,97	1,22	0,65
jun/04	0,76	2,83	1,98	1,05	0,93	1,35	1,68	1,19	1,43	0,81
jul/04	1,49	3,25	2,32	1,27	1,17	1,64	2,02	1,91	1,77	1,44
ago/04	1,41	2,88	2,13	0,96	1,08	1,70	2,01	1,90	1,63	1,47
set/04	1,61	3,40	2,64	1,35	1,18	1,47	2,40	2,51	2,44	1,58
out/04	1,45	2,62	2,28	1,12	1,14	1,73	2,65	2,06	2,18	1,81
nov/04	1,16	2,61	2,37	1,28	1,12	1,62	2,46	2,01	2,08	1,60
dez/04	0,78	2,09	1,60	0,73	0,82	1,00	2,50	0,96	1,28	1,39
jan/05	0,76	2,57	1,71	0,87	0,95	1,51	1,69	0,98	1,44	1,90
fev/05	0,78	2,19	1,71	0,88	0,96	1,21	1,92	1,53	1,36	1,52
mar/05	0,81	1,81	1,50	0,53	0,82	1,33	2,09	0,87	1,41	1,34
abr/05	0,81	2,72	1,78	0,82	0,76	1,08	1,69	0,95	1,28	1,31
mai/05	0,90	3,47	2,03	1,14	1,05	1,78	2,48	1,25	1,38	1,05
jun/05	0,98	3,13	2,06	0,92	0,97	1,85	2,68	1,24	1,28	1,57
jul/05	1,04	3,12	2,23	0,80	1,03	1,31	2,52	1,36	1,49	1,41
ago/05	1,25	3,24	2,31	1,31	1,06	1,19	2,98	1,63	1,99	1,35
set/05	1,25	3,07	2,29	1,10	1,11	1,56	2,98	1,70	2,22	1,66
out/05	1,07	2,17	2,29	0,92	1,00	1,15	2,85	1,67	2,09	1,63
nov/05	1,15	2,23	1,99	0,71	0,87	1,43	2,96	0,85	1,43	1,32

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/05	0,66	1,92	2,06	0,50	0,86	0,80	2,98	0,90	1,31	0,85
jan/06	0,88	2,65	1,98	1,07	0,97	0,79	2,09	0,50	1,81	1,77
fev/06	0,88	1,60	1,55	0,62	0,80	0,59	2,13	0,40	1,58	1,17
mar/06	0,89	1,68	1,71	0,59	0,75	0,81	2,09	0,78	1,22	1,18
abr/06	0,80	1,81	1,64	0,58	0,71	1,32	1,92	0,61	1,14	1,21
mai/06	0,66	1,53	1,51	0,56	0,60	1,24	1,70	0,81	1,11	1,20
jun/06	1,04	2,51	1,94	1,06	0,88	1,54	1,91	1,66	1,57	1,24
jul/06	1,08	2,27	1,82	0,83	0,78	1,36	1,84	1,21	1,35	1,25
ago/06	0,99	2,22	2,27	1,17	0,95	1,33	2,33	1,46	1,78	1,45
set/06	1,21	2,18	2,30	1,10	0,98	1,70	2,76	1,56	2,26	1,58
out/06	1,11	1,49	2,01	0,76	0,78	1,22	2,50	1,26	1,72	1,39
nov/06	0,93	1,73	2,19	0,84	0,87	1,30	2,59	1,50	1,73	1,34
dez/06	0,69	1,84	2,03	0,63	0,94	0,84	2,96	1,36	1,50	0,96
jan/07	0,68	1,31	1,87	0,72	0,77	0,65	1,59	1,36	1,44	1,69
fev/07	1,21	2,09	1,67	0,80	0,79	0,70	2,37	1,20	1,64	1,42
mar/07	1,14	2,92	2,11	1,10	0,87	0,93	2,33	1,38	1,79	1,38
abr/07	0,96	2,01	1,76	0,70	0,79	1,11	2,18	1,23	1,38	1,43
mai/07	0,82	2,31	1,83	0,94	0,77	1,20	2,25	1,50	1,38	1,47
jun/07	1,07	2,39	1,78	1,10	0,65	1,11	1,92	1,39	1,56	1,45
jul/07	0,89	2,21	2,02	0,87	0,73	1,15	2,03	1,35	1,40	1,48
ago/07	1,75	4,10	2,45	1,55	1,28	1,56	3,08	2,12	2,66	1,85
set/07	1,85	3,77	2,58	1,79	1,39	1,70	3,32	2,14	2,64	1,84
out/07	1,38	2,24	2,20	1,16	1,10	0,96	2,83	1,49	2,30	1,63
nov/07	1,23	1,88	2,16	0,98	0,92	0,80	2,54	1,33	2,00	1,81

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/07	0,62	1,89	2,13	0,66	0,92	0,75	3,04	1,21	1,69	1,02
jan/08	0,62	2,19	1,87	0,96	0,82	0,70	1,79	1,15	1,68	1,75
fev/08	0,74	1,74	1,43	0,73	0,61	0,71	2,28	1,14	1,36	1,37
mar/08	0,69	1,74	1,78	0,77	0,73	0,88	2,33	1,28	1,32	1,31
abr/08	0,57	1,53	1,40	0,63	0,62	0,87	1,99	1,16	1,13	1,34
mai/08	0,51	1,42	1,36	0,83	0,53	0,94	2,01	1,25	1,39	1,38
jun/08	0,82	1,99	1,53	0,79	0,60	1,16	1,99	1,47	1,25	1,23
jul/08	0,93	2,73	1,60	1,02	0,59	1,34	2,30	1,91	1,36	1,29
ago/08	1,19	2,54	2,10	1,22	1,03	1,52	2,86	1,90	1,91	1,38
set/08	1,13	2,09	2,11	0,90	0,99	1,34	2,94	1,48	1,92	1,41
out/08	1,18	2,55	2,27	1,41	1,02	1,31	2,97	1,57	2,33	1,65
nov/08	0,98	1,86	1,89	0,90	0,97	1,12	2,80	1,16	1,72	1,41
dez/08	0,65	1,94	1,89	0,56	0,74	0,86	3,05	1,20	1,52	1,01
jan/09	0,60	1,40	1,76	0,92	0,77	0,71	1,59	1,10	1,45	1,74
fev/09	0,78	1,67	1,61	0,85	0,75	0,72	2,60	1,24	1,51	1,39
mar/09	0,58	1,34	1,64	0,67	0,73	0,96	2,12	1,01	1,23	1,42
abr/09	0,59	1,38	1,65	0,54	0,57	1,08	2,04	1,17	1,33	1,41
mai/09	0,59	1,41	1,46	0,77	0,71	1,12	2,11	1,24	1,15	1,28
jun/09	0,58	1,13	1,42	0,70	0,60	1,49	2,03	1,27	1,14	1,27
jul/09	0,78	1,77	1,52	0,84	0,75	1,50	2,08	1,31	1,43	1,14
ago/09	1,03	2,24	1,61	1,37	1,10	2,10	2,55	1,94	1,93	1,35
set/09	0,78	1,69	2,00	1,05	1,04	1,30	2,42	1,55	1,65	1,38
out/09	0,98	1,11	1,81	0,55	0,78	1,36	2,25	1,31	1,49	1,39
nov/09	0,75	1,16	1,78	0,56	0,78	1,15	2,28	1,40	1,35	1,21

