

**EDITAL 05/2017**

**Projeto de Cooperação Técnica Internacional**

**PROJETO UNESCO 914BRZ2016**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**PRODUTO 4 – DOCUMENTO TÉCNICO DO BALANÇO HÍDRICO E  
AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS PARA BACIA DO ALTO DESCOBERTO  
POR UH**

Contrato: ADASA/UNESCO  
914BRZ2016 – Edital 05/17

Produto: 04/06

Data: FEVEREIRO 2018

Consultor: Patrícia Monteiro CREA 7675/D – MT  
Equipe executora: Sara Ferrigo

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

## Índice

1 -	APRESENTAÇÃO .....	3
2 -	OBJETIVOS.....	4
3 -	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1 -	Hidrograma .....	5
3.1.1 -	Escoamento Superficial .....	6
3.1.2 -	Escoamento Sub-superficial .....	6
3.1.3 -	Escoamento de Base.....	6
3.2 –	Modelo SWAT .....	7
3.2.1 -	Visão Geral .....	7
3.2.2 -	Estrutura do modelo SWAT .....	10
3.2.3 -	Caracterização e equacionamento .....	11
3.2.4 -	Parâmetros do Modelo SWAT .....	15
3.3 -	Calibração de modelos hidrológicos.....	24
4 -	Balanço Hídrico das bacias monitoradas .....	28
4.1 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO DESCOBERTO.....	30
4.2 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO chapadinha.....	38
4.3 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO olaria .....	47
4.4 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO rodeador.....	55
4.5 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO Córreo capão comprido .....	64
4.6 -	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO Córrego ribeirão das pedras .....	73
5 -	estudos de disponibilidade e demanda para bacias não monitoradas .....	83
5.1 –	ESTUDO BACIA DO BURITI-CHATO DF.....	84
5.2–	ESTUDO BACIA DO ROCINHA DF.....	85
5.3–	ESTUDO BACIA DO CÓRREGO DO MEIO .....	87
6 -	RECOMENDAÇÕES .....	89
7 -	Referências .....	90

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**1 - APRESENTAÇÃO**

O presente documento tem como objeto o **Produto 4 - Documento técnico do balanço hídrico por UH e Avaliação de Cenários**. Este é produto de um acordo de cooperação assinado entre a UNESCO e a ADASA, dentro do **Projeto 914BRZ2016**, Edital no. 005/2017 – Republicação.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

O presente estudo tem como objetivo realizar e apresentar o balanço hídrico elaborado para a sub-bacia do Alto Descoberto, com base no estudo de demanda realizado.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atender o objetivo geral, são necessárias as seguintes etapas:

- Avaliar a modelagem inicial do modelo SWAT quanto ao desempenho do modelo com base em uma estimativa inicial dos parâmetros;
- Avaliar a modelagem inicial do modelo SWAT quanto ao desempenho do modelo com base em uma estimativa inicial dos parâmetros e utilizando dados de uso de água equivalente às outorgas de uso;
- Caracterizar e analisar o fluxo de base e o volume de descarga dos reservatórios subterrâneos mensalmente;
- Determinar os parâmetros mais sensíveis para as bacias hidrográficas em estudo pela análise de sensibilidade;
- Computar o balanço das unidades hidrográficas.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

### 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 - HIDROGRAMA

Hidrograma é uma representação gráfica da variação quantitativa do fluxo de água (descarga) em relação ao tempo (ASCE, 1996).

A distribuição da vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (Tucci, 2012). Então o hidrograma reflete a influência desses processos hidrológicos, como a precipitação antecedente, infiltração, evaporação, evapotranspiração, à bacia hidrográfica.

Verifica-se que após o início da chuva, existe um intervalo de tempo em que o nível começa a elevar-se. Esse tempo de atraso de resposta deve-se às perdas iniciais por interceptação vegetal e depressões do solo, além do próprio retardo de resposta da bacia devido ao tempo de deslocamento da água na mesma.