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/09	0,81	2,19	1,94	0,53	0,88	1,19	3,16	1,27	1,57	1,01
jan/10	1,01	2,01	1,72	1,06	0,70	1,04	1,61	1,31	1,46	1,77
fev/10	1,22	2,08	1,71	1,12	0,77	1,13	2,46	1,23	1,68	1,50
mar/10	0,69	1,78	1,86	0,78	0,72	0,93	2,26	1,14	1,36	1,70
abr/10	0,91	1,66	1,65	0,83	0,67	1,22	1,91	1,31	1,32	1,44
mai/10	0,55	1,59	1,09	0,67	0,62	1,17	1,94	1,25	1,22	1,08
jun/10	0,57	1,77	1,37	0,85	0,73	1,26	2,10	1,36	1,34	1,42
jul/10	1,26	2,96	2,22	1,17	1,13	1,54	2,16	2,11	1,82	1,58
ago/10	1,04	2,49	2,08	1,32	0,96	1,34	2,63	1,86	1,76	1,57
set/10	1,50	3,00	2,60	1,45	1,27	1,38	2,79	2,37	2,48	1,74
out/10	0,99	1,43	2,01	0,93	0,83	0,98	2,47	1,32	1,62	1,31
nov/10	0,66	1,08	1,94	0,80	0,80	1,04	2,48	1,55	1,39	1,52
dez/10	0,74	1,70	1,83	0,64	0,77	0,93	2,88	1,42	1,62	1,06
jan/11	0,98	2,43	1,83	1,14	0,67	1,42	2,06	1,54	1,58	1,95
fev/11	0,82	1,15	1,66	0,74	0,70	1,17	2,36	1,21	1,78	1,43
mar/11	0,75	1,41	1,34	0,78	0,65	0,97	1,84	1,27	1,25	1,34
abr/11	0,81	1,64	0,90	0,98	0,70	1,32	2,09	0,96	1,32	1,38
mai/11	0,75	1,61	1,13	0,84	0,55	1,14	1,89	1,19	1,15	1,33
jun/11	0,71	1,29	1,40	0,70	0,64	1,39	1,99	1,48	1,27	1,54
jul/11	1,02	2,02	1,68	0,96	0,80	1,48	2,16	1,71	1,38	1,57
ago/11	0,76	2,90	1,30	1,26	1,02	1,41	2,37	1,98	1,79	1,62
set/11	0,98	3,21	1,21	1,37	1,20	1,54	2,78	2,27	2,03	1,80
out/11	0,89	2,13	1,03	0,87	0,90	1,18	2,85	1,85	1,49	1,90
nov/11	0,99	2,73	1,06	0,89	0,83	1,41	2,82	1,92	1,77	1,66

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/11	0,62	2,42	1,75	0,50	0,74	1,13	2,71	1,62	1,35	1,20
jan/12	0,91	1,94	1,80	0,96	0,70	1,20	2,04	1,81	1,55	1,88
fev/12	0,82	2,67	2,24	1,03	0,84	1,41	2,21	1,90	1,77	1,54
mar/12	0,69	1,77	1,91	0,83	0,65	1,43	2,20	1,46	1,38	1,65
abr/12	0,65	1,82	1,93	0,78	0,68	1,37	2,07	1,46	1,38	1,60
mai/12	0,81	2,28	2,01	1,05	0,63	1,42	2,17	1,82	1,29	1,67
jun/12	0,76	2,22	1,88	0,95	0,62	1,26	1,86	1,41	1,28	1,49
jul/12	1,01	2,51	2,26	0,97	0,73	1,31	3,00	1,97	1,45	1,63
ago/12	2,23	4,51	2,88	1,70	1,38	1,88	3,77	3,25	2,53	2,08
set/12	1,27	2,64	2,48	1,17	0,93	1,25	3,14	2,45	2,15	1,58
out/12	1,17	2,18	2,43	1,12	1,02	1,22	3,19	2,23	2,12	1,81
nov/12	0,80	2,34	2,30	0,86	0,79	1,37	2,79	1,87	1,70	1,59
dez/12	0,82	1,73	1,86	0,83	0,63	1,06	2,97	1,59	1,46	1,60
jan/13	0,66	2,04	2,24	0,71	0,78	0,99	2,05	1,74	1,56	1,92
fev/13	0,72	2,15	1,90	1,02	0,58	1,26	2,54	1,48	1,43	1,28
mar/13	0,65	1,62	1,91	0,71	0,65	1,35	2,43	1,28	1,38	1,41
abr/13	0,67	1,67	1,74	0,61	0,61	1,43	2,20	1,60	1,14	1,24
mai/13	0,61	1,54	1,73	0,82	0,71	1,21	2,19	1,59	1,10	1,37
jun/13	0,50	1,86	1,72	0,78	0,61	1,30	1,96	1,66	1,20	1,04
jul/13	0,94	1,95	1,84	0,88	0,63	1,45	2,15	1,85	1,39	1,49
ago/13	1,19	2,68	2,38	1,40	0,99	1,43	2,61	2,10	2,21	1,58
set/13	1,00	2,74	2,71	1,56	1,10	1,61	3,22	2,22	2,21	1,87
out/13	0,81	2,01	2,56	1,07	0,84	1,43	2,73	1,79	2,00	1,65
nov/13	0,83	1,39	2,17	0,84	0,80	1,44	2,54	1,63	2,10	1,64

Mês/Ano	Velocidade do vento									
	Estações climatológicas									
	83384	83377	83526	83379	83522	83481	83479	83531	83483	83428
dez/13	0,72	1,80	1,81	0,81	0,78	1,32	3,12	1,34	1,60	1,12
jan/14	0,80	2,02	2,05	0,89	0,70	1,35	2,12	1,15	1,99	1,90
fev/14	1,17	2,04	2,45	1,03	0,74	1,30	2,42	1,21	2,17	1,71
mar/14	0,78	1,26	2,02	0,71	0,54	1,21	2,43	1,61	1,65	1,39
abr/14	0,66	0,91	1,73	0,58	0,61	1,27	2,20	1,35	1,46	1,24
mai/14	0,58	1,16	1,75	0,68	0,59	1,40	2,28	1,45	1,27	1,31
jun/14	0,77	1,79	1,92	0,73	0,64	1,33	1,72	1,72	1,40	1,38
jul/14	1,04	2,00	2,04	1,22	0,82	1,65	1,98	2,00	1,55	1,67
ago/14	0,85	2,42	2,01	1,02	0,90	1,26	2,80	2,03	1,72	1,56
set/14	1,39	2,65	2,28	1,10	1,00	1,33	3,20	2,21	2,38	1,83
out/14	1,23	2,54	2,70	1,26	1,12	1,38	3,23	2,08	2,34	2,12
nov/14	0,86	1,45	1,87	0,81	0,73	1,19	2,77	1,54	1,72	1,84
dez/14	0,70	1,55	2,06	0,70	0,78	1,10	2,91	1,81	1,64	1,57

Anexo 4 - Dados de precipitação utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo – Parte 1

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
jan/00	249,80	230,00	153,50	176,90	272,40	206,30	206,10	281,20	295,10	242,00
fev/00	111,00	90,80	173,60	205,10	317,40	134,60	139,60	155,50	163,90	205,90
mar/00	158,70	210,30	202,60	272,10	264,40	285,90	142,80	202,50	280,70	256,70
abr/00	2,50	4,10	20,00	32,30	73,40	40,50	6,40	12,30	45,50	33,30
mai/00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/00	0,00	1,30	6,00	17,10	10,60	19,50	18,30	3,90	14,80	2,80
ago/00	21,00	33,30	19,80	29,80	39,10	25,60	28,20	13,80	19,00	16,20
set/00	12,00	35,20	31,60	29,60	96,80	50,80	66,30	100,80	65,88	74,70
out/00	84,10	74,60	67,30	83,70	109,40	43,40	43,30	15,10	20,30	67,80
nov/00	225,90	436,90	247,50	353,40	389,60	375,40	363,00	247,10	328,40	269,00
dez/00	211,20	193,50	154,50	148,60	250,90	206,00	161,10	175,40	276,80	250,90
jan/01	25,60	32,50	66,10	52,60	113,20	49,80	53,00	95,90	129,00	160,70
fev/01	46,20	25,30	24,20	44,10	117,60	15,50	41,70	67,20	38,20	56,20
mar/01	66,40	108,30	72,10	158,30	308,60	68,30	133,10	73,00	140,90	124,30
abr/01	28,90	6,40	1,00	0,30	66,20	35,00	0,00	0,00	4,30	0,00
mai/01	51,50	52,60	17,10	25,70	48,10	31,20	27,10	58,90	91,20	27,40
jun/01	1,50	7,00	21,80	5,90	0,00	2,50	2,20	2,40	0,70	4,20
jul/01	0,00	0,00	1,80	3,40	0,00	2,00	3,10	0,00	0,00	0,60
ago/01	0,00	10,70	54,60	41,00	30,00	21,50	67,70	26,00	64,30	56,50
set/01	5,10	16,10	9,90	28,10	42,40	12,30	32,20	43,80	34,60	87,10
out/01	72,50	96,00	64,70	104,60	124,20	85,20	74,20	95,90	100,20	96,90
nov/01	253,50	271,50	197,70	263,50	396,50	333,70	250,50	322,90	357,20	224,60
dez/01	203,60	247,30	223,20	230,90	279,90	267,70	153,50	382,20	288,40	254,30
jan/02	219,30	127,80	150,10	148,00	201,00	162,50	176,80	233,00	192,30	224,30

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
fev/02	171,50	232,50	163,70	235,50	236,50	214,20	219,00	209,70	208,10	213,30
mar/02	62,50	92,80	80,10	116,00	191,50	151,00	90,80	70,60	120,90	136,50
abr/02	0,00	3,60	1,70	1,10	60,90	0,30	8,00	2,00	50,60	0,00
mai/02	4,60	0,00	7,70	14,50	11,40	8,40	19,00	10,00	36,40	13,80
jun/02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/02	0,00	25,00	7,80	0,00	0,00	13,10	9,00	9,50	2,00	3,30
ago/02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	1,00	0,00	0,20	0,10	0,00
set/02	29,90	42,10	42,00	24,20	106,90	15,30	72,90	85,40	64,50	47,30
out/02	26,70	19,00	3,70	6,30	17,30	22,70	27,30	39,20	46,50	60,70
nov/02	144,70	253,40	116,30	171,60	150,00	69,70	111,00	52,20	140,70	87,00
dez/02	270,60	262,50	287,80	283,90	266,10	247,20	302,10	275,80	357,90	409,10
jan/03	244,90	232,50	348,80	289,00	374,90	411,20	386,20	503,30	498,60	519,20
fev/03	95,70	77,30	89,10	112,00	148,60	57,00	112,80	47,00	86,40	116,40
mar/03	231,70	207,00	188,10	165,00	326,60	244,50	231,90	259,20	296,00	322,00
abr/03	23,50	22,60	3,80	42,00	55,40	11,70	51,20	37,20	50,30	56,80
mai/03	31,90	9,70	43,90	46,60	82,20	102,00	40,70	38,30	110,30	75,70
jun/03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/03	2,90	11,80	24,10	25,00	40,80	5,60	31,00	19,30	17,60	45,30
set/03	16,50	0,00	3,20	5,20	17,10	5,90	12,80	11,40	18,10	16,60
out/03	20,20	45,00	60,80	43,90	160,60	74,70	38,90	62,90	48,00	93,30
nov/03	104,90	121,90	173,90	170,20	153,60	131,90	75,80	97,00	188,80	116,10
dez/03	123,70	144,90	90,80	175,33	153,50	138,10	129,80	224,70	186,90	298,90
jan/04	336,70	223,30	201,40	534,40	346,50	231,80	216,30	242,70	216,20	424,30
fev/04	315,40	278,98	267,60	395,60	567,40	269,90	441,30	434,00	444,10	526,40
mar/04	246,00	311,70	178,50	129,80	209,30	199,20	157,40	224,20	215,50	209,00

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
abr/04	44,00	38,20	55,50	89,40	197,50	208,00	100,30	135,50	186,20	141,90
mai/04	0,00	0,00	0,20	0,00	47,80	0,00	0,00	1,60	1,70	6,10
jun/04	0,00	2,70	0,00	0,90	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/04	0,00	2,00	7,80	11,30	0,00	3,00	2,50	10,40	30,50	5,10
ago/04	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/04	26,30	52,90	27,30	116,00	172,00	25,60	10,80	16,30	53,90	46,60
nov/04	74,90	130,40	151,00	173,40	143,40	51,90	120,40	102,70	180,00	131,80
dez/04	266,30	285,30	450,30	338,70	315,90	423,80	217,40	424,40	332,20	457,30
jan/05	163,80	207,00	322,70	288,40	293,90	261,80	332,20	316,20	233,80	359,30
fev/05	100,80	97,30	198,90	217,70	196,30	144,50	275,80	292,70	177,60	327,30
mar/05	288,40	338,90	280,10	428,00	617,10	192,70	270,40	339,50	218,70	315,50
abr/05	23,40	6,50	36,40	79,70	36,60	7,70	4,90	9,00	3,00	25,00
mai/05	5,40	22,30	8,50	3,70	8,00	5,60	14,30	5,40	35,90	4,20
jun/05	0,00	0,10	5,70	3,30	13,10	10,60	1,30	1,00	0,80	3,00
jul/05	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	3,20	0,00
ago/05	0,00	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	5,00	0,00
set/05	15,40	56,40	24,40	21,70	53,20	24,60	22,60	26,10	41,00	30,20
out/05	3,70	24,00	9,50	3,70	27,70	1,70	6,40	20,20	0,40	11,80
nov/05	416,80	245,90	420,80	366,30	431,40	355,90	413,40	313,00	434,00	323,50
dez/05	148,60	250,40	370,00	367,40	442,00	342,70	394,30	428,20	288,50	433,50
jan/06	65,60	69,00	117,60	167,20	242,00	69,70	158,90	195,20	136,80	184,90
fev/06	57,80	57,50	79,80	178,20	184,10	91,70	101,30	114,00	93,40	153,80
mar/06	136,40	230,80	149,30	308,00	255,50	273,30	248,90	137,20	234,40	294,80
abr/06	90,80	110,40	39,80	133,20	155,00	113,30	41,10	108,40	128,50	48,70
mai/06	0,00	4,10	0,40	10,90	10,70	2,00	2,80	6,80	16,30	18,10