Mosley e McKerchar (1992) definem que a vazão de um rio é gerada pela combinação de três componentes básicos: (1) fluxo de base (fluxo de água proveniente do subsolo); (2) fluxo sub-superficial (interflow - escoamento rápido sub-superficial por poros e interfaces nas camadas superficiais de solo); e (3) fluxo superficial (ou escoamento sobre solo saturado, ou sobre solos pouco permeáveis). A soma do escoamento superficial com o escoamento sub-superficial compõe o escoamento rápido. Num hidrograma, o escoamento rápido e o escoamento de base são convencionalmente separados. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o hidrograma descrito, tipicamente observado após um evento de chuva.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

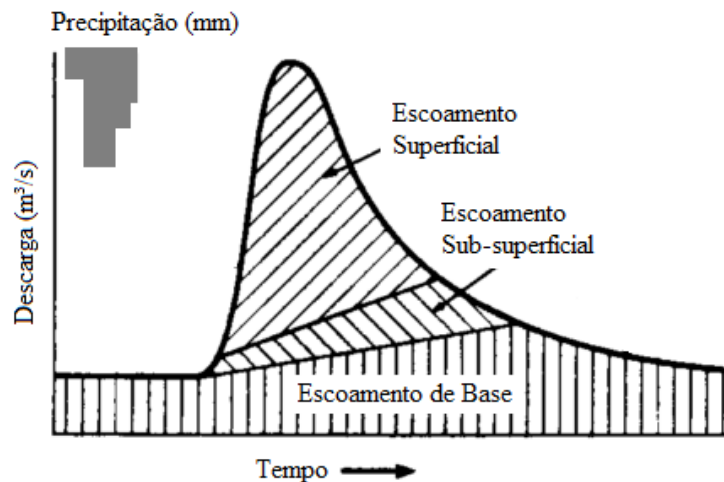


Figura 1 - Hidrograma idealizado com a separação das fontes de deflúvio em rios. Adaptado de Mosley e McKerchar (1992).

### 3.1.1 - Escoamento Superficial

Escoamento superficial constitui uma porção da taxa de fornecimento de água para a superfície que não é nem absorvida pelo solo, nem se acumula na sua superfície, mas que corre encosta abaixo até o próximo canal de drenagem.

O escoamento superficial começa tipicamente como um fluxo de camada, ou seja, uma condição inicial laminar, mas como ele acelera e ganha poder erosivo, percorre a superfície do solo criando canais (Hillel, 1998).

### 3.1.2 - Escoamento Sub-superficial

O escoamento sub-superficial, também chamado de interfluxo, é a porção da água infiltrada ao solo, mas que escoam lateralmente, através deste, na direção da declividade quando há a presença de camadas inferiores menos permeáveis.

Para o escoamento sub-superficial ocorrer são necessários espaços vazios interconectados, o que varia de acordo com os arranjos das partículas do solo e a profundidade.

### 3.1.3 - Escoamento de Base

Os cursos de água perenes só são capazes de manter seu escoamento em períodos de seca devido ao escoamento de base. A origem da água para esse tipo de escoamento é o

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

evento de chuva, do mesmo modo que o escoamento rápido. Contudo, o fato dessa água ter sido armazenada no subsolo isso implica em uma resposta de atraso ao curso de água com relação ao evento de chuva. Sendo assim, o rio perene poderá ser mantido em períodos de estiagem, graças ao reservatório de água que se formou no subsolo ao longo dos anos (Mosley e Mckerchar, 1992).

### **3.2 – MODELO SWAT**

#### **3.2.1 - Visão Geral**

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo de bacia hidrográfica, semidistribuído com base em tempo contínuo e opera em passo diário. O objetivo no desenvolvimento do modelo foi para prever e avaliar os efeitos do manejo e de mudanças no uso do solo sobre os recursos hídricos, principalmente em bacias hidrográficas rurais não monitoradas (Arnold *et al.* 1998).