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
jun/06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40
jul/06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,50	4,20	1,60	1,40	0,10
ago/06	11,70	2,30	3,10	6,30	22,20	4,00	7,00	0,40	10,30	6,40
set/06	18,60	94,80	67,60	47,40	83,40	32,70	42,00	28,90	37,90	29,10
out/06	194,70	103,10	213,70	173,60	232,40	239,50	110,00	232,70	191,40	239,90
nov/06	283,80	241,10	255,80	216,60	269,80	298,70	353,10	382,00	239,40	191,80
dez/06	243,10	377,40	321,20	351,70	395,50	302,80	370,70	474,80	383,00	401,90
jan/07	207,00	259,90	245,50	205,70	247,10	291,30	398,10	307,50	259,80	309,10
fev/07	266,50	210,10	292,70	444,00	402,50	337,20	295,70	223,50	376,00	420,00
mar/07	3,80	3,00	1,30	17,20	48,70	21,60	17,10	15,50	39,60	26,00
abr/07	40,90	35,00	41,80	25,60	38,80	57,50	24,80	28,80	82,30	78,60
mai/07	1,20	2,30	2,30	2,60	4,90	2,50	0,40	1,00	0,20	2,50
jun/07	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,30
jul/07	0,00	0,00	0,10	0,40	0,00	0,00	0,60	0,00	4,90	0,00
ago/07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/07	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	6,40	0,20	0,00	17,20	0,00
out/07	1,60	4,00	8,80	41,90	61,40	12,30	10,00	21,70	22,60	12,10
nov/07	222,50	140,20	73,90	102,40	162,60	102,70	152,80	113,80	198,60	151,70
dez/07	119,80	122,10	137,30	230,50	281,50	114,90	207,80	151,00	189,60	179,40
jan/08	112,20	203,00	224,20	258,10	209,10	282,60	340,90	193,90	410,50	195,30
fev/08	134,90	169,50	118,30	123,10	171,30	126,70	158,80	230,60	337,80	250,20
mar/08	164,20	192,30	241,90	161,80	239,40	362,90	215,80	111,30	235,50	185,50
abr/08	113,90	78,20	20,30	129,80	74,60	28,00	82,70	88,40	57,00	167,00
mai/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	6,50	14,00	6,20	0,00
jun/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
jul/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
ago/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,30	0,00
set/08	30,40	6,00	11,50	36,60	30,90	6,70	61,40	34,60	62,00	37,10
out/08	0,00	26,50	2,60	2,60	32,80	1,30	3,40	4,40	1,80	26,00
nov/08	183,40	129,60	106,80	222,70	320,20	162,60	288,70	136,40	210,60	153,50
dez/08	337,40	249,90	298,30	304,70	228,70	361,20	313,00	385,00	280,10	343,20
jan/09	264,80	300,60	299,90	243,70	264,40	208,20	355,30	388,10	383,10	242,90
fev/09	132,40	195,00	137,60	161,50	205,60	80,80	150,80	122,40	130,90	172,60
mar/09	77,40	81,70	84,40	59,00	145,80	221,80	207,50	164,80	219,80	144,30
abr/09	136,30	98,70	160,00	151,20	252,80	148,80	103,80	95,80	94,30	251,40
mai/09	12,20	9,00	0,00	7,70	23,60	2,30	0,20	0,00	1,10	0,90
jun/09	19,10	14,50	6,50	4,60	9,70	7,50	28,70	32,80	4,80	19,70
jul/09	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/09	27,30	71,10	81,60	38,10	16,10	49,50	38,60	19,80	29,80	44,70
set/09	8,80	33,70	78,50	34,90	54,30	45,40	58,30	15,40	38,50	63,70
out/09	190,20	141,90	303,70	147,30	243,30	141,00	216,20	183,30	209,20	149,40
nov/09	87,60	192,90	250,90	138,80	141,90	76,40	66,90	86,10	84,50	108,50
dez/09	258,40	280,40	409,30	337,90	337,40	194,40	321,80	369,60	412,60	410,60
jan/10	72,30	116,40	70,80	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70
fev/10	33,10	54,50	83,00	61,70	94,70	33,00	152,50	120,70	82,80	99,60
mar/10	149,80	189,50	188,80	432,80	86,00	238,90	137,90	186,40	180,20	226,50
abr/10	131,50	104,10	104,90	85,40	65,60	112,50	136,20	54,80	76,60	129,40
mai/10	26,20	23,00	29,30	31,60	12,60	14,00	21,20	47,80	61,10	11,90
jun/10	0,00	2,20	4,90	2,30	0,00	1,20	1,80	1,00	4,50	0,10
jul/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/10	0,00	10,00	23,20	25,20	29,80	3,80	2,60	11,10	4,50	7,70

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
out/10	153,10	181,60	188,50	125,10	109,50	170,70	144,20	190,20	202,00	159,50
nov/10	193,10	193,50	339,20	168,20	334,80	195,70	249,40	315,40	312,20	272,90
dez/10	235,40	279,60	297,60	154,60	273,50	250,00	232,30	285,90	355,40	406,80
jan/11	204,80	257,60	289,90	296,20	232,70	174,70	272,50	271,20	346,10	302,60
fev/11	51,30	27,10	88,20	30,20	178,50	56,90	28,40	49,80	106,70	60,90
mar/11	303,70	382,00	454,00	389,80	530,50	384,30	334,10	259,02	409,70	547,20
abr/11	70,70	88,40	110,60	90,80	60,50	54,50	66,90	83,40	29,40	43,60
mai/11	0,00	8,30	8,30	14,90	3,40	0,00	4,20	0,00	10,70	0,00
jun/11	0,00	0,00	0,00	0,80	4,50	0,00	0,10	2,80	1,80	1,40
jul/11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/11	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
out/11	117,70	100,20	158,40	202,20	482,40	168,10	175,20	122,10	151,20	141,40
nov/11	277,60	299,30	126,60	168,50	112,60	157,10	129,70	163,70	147,70	181,10
dez/11	273,70	390,80	369,90	344,30	449,50	555,00	435,20	404,70	570,80	480,70
jan/12	77,40	92,60	182,10	188,30	342,80	165,40	235,50	164,00	227,90	376,90
fev/12	17,10	43,80	137,50	132,70	156,10	62,70	74,40	51,00	98,30	93,00
mar/12	173,60	142,60	87,60	95,90	160,90	67,90	146,00	90,70	137,90	114,10
abr/12	0,00	5,30	12,90	25,10	66,30	7,20	22,90	20,90	37,60	13,40
mai/12	5,60	9,20	54,60	12,50	38,30	27,50	12,40	12,40	12,20	20,00
jun/12	0,00	0,00	0,00	1,80	79,20	0,00	1,20	30,80	15,50	32,80
jul/12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/12	8,50	9,50	34,50	21,90	26,70	10,10	23,30	23,10	13,70	22,40
out/12	7,10	28,50	16,10	10,20	65,90	40,60	25,30	15,80	24,90	31,90
nov/12	311,20	487,90	328,30	394,50	216,80	312,50	507,00	496,00	272,40	393,10

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 1									
	1645005	1645019	1646000	1646003	1647002	1746001	1746002	1746007	1746012	1746013
dez/12	83,00	73,90	125,70	140,60	89,00	98,20	47,00	115,80	78,00	166,20
jan/13	297,00	365,70	270,50	318,10	377,60	278,50	384,40	313,80	335,80	372,60
fev/13	22,20	60,80	72,10	56,40	100,70	37,10	75,20	70,60	62,20	133,90
mar/13	166,90	166,40	213,40	269,20	285,70	181,30	222,40	223,60	299,50	260,10
abr/13	39,10	193,10	115,00	79,70	73,00	83,90	132,20	85,60	127,10	169,10
mai/13	3,90	4,20	22,20	28,70	21,00	9,80	9,30	9,20	4,70	17,40
jun/13	2,70	2,30	26,00	18,30	9,60	12,90	12,70	9,40	10,50	25,00
jul/13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	0,30	0,00
set/13	0,00	35,10	14,60	28,90	16,10	31,00	22,80	15,60	12,00	16,40
out/13	155,10	99,10	34,20	126,10	140,80	42,80	81,50	72,40	64,60	80,80
nov/13	85,00	135,90	127,50	77,60	213,90	128,70	148,60	175,20	124,50	183,60
dez/13	548,70	507,00	374,90	427,20	361,30	462,30	303,20	431,00	280,00	381,10
jan/14	63,50	75,10	89,60	94,00	70,20	79,50	83,50	133,20	131,60	135,20
fev/14	96,90	64,90	50,20	98,00	145,60	57,70	70,80	109,40	43,60	73,00
mar/14	124,50	70,20	225,10	243,50	233,30	53,30	114,20	165,60	119,20	130,00
abr/14	37,70	27,10	121,60	122,40	141,80	52,60	137,10	62,40	119,70	155,10
mai/14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	9,90	0,00	5,20
jun/14	0,00	14,70	0,80	4,50	0,30	0,00	1,20	1,20	1,90	0,50
jul/14	0,00	0,00	4,50	1,40	7,40	6,00	2,90	8,40	12,10	14,30
ago/14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/14	0,00	0,00	2,00	2,00	12,90	0,00	4,30	5,80	1,40	12,40
out/14	23,40	31,30	43,60	67,60	29,20	23,70	23,20	25,90	46,20	18,60
nov/14	173,00	260,60	236,50	178,80	166,40	125,50	225,10	221,00	398,60	244,30
dez/14	212,10	196,00	244,20	214,70	429,00	292,10	150,80	225,20	229,20	209,70