O desenvolvimento do SWAT é uma continuação da experiência da modelagem da USDA-ARS que se estendeu por um período de mais de 30 anos (Gassman *et al.* 2007b). A primeira versão do SWAT foi lançada no início de 1990 e o primeiro relato de aplicação na literatura científica foi de Engel *et al.*, (1993).

Srinivasan e Arnold (1994) publicaram a primeira interface do SWAT com um sistema de informações geográfica (SIG) e Arnold *et al.* (1998) descreveram uma visão geral e os principais componentes do modelo. Até o ano de 2000 foram desenvolvidas mais quatro versões do modelo. Gassman *et al.* (2007) incluindo uma descrição mais detalhada da versão 2005, apresentou um espectro de mais de 250 aplicações do SWAT realizadas em todo o mundo. Em 2009, foi lançada mais uma versão do modelo e até 2010 só o Brasil já registrava mais de 70 trabalhos relacionados à aplicação do modelo nas mais diferentes regiões brasileiras (Garbossa *et al.* 2011).

Listam-se, a seguir, alguns aspectos que motivaram o emprego desse modelo para o alcance dos objetivos propostos neste trabalho:

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

- O modelo SWAT foi originalmente concebido para auxiliar gestores de recursos hídricos a prever e avaliar o impacto do uso, e manejo do solo em bacias não monitoradas.
- O modelo é de domínio público e vem sendo amplamente utilizado em diversas regiões para realizar previsões das condições hídricas de bacias hidrográficas com base em cenários de uso e manejo dos solos.
- O modelo SWAT possui ampla capacidade de trocas de informações e experiências pelos usuários do SWAT, havendo diversos grupos de discussão da ferramenta na internet, permitindo um aprimoramento contínuo.
- O SWAT possibilita o seu processamento a partir de uma base de dados em GIS, o que facilita a confirmação de cenários de previsão, bem como a simulação de novos cenários à medida que os mapas e dados na base em GIS vão sendo atualizados.
- O modelo hidrológico SWAT permite a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas com base em cenários que podem considerar o impacto do uso e ocupação do solo, bem como os reflexos da prospecção de recursos hídricos e mudanças climáticas sobre as vazões superficiais, fluxos de base, qualidade da água, transporte de sedimentos e transporte de químicos agrícolas.
- Uma das vantagens do modelo, no que se refere a sua aplicação para construção de cenários de uso e ocupação do solo, consiste na possibilidade da sua integração com sistemas de informações geográficas (SIG's) por meio da ferramenta ArcSWAT, habilitada como uma extensão no software ArcGis. Tendo em vista que é possível estruturar o modelo no ambiente GIS, pode-se fazer uso de outros recursos de geoprocessamento disponíveis no software ArcGis, o que facilita a inserção e atualização de dados disponibilizados em SIG's.
- Como informações de entrada o modelo requer os seguintes dados: dados diários meteorológicos (precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar e umidade relativa do ar), mapa de uso do solo, mapa



**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

pedológico, o modelo digital do terreno, além dos dados fluviométricos observados.

Outra propriedade significativa do modelo SWAT é a sua extensa documentação teórica, além do manual do usuário e o documento referente aos *inputs* e *outputs* do modelo. Ainda, o site do modelo disponibiliza uma compilação de todos os artigos e publicações relacionadas a sua aplicação, reunindo atualmente, mais de 2400 trabalhos.

O BASINS (*Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources*) é um sistema de avaliação da qualidade da água das bacias hidrográficas, que integra o sistema de informação geográfica (SIG), dados de bacias hidrográficas e ferramentas de modelagem para avaliação ambiental em um único pacote (EPA, 2013).

Notadamente, pelo fato dos modelos SWAT e HSPF fazerem parte do BASINS, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de comparar a eficiência dos modelos frente à simulação da vazão, sedimentos e nutrientes.