Anexo 5 - Dados de precipitação utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo – Parte 2

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
jan/00	240,50	235,40	191,30	285,40	359,80	255,70	434,90	225,90	369,80	414,30
fev/00	221,40	220,40	260,90	347,30	142,40	128,90	231,20	275,90	234,60	325,60
mar/00	196,90	263,50	199,40	247,40	160,00	203,80	261,40	144,00	127,80	198,60
abr/00	48,10	32,40	32,20	23,80	68,60	23,80	36,80	40,30	73,10	48,90
mai/00	0,00	0,00	0,00	8,10	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jun/00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/00	2,20	9,30	0,10	0,00	1,80	4,30	0,00	0,30	0,90	2,50
ago/00	8,90	24,90	35,70	18,70	22,50	21,40	6,10	17,90	10,00	22,60
set/00	106,40	112,30	55,20	85,60	92,30	108,80	101,50	85,60	76,60	139,90
out/00	37,90	29,50	40,60	71,20	66,90	0,00	9,20	66,60	51,30	26,00
nov/00	337,20	290,20	374,80	254,60	290,70	384,70	426,00	200,70	245,00	263,90
dez/00	247,90	247,80	304,10	209,30	199,10	223,70	246,80	197,70	360,30	314,40
jan/01	190,90	112,20	128,60	121,10	138,70	157,80	209,90	177,40	93,50	47,40
fev/01	24,10	18,40	39,80	43,30	39,40	19,90	48,60	60,30	39,30	42,40
mar/01	110,20	181,40	166,80	171,80	255,20	159,60	102,00	202,10	223,40	180,80
abr/01	1,20	5,50	9,50	0,00	31,10	5,90	66,10	50,70	42,60	14,30
mai/01	44,80	57,40	37,90	25,90	55,20	38,50	34,60	29,10	35,50	88,90
jun/01	1,80	0,60	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/01	0,50	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
ago/01	67,30	30,50	43,10	64,20	94,10	42,10	67,10	21,70	19,90	58,80
set/01	7,60	18,60	10,50	17,00	38,10	15,90	15,00	1,50	51,50	55,40
out/01	109,90	101,30	89,60	92,10	110,60	118,00	112,60	75,10	87,30	78,40
nov/01	276,80	217,50	232,90	172,10	272,60	292,90	257,10	214,30	307,60	226,40
dez/01	369,70	297,90	244,90	349,70	283,80	316,80	363,60	237,90	250,40	273,60
jan/02	361,40	228,70	250,50	192,30	231,50	128,90	297,60	370,00	147,50	234,00

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
fev/02	289,10	308,30	334,90	274,50	401,70	339,80	312,00	226,20	239,00	362,00
mar/02	107,70	186,60	100,90	83,00	113,70	150,30	107,50	106,80	123,90	95,30
abr/02	0,00	3,70	4,30	2,50	17,40	23,40	56,60	7,30	29,80	19,50
mai/02	31,20	20,60	25,20	22,80	75,00	53,00	5,80	32,60	23,50	142,10
jun/02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/02	0,30	1,30	25,80	29,50	1,90	3,70	0,50	8,00	1,50	0,50
ago/02	0,00	0,00	5,70	1,20	4,40	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
set/02	53,00	78,40	135,80	77,00	67,90	81,60	71,80	72,20	45,10	45,40
out/02	59,70	28,60	41,70	63,00	55,60	59,10	53,30	26,90	31,80	52,60
nov/02	108,30	74,30	135,70	81,10	64,40	72,80	96,70	53,80	40,90	57,50
dez/02	339,70	294,20	274,90	199,10	309,60	290,50	298,00	227,20	338,60	372,80
jan/03	500,50	491,10	363,20	364,80	505,70	456,60	420,10	412,00	548,20	601,00
fev/03	64,90	140,80	169,80	42,60	114,00	64,70	148,70	63,30	80,20	114,50
mar/03	264,10	244,60	244,90	242,10	253,60	208,20	288,70	239,10	182,30	279,90
abr/03	19,10	29,90	62,30	38,10	24,30	20,00	19,80	54,60	9,10	44,80
mai/03	5,30	25,60	35,50	57,40	32,60	9,30	41,90	67,80	27,60	36,40
jun/03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/03	33,80	25,90	34,50	55,30	26,50	24,60	43,00	13,00	0,10	0,00
set/03	13,10	7,40	15,80	18,50	20,30	21,60	20,70	23,70	55,10	27,30
out/03	52,70	25,70	33,70	23,00	48,50	30,30	61,70	45,50	56,60	75,00
nov/03	185,30	303,00	173,40	167,60	164,10	239,30	156,80	159,20	198,80	166,80
dez/03	241,80	287,20	265,10	215,10	205,70	173,40	395,20	195,70	182,60	214,60
jan/04	364,00	465,60	262,60	270,30	390,00	453,50	334,30	292,90	463,20	419,30
fev/04	431,10	457,30	314,80	264,10	292,50	340,90	531,30	240,80	258,40	387,20
mar/04	202,60	237,60	227,20	250,00	363,40	175,80	279,50	235,90	165,20	174,40

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
abr/04	104,90	247,70	163,20	151,80	235,90	200,50	163,70	140,90	108,00	110,30
mai/04	11,10	15,80	12,80	18,00	27,40	13,60	15,50	11,60	27,10	23,20
jun/04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00
jul/04	20,10	19,70	21,10	19,90	18,70	24,80	43,20	22,00	17,90	45,40
ago/04	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/04	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	4,50
out/04	17,70	33,40	62,70	55,80	40,90	7,80	81,00	45,10	28,70	33,20
nov/04	104,80	146,30	88,80	102,50	131,20	135,80	125,20	110,20	104,80	91,60
dez/04	500,20	398,00	193,30	252,40	386,80	381,60	295,80	460,10	302,80	336,10
jan/05	277,00	408,90	189,30	167,40	232,30	500,70	354,30	281,70	395,10	395,00
fev/05	264,80	203,50	182,60	94,30	127,00	176,20	171,20	110,10	71,30	205,90
mar/05	285,20	316,50	279,00	175,20	358,30	308,60	400,00	247,40	207,00	364,60
abr/05	16,30	7,30	31,80	32,80	5,00	7,10	6,00	45,00	27,70	28,70
mai/05	9,50	6,00	51,00	14,90	49,00	8,20	28,00	18,40	6,60	69,10
jun/05	3,60	1,20	13,80	7,30	6,20	2,60	3,60	9,20	4,60	5,90
jul/05	0,00	0,00	4,10	8,00	3,00	0,00	4,70	0,00	0,00	0,20
ago/05	2,40	3,70	3,90	15,80	1,10	12,60	11,60	18,70	11,40	1,30
set/05	32,20	16,20	67,00	80,80	19,50	37,80	11,20	38,30	38,00	29,10
out/05	9,00	13,60	23,20	26,50	74,90	5,70	17,00	47,60	27,40	16,90
nov/05	336,80	435,60	468,90	312,10	361,50	405,30	341,60	351,20	483,10	353,60
dez/05	339,80	310,70	345,10	315,90	343,20	254,70	199,60	394,90	357,20	281,20
jan/06	177,50	135,00	155,40	219,90	252,90	162,50	94,10	153,90	254,00	155,10
fev/06	58,60	153,60	51,00	32,20	112,70	235,50	118,50	172,30	142,00	222,60
mar/06	219,50	409,80	342,20	226,80	274,60	211,80	287,50	214,70	265,60	429,50
abr/06	60,50	188,10	98,00	32,90	80,70	147,50	97,90	68,80	138,30	104,20
mai/06	2,50	10,20	46,80	10,10	2,90	6,00	0,00	17,80	4,60	3,10

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
jun/06	0,00	12,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
jul/06	0,00	14,30	2,00	2,90	6,70	0,00	0,00	1,80	0,10	3,70
ago/06	11,90	2,30	0,50	13,10	9,10	0,00	0,00	4,40	4,60	1,40
set/06	32,00	65,90	45,40	58,50	108,60	65,10	84,50	122,30	111,20	82,40
out/06	150,50	168,10	180,40	239,80	159,70	186,50	162,10	250,90	291,20	153,80
nov/06	163,30	214,60	299,60	179,90	390,60	176,30	366,80	222,50	191,80	216,80
dez/06	499,10	499,30	578,90	466,20	681,30	326,40	440,10	548,20	517,20	480,50
jan/07	401,70	489,50	269,90	408,60	412,10	519,90	329,40	395,60	563,70	567,80
fev/07	263,40	340,90	271,30	190,20	299,20	293,50	342,50	205,70	295,90	251,10
mar/07	27,10	134,10	43,40	16,40	31,10	72,20	0,00	30,10	66,30	32,20
abr/07	22,90	95,50	61,10	81,30	21,50	45,10	12,90	42,20	62,90	75,70
mai/07	1,70	0,00	1,20	0,00	3,40	0,00	3,60	1,00	4,30	0,70
jun/07	0,00	0,00	0,20	0,00	0,90	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00
jul/07	0,00	1,10	10,10	4,70	8,20	5,10	0,00	0,00	19,50	7,90
ago/07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/07	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	0,40	23,30	0,00	3,10	3,20
out/07	36,60	41,70	1,20	16,40	78,60	55,80	39,50	64,60	46,60	74,40
nov/07	110,30	180,90	91,30	182,50	152,90	74,80	129,10	115,30	68,70	95,40
dez/07	122,80	137,40	244,90	187,70	157,20	150,20	267,50	171,80	257,60	159,80
jan/08	244,80	292,90	317,70	338,00	204,70	213,20	246,60	243,00	189,70	203,70
fev/08	229,00	385,50	190,00	265,30	243,90	295,00	305,70	260,80	214,90	370,80
mar/08	173,60	327,20	300,00	237,50	222,80	170,10	289,00	158,40	351,20	293,00
abr/08	124,00	71,20	86,00	109,90	167,80	74,00	83,70	45,10	130,30	147,40
mai/08	0,00	6,90	16,90	8,10	21,80	2,70	0,00	3,60	0,00	17,80
jun/08	0,00	1,70	0,00	1,00	32,70	1,80	0,00	37,70	0,00	3,00
jul/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
ago/08	0,00	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	2,30	5,80	20,10	0,30
set/08	29,50	41,30	53,70	57,30	56,50	35,00	39,90	81,40	53,40	45,30
out/08	10,30	22,20	12,50	12,20	15,80	13,60	7,50	15,40	27,20	28,60
nov/08	150,50	209,30	216,60	157,40	255,30	105,90	164,10	155,90	119,50	225,20
dez/08	383,30	313,80	374,10	523,30	476,60	370,40	541,20	528,20	393,70	602,10
jan/09	195,90	295,10	262,20	274,60	276,10	402,50	298,60	200,00	308,00	470,80
fev/09	198,80	208,30	120,60	201,00	182,50	181,60	162,40	242,60	168,50	169,80
mar/09	208,60	141,10	239,90	313,60	187,00	246,60	246,80	195,70	224,50	208,60
abr/09	171,40	150,30	138,10	140,10	148,70	41,70	127,40	42,50	117,00	69,20
mai/09	19,40	17,40	0,30	21,60	26,20	2,50	3,20	38,10	37,20	17,90
jun/09	56,40	41,40	42,30	29,50	62,60	43,00	24,90	49,60	19,40	19,40
jul/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
ago/09	12,70	44,10	18,00	29,50	29,30	23,40	22,90	42,70	84,00	38,50
set/09	34,00	24,70	44,20	31,70	109,00	43,90	26,30	60,00	31,90	50,20
out/09	110,60	176,80	152,30	138,10	133,10	133,40	158,80	111,00	205,10	130,70
nov/09	137,20	126,60	65,70	199,50	239,90	106,70	165,20	218,80	299,80	229,40
dez/09	347,40	349,90	226,20	304,80	411,30	548,50	504,80	338,30	367,50	353,50
jan/10	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70	124,70
fev/10	105,20	117,20	41,60	63,40	92,60	118,20	114,60	49,80	81,20	52,40
mar/10	140,60	210,20	154,80	162,70	171,20	173,80	209,40	213,60	90,50	232,20
abr/10	69,70	109,00	74,10	75,40	104,30	117,70	66,00	61,40	77,80	62,00
mai/10	40,70	4,70	43,30	75,00	22,30	12,10	67,60	14,90	7,60	27,80
jun/10	1,10	0,90	16,30	8,20	8,80	8,00	16,40	16,30	7,80	15,40
jul/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/10	12,90	16,40	9,90	29,70	22,40	43,40	34,00	39,90	14,30	49,00

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
out/10	137,10	152,70	74,30	89,40	133,20	52,60	167,30	94,20	98,80	111,00
nov/10	352,00	295,40	358,10	315,40	282,50	302,10	278,00	351,10	265,90	301,00
dez/10	355,30	276,10	275,50	344,20	333,30	215,10	333,70	384,30	303,99	265,00
jan/11	285,80	348,60	217,90	150,30	574,70	295,50	363,90	329,00	494,40	359,70
fev/11	50,50	64,90	90,40	19,00	139,90	133,70	137,30	20,90	129,90	55,10
mar/11	383,60	514,30	636,00	464,00	474,70	594,80	602,90	367,90	474,10	565,60
abr/11	76,40	40,20	34,10	123,20	39,60	49,10	38,50	92,70	40,90	57,60
mai/11	0,00	1,20	0,00	0,00	6,90	0,00	0,00	4,80	0,00	0,00
jun/11	1,60	1,00	2,50	6,50	12,20	3,00	0,40	6,30	4,40	5,30
jul/11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/11	0,60	0,00	0,00	0,00	14,20	0,00	0,00	0,00	4,60	8,20
out/11	146,00	198,40	134,10	61,70	148,40	138,10	224,10	213,40	217,60	193,50
nov/11	206,70	123,10	137,70	205,70	203,40	126,50	178,60	260,60	93,30	99,90
dez/11	348,20	488,60	338,00	392,20	390,00	435,50	614,40	535,90	467,10	400,10
jan/12	148,90	279,10	197,90	162,20	299,90	278,20	101,50	272,60	321,00	301,60
fev/12	108,10	45,20	88,20	48,70	144,30	76,30	51,00	79,20	127,20	82,40
mar/12	98,70	22,80	154,50	114,00	179,20	105,30	169,80	220,10	167,70	81,40
abr/12	17,60	23,10	40,40	105,00	85,10	29,60	47,80	118,20	37,10	75,60
mai/12	27,20	29,30	10,70	42,80	32,50	47,00	36,20	105,30	17,30	25,70
jun/12	14,80	78,10	51,80	23,70	31,30	56,60	37,20	77,90	72,20	29,60
jul/12	0,00	2,80	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	0,00
set/12	35,30	30,30	8,80	9,70	26,00	51,00	17,10	13,10	0,00	76,90
out/12	40,70	39,80	24,70	18,80	39,90	19,70	30,70	66,50	46,50	35,50
nov/12	498,60	376,20	316,60	330,20	370,20	293,70	369,00	301,00	410,10	426,70