Im *et al.*, (2003) compararam os resultados obtidos por ambos modelos quando aplicados na bacia do córrego Pelecat, de 12,048 hectares, no Estado da Virgínia (EUA). Os resultados indicaram que ambos os modelos foram capazes de simular satisfatoriamente a vazão, sedimentos e nutrientes durante o período de simulação. Considerando-se as diferenças de cargas anuais e a tendência de cargas mensais, o modelo HSPF simulou a hidrologia e os componentes da qualidade da água de forma mais precisa do que SWAT em todos os locais de monitoramento dentro da bacia hidrográfica. No entanto, os autores concluem que o modelo HSPF é menos amigável do que o modelo SWAT, devido a inúmeros parâmetros necessários para controlar e representar o ciclo hidrológico e o transporte de sedimentos e nutrientes.

Nasr *et al.*, (2007) compararam os modelos SWAT, HSPF e SHETRAN/GOPEC na capacidade de simular a produção de fósforo proveniente de áreas agrícolas em três bacias hidrográficas na Irlanda. O modelo HSPF proporcionou melhor simulação da descarga líquida média diária, enquanto o SWAT apresentou os melhores resultados de para cargas totais de fósforo em nível diário.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

A eficiência dos modelos SWAT e HSPF também foram testadas por Saleh e Du, (2004) para uma bacia localizada na intensa região produtora de laticínios no Estado do Texas (EUA). O resultado do modelo foi calibrado para o fluxo em nível diário, sedimentos e nutrientes medidos em cinco locais dentro da bacia. O modelo HSPF descreveu melhor a vazão e os sedimentos nos períodos de calibração e verificação comparativamente ao SWAT. No entanto, o SWAT demonstrou ser um melhor indicador de carga de nutrientes.

**3.2.2 - Estrutura do modelo SWAT**

De acordo com Gassman *et al.* (2007) a origem do SWAT pode ser atribuída a modelos desenvolvidos anteriormente pelo USDA-ARS, incluindo o CREAMS (Knisel and Nicks 1980), o GLEAMS (Leonard *et al.* 1987) e o EPIC (Williams, 1990 e Izaurrealde *et al.*, 2006 *apud* Gassman *et al.*, 2007). O modelo SWAT atual é um descendente direto do modelo *Simulator for Water Resources in Rural Basins* (SWRRB) (Arnold e Williams 1987), juntamente com outros modelos, como o ROTO (*Routing Outputs to Outlet*) (Arnold *et al.*, 1995 *apud* Gassman *et al.*, 2007), QUAL2E (Brown e Barnwell 1987) e CFARM (*carbon cycling routine*) (Kemanian *et al.* 2011) além de componentes chave, incluindo um gerador de clima, uma rotina de transporte de sedimentos e um submodelo de água subterrânea. Modificações adicionais vêm sendo feitas no modelo SWAT, como: a expansão de rotinas e capacidades de transporte de poluentes em reservatórios, pequenos lagos, áreas alagáveis; a inclusão de fontes pontuais de poluição e o efeito de tanques sépticos; a admissão de rotinas subsidiárias pelo método de infiltração Green-Ampt (Green e Ampt, 1911); e a rotina de contabilidade temporal, na adoção de diferentes práticas de manejo. A Figura 2 representa o acoplamento e junção desses diversos componentes e modelos.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

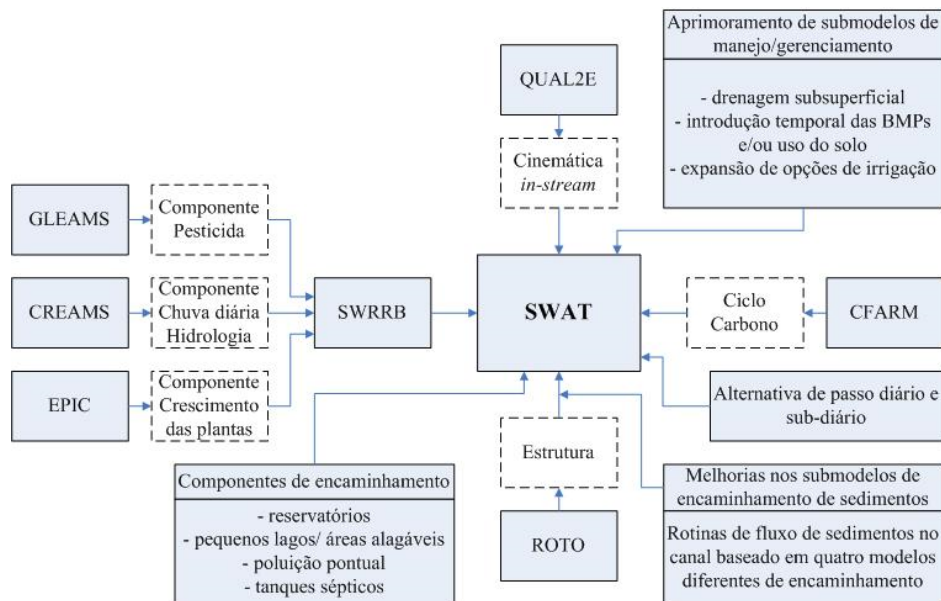


Figura 2 - Estrutura do modelo SWAT (Adaptado de Gassman *et al.*, 2007 e Arnold *et al.*, 2012).

### 3.2.3 - Caracterização e equacionamento

Os principais componentes do modelo incluem propriedades do clima, hidrologia, temperatura do solo, crescimento das plantas, nutrientes, sedimentos, pesticidas, bactérias, patógenos e manejo solo.

No SWAT a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias, que podem ser subdivididas em unidades de resposta hidrológica (HRUs – *Hydrologic Response Units*) que consistem em áreas homogêneas de uso do solo, gestão, declividade e tipo de solo. Implícito no conceito da HRU é o pressuposto de que não há interação entre HRUs em uma sub-bacia. As cargas (escoamento, sedimentos, nutrientes, etc.) de cada HRU são calculadas separadamente e depois somadas em conjunto para determinar as cargas totais da sub-bacia. Se a interação de uma área de uso do solo com outra é importante, em vez de definir os domínios uso do solo como HRUs eles devem ser definidos como sub-bacias. É só em nível de sub-bacia que as relações espaciais podem ser especificadas. O benefício das HRUs é o aumento da precisão que contribuem para a predição de cargas a partir da sub-bacia. O crescimento e desenvolvimento de plantas podem ser muito diferentes entre as espécies. Quando a diversidade da cobertura vegetal dentro de uma sub-bacia é contabilizada, o valor líquido de

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

escoamento que entra no canal principal da sub-bacia pode ser muito mais preciso (Arnold *et al.*, 2012)

O balanço hídrico é a força motriz por trás de todos os processos do SWAT porque impacta o crescimento da planta e do movimento dos sedimentos, nutrientes, pesticidas e agentes patogênicos. A simulação da hidrologia das bacias hidrográficas é separada em fase terrestre, que controla a quantidade de água, sedimentos, nutrientes e pesticidas para o canal principal em cada sub-bacia, e em fase aquática (*in-stream*), que é o movimento da água, sedimentos, etc., através da rede de canais da bacia para o seu exutório.

Os processos hidrológicos simulados pelo SWAT incluem a interceptação e armazenamento nas copas das árvores, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, fluxo lateral, drenagem subsuperficial, redistribuição da água no perfil do solo, o uso de água através de bombeamento (se houver), fluxo de retorno e recarga por infiltração de águas superficiais, lagoas, canais e tributários.

As descrições completas dos processos e as equações utilizadas pelo modelo são documentadas no manual teórico do SWAT em Neitsch *et al.* (2009) e em Arnold *et al.* (1998).