Mês/Ano	Estações pluviométricas – Parte 2									
	1746019	1747005	1845013	1846003	1846005	1846015	1846016	1846017	1846019	1846023
dez/12	257,10	85,80	43,90	206,70	167,70	159,20	66,50	19,30	126,20	141,70
jan/13	357,20	383,30	212,50	184,40	203,90	338,50	287,40	241,50	344,30	266,60
fev/13	99,00	96,90	137,60	169,10	70,90	234,50	13,00	147,00	166,20	71,90
mar/13	242,10	229,30	249,50	286,40	284,70	233,60	211,50	227,50	79,10	182,60
abr/13	183,40	178,60	97,20	36,50	122,90	219,40	89,00	134,00	185,00	113,50
mai/13	7,00	23,40	51,80	36,20	28,90	13,60	29,00	82,30	20,10	36,50
jun/13	14,00	12,00	15,70	8,30	6,20	10,20	15,50	19,10	3,00	2,90
jul/13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ago/13	0,00	0,00	0,00	0,00	6,70	0,00	0,00	0,00	6,30	5,60
set/13	25,30	23,50	49,20	9,60	43,40	22,90	73,20	33,70	118,20	23,50
out/13	63,60	134,00	91,90	110,20	119,10	142,40	114,90	122,20	23,70	129,10
nov/13	223,90	192,90	166,40	122,20	197,30	179,90	193,70	231,30	255,50	140,00
dez/13	299,10	409,90	212,10	226,20	283,10	450,60	249,50	298,20	311,40	248,00
jan/14	77,70	153,70	171,20	80,80	124,00	102,50	45,20	65,30	76,70	101,70
fev/14	42,90	61,00	45,70	19,60	222,70	60,50	68,20	87,40	112,00	172,20
mar/14	139,90	65,90	93,20	129,70	147,70	205,70	207,10	204,50	192,60	183,20
abr/14	97,00	132,50	133,20	88,80	107,00	88,20	39,60	239,90	107,00	112,40
mai/14	0,00	0,00	5,20	2,90	1,20	0,00	0,00	4,00	10,20	0,00
jun/14	0,60	0,60	17,00	0,00	2,60	0,00	1,50	0,00	3,80	1,00
jul/14	16,40	17,10	35,40	54,60	36,80	23,00	8,80	65,30	48,60	34,20
ago/14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set/14	0,00	24,10	4,10	0,00	2,20	11,00	0,00	0,00	4,10	10,60
out/14	19,30	50,10	52,60	51,10	54,60	74,50	24,50	57,70	57,20	17,60
nov/14	197,60	331,30	214,80	236,30	171,56	320,10	161,49	306,80	333,90	248,10
dez/14	191,80	201,20	261,70	214,50	296,70	245,20	247,14	121,40	230,70	275,70

Anexo 6 - Dados de vazão utilizados na calibração do Modelo WEAP na área de estudo

Mês/Ano	Dados de vazão					
	Estações fluviométricas					
	42251000	42257000	42290000	42395000	42600000	42690001
jan/00	50,25	47,57	234,63	407,15	135,30	624,05
fev/00	47,41	58,27	228,96	384,91	176,10	676,96
mar/00	47,96	52,17	202,48	339,72	322,41	790,21
abr/00	26,34	29,44	99,51	170,92	89,92	341,71
mai/00	17,43	18,33	58,56	95,50	59,57	185,97
jun/00	13,03	13,82	44,05	71,57	47,21	136,01
jul/00	10,56	11,00	34,99	58,98	38,76	110,55
ago/00	8,60	8,50	28,49	46,79	30,58	85,68
set/00	10,76	9,93	36,30	57,69	37,05	106,58
out/00	6,05	5,87	21,15	36,28	23,68	62,43
nov/00	17,21	18,56	97,41	150,91	93,69	275,26
dez/00	31,42	44,09	135,54	220,96	144,84	448,88
jan/01	22,69	21,16	82,71	152,93	80,43	281,05
fev/01	11,34	11,54	34,20	68,30	47,79	129,26
mar/01	13,39	12,66	37,83	76,16	81,92	177,41
abr/01	8,79	8,47	24,69	52,00	44,14	107,41
mai/01	6,84	6,65	19,93	40,41	34,44	79,81
jun/01	5,51	5,18	16,07	32,86	26,32	63,73
jul/01	4,12	3,88	13,17	26,58	20,31	47,91
ago/01	3,34	2,70	12,09	24,04	15,39	38,45
set/01	3,35	3,65	12,74	27,87	15,84	44,95
out/01	4,90	4,31	18,92	36,66	22,81	63,39
nov/01	8,82	9,85	52,90	92,45	88,27	203,46
dez/01	19,55	22,01	87,75	127,98	88,87	240,90
jan/02	45,01	40,86	219,68	365,32	146,74	566,03
fev/02	58,32	51,80	256,60	402,89	158,08	591,11
mar/02	38,21	34,32	121,38	218,56	123,69	402,83
abr/02	20,73	19,55	58,12	100,92	63,04	200,90
mai/02	14,91	12,15	40,11	71,17	39,40	119,31
jun/02	11,57	8,91	29,15	53,15	31,57	89,29
jul/02	9,41	6,78	22,79	43,28	24,07	71,14
ago/02	6,98	4,80	17,37	33,24	17,48	51,04
set/02	6,83	4,71	20,75	38,22	16,03	51,05
out/02	4,28	2,75	11,08	24,66	14,83	32,25
nov/02	6,36	7,43	31,63	54,20	43,63	96,67
dez/02	22,03	18,91	82,32	125,32		236,45
jan/03	87,11	88,66	344,57	531,72	151,64	798,87
fev/03	57,96	53,94	211,18	365,38	87,67	565,27
mar/03	50,56	47,82	162,27	268,98	109,58	445,68
abr/03	34,80	40,66	114,50	190,86	95,52	349,73
mai/03	22,46	22,64	69,62	102,11	57,21	182,32

Mês/Ano	Dados de vazão					
	Estações fluviométricas					
	42251000	42257000	42290000	42395000	42600000	42690001
jun/03	16,58	17,00	50,10	71,63	39,54	131,80
jul/03	12,83	12,97	39,16	54,34	10,06	78,34
ago/03	10,13	10,66	33,01	44,12	9,68	60,20
set/03	7,93	9,64	26,83	40,97	8,48	54,04
out/03	6,50	9,65	20,40	34,96	6,70	44,88
nov/03	12,93	9,11	41,94	57,76	24,64	96,08
dez/03	23,53	17,20	77,23	115,11	59,45	181,66
jan/04	50,21	36,57	155,00	243,08	153,95	419,24
fev/04	110,85	117,55	461,38	662,79	546,68	1284,73
mar/04	103,39	94,84	362,63	639,53	394,91	1304,20
abr/04	80,19	60,27	265,18	457,28	273,73	869,80
mai/04	45,62	35,88	116,71	178,94	113,97	363,74
jun/04	31,49	24,10	84,03	117,40	79,34	239,27
jul/04	24,65	19,23	68,66	94,08	77,00	191,36
ago/04	18,35	14,47	50,22	71,27	63,04	154,12
set/04	13,42	10,62	35,35	53,65	62,68	121,71
out/04	10,97	9,92	32,89	47,50	81,82	120,71
nov/04	12,49	10,97	40,43	55,88	89,64	149,79
dez/04	45,81	29,79	137,97	201,81	174,86	450,54
jan/05	74,56	53,75	199,85	362,76	203,00	700,14
fev/05	81,34	75,77	270,12	472,37	-	957,05
mar/05	103,65	93,08	324,36	560,43	-	1196,22
abr/05	54,62	44,43	128,46	216,37	170,45	478,52
mai/05	34,65	28,64	86,77	127,66	87,94	266,10
jun/05	24,99	21,38	62,13	94,54	65,26	191,61
jul/05	18,92	16,76	49,27	73,72	70,86	161,10
ago/05	14,61	13,48	38,52	58,36	75,30	140,90
set/05	11,46	11,16	30,97	48,50	73,34	122,88
out/05	8,24	8,86	21,80	38,15	59,79	98,21
nov/05	22,39	19,41	83,97	125,22	136,88	264,87
dez/05	94,51	98,39	371,13	642,10	-	1287,99
jan/06	43,87	45,84	149,15	270,31	221,66	600,50
fev/06	43,43	36,99	121,98	203,14	99,36	357,92
mar/06	73,05	56,07	251,30	431,11	288,33	776,58
abr/06	55,92	43,90	153,31	268,44	214,33	566,04
mai/06	31,69	27,09	86,32	129,15	113,95	292,19
jun/06	23,18	19,99	63,94	93,62	84,96	209,95
jul/06	18,44	16,15	50,73	75,60	82,95	177,56
ago/06	14,20	13,07	38,44	60,87	86,92	156,78
set/06	12,31	11,26	36,37	54,17	67,71	135,18
out/06	16,33	17,10	63,76	97,01	72,90	202,26
nov/06	22,07	23,63	95,63	159,89	162,52	332,88
dez/06	72,89	77,80	373,59	626,53	-	1127,72