A fase terrestre do ciclo hidrológico é baseada na equação do balanço hídrico:

$$SW_1 = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

em que,  $SW_1$  é o quantidade final de água no solo (mm),  $SW_0$  é a quantidade inicial de água no solo (mm),  $t$  é o tempo (dias),  $R_{day}$  é a precipitação acumulada no dia  $i$  (mm),  $Q_{surf}$  é o escoamento superficial acumulado no dia  $i$  (mm),  $E_a$  é a evapotranspiração acumulada no dia  $i$  (mm),  $w_{seep}$  é a quantidade de percolação e de desvio de fluxo que sai do perfil do solo no dia  $i$  (mm), e  $Q_{gw}$  é a quantidade do fluxo de retorno no dia  $i$  (mm).

O escoamento superficial ( $Q_{surf}$ ) pode ser estimado por dois métodos: o procedimento SCS *Curve Number* (SCS, 1972) e o método de infiltração de Green e Ampt (1911).

A evapotranspiração ( $E_a$ ) inclui a evaporação da água interceptada pelo dossel das plantas, a transpiração, a sublimação da neve e a evaporação do solo. Três métodos estão incorporados no SWAT e podem ser escolhidos para a simulação da evapotranspiração: o

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

método de Penman-Monteith (Monteith, (1965), Allen e ASCE, (1987). Allen *et al.*, (1989)), o método de Priestley-Taylor (Priestley e Taylor 1972) e o método de Hargreaves (Hargreaves *et al.*, 1985). O modelo também pode ler valores de evapotranspiração em nível diário, caso o usuário preferir aplicar um método de evapotranspiração potencial diferente.

A percolação ( $w_{seep}$ ), dada como a transferência de água do solo para o reservatório de água subterrânea, somente ocorre se a quantidade de água exceder a capacidade de campo para aquela camada e a camada inferior não estiver saturada. Dessa maneira, a quantidade de água percolada num determinado tempo de propagação na camada do solo, é justamente a quantidade.

A água que se move passando da menor profundidade do perfil do solo por percolação, entra e flui através da zona vadosa antes de se tornar recarga do aquífero raso e/ou profundo. Esse atraso irá depender da profundidade do lençol e das propriedades hidráulicas e de formações geológicas das zonas vadosa e subterrânea. Ao chegar no aquífero raso, o balanço hídrico é dado pela equação:

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchr,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (2)$$

em que,  $aq_{sh,i}$  é a quantidade de água armazenada no aquífero raso no dia  $i$  (mm),  $aq_{sh,i-1}$  é a quantidade de água armazenada no aquífero raso no dia  $i-1$  (mm),  $w_{rchr,sh}$  é a quantidade de recarga no aquífero raso no dia  $i$  (mm),  $Q_{gw}$  é o fluxo de águas subterrâneas, ou fluxo de base, para o canal principal no dia  $i$  (mm),  $w_{revap}$  é a quantidade de água em movimento na zona do solo em resposta às carências de água no dia  $i$  (mm), e  $w_{pump,sh}$  é a quantidade de água retirada do aquífero raso por bombeamento no dia  $i$  (mm).

O fluxo de base ( $Q_{gw}$ ) é parte tanto do balanço hídrico da fase terrestre quanto do aquífero raso.

A resposta do estado estacionário de percolação da água para recarga é dada de acordo com Hooghoudt, (1940):

$$Q_{gw} = \frac{8000 \times K_{sat}}{L_{gw}^2} \times h_{wtbl} \quad (3)$$

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

em que,  $Q_{gw}$  é o fluxo de águas subterrâneas, ou fluxo de base, para o canal principal no dia  $i$  (mm),  $K_{sat}$  é a condutividade hidráulica do aquífero (mm/dia),  $L_{gw}$  é a distância da sub-bacia que divide o sistema de águas subterrâneas para o canal principal (m), e  $h_{wtbl}$  é a altura do lençol freático (m).