Mês/Ano	Dados de vazão					
	Estações fluviométricas					
	42251000	42257000	42290000	42395000	42600000	42690001
jan/07	121,77	126,79	465,60	748,91	269,20	1165,08
fev/07	127,81	159,30	532,38	818,93	484,35	1719,66
mar/07	69,24	52,98	170,26	315,76	215,28	671,07
abr/07	44,02	35,70	110,80	182,37	111,38	359,18
mai/07	31,38	25,94	81,39	126,05	94,47	264,88
jun/07	24,21	20,37	61,71	98,44	70,03	202,54
jul/07	19,25	16,45	49,81	79,68	68,49	171,08
ago/07	15,18	13,31	40,76	64,40	66,57	142,76
set/07	11,47	10,42	30,26	50,65	51,52	118,74
out/07	8,97	8,50	23,98	42,79	32,38	77,41
nov/07	11,18	11,24	41,61	59,66	35,31	106,20
dez/07	12,60	12,52	66,01	96,60	74,01	221,16
jan/08	14,81	14,15	75,17	121,75	118,61	260,67
fev/08	42,38	34,34	181,00	306,31	97,72	498,75
mar/08	59,31	46,00	225,53	396,23	226,43	709,76
abr/08	35,80	33,98	112,62	187,07	137,87	355,16
mai/08	21,25	19,65	68,16	102,69	71,92	201,85
jun/08	15,94	14,54	48,34	72,37	64,72	148,49
jul/08	12,47	11,10	38,03	57,07	56,28	118,81
ago/08	9,60	8,38	29,05	44,73	51,49	102,60
set/08	7,21	6,73	29,80	41,25	38,08	83,36
out/08	5,39	5,91	19,54	32,82	40,62	78,89
nov/08	8,09	8,10	34,88	49,78	53,47	115,03
dez/08	24,32	20,30	118,64	162,33	171,66	318,79
jan/09	40,55	35,27	208,10	371,24	173,96	657,80
fev/09	46,45	39,97	164,60	295,67	241,52	591,46
mar/09	30,75	26,10	118,91	192,13	86,18	323,33
abr/09	48,03	40,29	188,33	324,15	176,35	564,80
mai/09	23,54	20,10	74,46	108,44	88,06	256,02
jun/09	18,87	15,86	58,11	80,93	62,61	175,87
jul/09	13,76	11,65	44,65	63,29	58,33	144,21
ago/09	10,57	8,99	35,44	49,81	59,19	126,82
set/09	-	-	32,85	32,85	-	117,44
out/09	10,14	8,99	44,68	61,00	88,62	166,24
nov/09	11,92	8,84	50,08	71,33	149,75	211,44
dez/09	37,65	31,79	156,74	256,07	159,88	465,66
jan/10	40,21	33,99	180,77	314,01	134,90	520,87
fev/10	23,71	17,71	74,00	110,59	109,17	246,64
mar/10	38,51	25,35	116,64	177,75	192,30	433,32
abr/10	48,89	30,20	108,71	176,43	158,38	394,00
mai/10	23,22	14,60	55,59	79,54	67,78	175,18
jun/10	17,50	10,40	44,08	60,29	49,48	135,61
jul/10	12,94	7,50	36,03	47,11	38,66	106,70

Mês/Ano	Dados de vazão					
	Estações fluviométricas					
	42251000	42257000	42290000	42395000	42600000	42690001
ago/10	9,50	5,57	28,69	37,37	30,51	80,84
set/10	7,17	5,10	23,41	29,12	29,03	67,17
out/10	9,69	4,87	27,02	41,58	60,18	96,69
nov/10	20,25	14,73	85,85	133,08	73,27	227,90
dez/10	39,98	27,59	137,68	218,70	146,16	373,21
jan/11	86,60	79,55	383,84	585,46	248,66	991,51
fev/11	35,62	27,85	96,26	152,45	68,89	313,98
mar/11	107,10	105,40	362,60	620,64	-	1162,00
abr/11	67,26	51,13	164,78	317,40	181,73	740,78
mai/11	39,15	28,62	92,30	148,43	72,37	291,28
jun/11	27,78	20,41	64,15	105,54	63,56	210,51
jul/11	20,95	15,45	49,22	81,69	56,08	162,88
ago/11	15,55	11,30	35,33	62,33	52,30	128,49
set/11	11,69	8,41	25,31	48,35	41,06	97,75
out/11	14,88	10,93	41,92	69,71	62,88	156,71
nov/11	14,22	10,29	43,62	77,61	92,28	164,72
dez/11	50,15	41,44	239,45	384,09	197,85	762,35
jan/12	92,19	80,55	342,36	562,21	220,04	1002,77
fev/12	52,25	39,18	145,29	260,88	215,95	568,69
mar/12	33,64	25,95	93,43	164,31	54,85	284,74
abr/12	24,35	18,73	68,78	116,15	74,94	233,97
mai/12	19,24	14,68	47,23	83,87	64,56	176,62
jun/12	15,77	12,04	41,05	71,67	45,69	136,29
jul/12	10,87	8,26	28,74	52,20	43,31	111,51
ago/12	7,79	6,29	21,97	41,36	35,36	88,96
set/12	6,52	5,29	17,50	35,60	45,84	87,96
out/12	4,91	4,13	12,72	30,06	50,20	83,46
nov/12	25,53	19,58	96,72	179,58	109,13	333,41
dez/12	26,29	20,76	75,27	142,25	57,81	306,76
jan/13	43,39	31,23	121,14	201,78	134,29	368,44
fev/13	59,86	42,76	138,61	270,14	85,39	508,66
mar/13	41,95	33,64	113,42	202,48	90,49	309,53
abr/13	64,74	55,97	166,59	306,31	113,40	540,50
mai/13	31,94	26,65	65,87	109,59	53,96	211,33
jun/13	24,30	21,00	51,14	88,63	46,92	166,63
jul/13	16,34	14,20	34,25	59,80	36,37	110,54
ago/13	11,63	10,21	24,44	44,84	28,47	82,89
set/13	9,14	8,51	17,64	38,04	52,15	97,84
out/13	10,91	9,08	27,92	46,24	68,95	118,39
nov/13	12,34	11,25	39,73	63,76	78,97	125,92
dez/13	41,44	34,41	119,51	208,61	157,04	467,48
jan/14	23,74	23,32	65,66	117,80	63,11	233,00
fev/14	14,80	15,58	40,38	68,68	59,93	143,77

Mês/Ano	Dados de vazão					
	Estações fluviométricas					
	42251000	42257000	42290000	42395000	42600000	42690001
mar/14	17,30	16,70	49,56	81,70	78,99	208,04
abr/14	17,43	18,88	49,89	92,96	100,93	221,35
mai/14	9,74	11,83	24,20	46,80	49,39	115,82
jun/14	6,85	8,26	14,72	34,69	44,69	95,18
jul/14	5,40	6,60	10,91	28,77	37,75	78,34
ago/14	3,79	5,02	13,15	24,24	40,13	79,79
set/14	2,66	3,82	-	17,65	46,42	78,19
out/14	-	1,94	-	-	43,70	62,44
nov/14	8,35	4,53	42,33	67,14	64,47	142,95
dez/14	20,46	16,89	108,07	171,84	148,15	353,91