As variações do lençol freático devido à resposta de estado não estacionário do fluxo de águas subterrâneas para recarga periódica são calculadas por (Smedema e Rycroft, 1983):

$$\frac{dh_{wtbl}}{dt} = \frac{w_{rchrq,sh} - Q_{gw}}{800 \times \mu} \quad (4)$$

em que  $\frac{dh_{wtbl}}{dt}$  é a mudança na altura do lençol freático com o tempo (mm/dia),  $w_{rchrq,sh}$  é a quantidade de recarga do aquífero raso no dia  $i$  (mm H<sub>2</sub>O),  $Q_{gw}$  é o fluxo de água subterrânea para canal principal no dia  $i$  (mm), e  $\mu$  é o rendimento específico do aquífero superficial (coeficiente de armazenamento) (m/m).

Partindo do princípio de que a variação do fluxo de águas subterrâneas é linearmente relacionada com a taxa de variação da altura do lençol freático, as equações 32 e 33 podem ser combinadas, obtendo:

$$\frac{dQ_{gw}}{dt} = 10 \times \frac{K_{sat}}{\mu \times L_{gw}^2} \times (w_{rchrq,sh} - Q_{gw}) = \alpha_{gw} \times (w_{rchrq,sh} - Q_{gw}) \quad (5)$$

em que,  $Q_{gw}$  é o fluxo de água subterrânea para o canal principal no dia  $i$  (mm),  $K_{sat}$  é a condutividade hidráulica do aquífero (mm/dia),  $\mu$  é o rendimento específico do aquífero raso (m/m),  $L_{gw}$  é a distância da divisão da sub-bacia até o sistema de águas subterrâneas para o canal principal (m),  $w_{rchrq,sh}$  é a quantidade de recarga do aquífero raso no dia  $i$  (mm) e  $\alpha_{gw}$  é a constante de recessão do fluxo de base ou constante de proporcionalidade.

Integrando a equação e reordenando para resolver  $Q_{gw}$  obtém-se:

$$Q_{gw,i} = Q_{gw,i-1} \times \exp[-\alpha_{gw} \times \Delta t] + w_{rchrq,sh} \times (1 - \exp[-\alpha_{gw} \times \Delta t]) \quad (6)$$

$$se \ aq_{sh} > aq_{shthr,q}$$

$$Q_{gw,i} = 0 \ se \ aq_{sh} \leq aq_{shthr,q} \quad (7)$$

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

em que  $Q_{gw,i}$  é o fluxo da água subterrânea para o canal principal no dia  $i$  (mm),  $Q_{gw,i-1}$  é o fluxo da água subterrânea para o canal principal no dia  $i-1$  (mm),  $\alpha_{gw}$  é a constante de recessão do escoamento de base,  $\Delta t$  é o intervalo de tempo (dia),  $w_{rchr,sh}$  é a quantidade de recarga do aquífero raso no dia  $i$  (mm),  $aq_{sh}$  é o limite do nível de água no aquífero raso para que possa ocorrer a contribuição das águas subterrâneas para o canal principal (mm).

Porém quando o aquífero raso não recebe nenhuma recarga o cálculo do fluxo de água subterrânea para o canal principal é simplificado para:

$$Q_{gw} = Q_{gw,0} \times \exp[-\alpha_{gw} \times t] \text{ se } aq_{sh} > aq_{shthr,q} \quad (8)$$

$$Q_{gw,i} = 0 \text{ se } aq_{sh} \leq aq_{shthr,q} \quad (9)$$

em que,  $Q_{gw,0}$  é o fluxo da água subterrânea para o canal principal no início da recessão e  $t$  é o tempo decorrido desde o início da recessão (dias).

#### **3.2.4 - Parâmetros do Modelo SWAT**

O SWAT é um modelo abrangente e exige uma diversidade de informações para ser executado. Este item fornece uma visão geral dos parâmetros de entrada do modelo e levanta os principais parâmetros a serem considerados na simulação da vazão e, posteriormente, utilizados na análise de sensibilidade e calibração.

No modelo as entradas são organizadas por tema e são enfatizadas para diferenciar as entradas obrigatórias de entradas opcionais.

O manual Input e Output do modelo (Arnold et al. 2012) se concentra em ajudar o usuário na identificação de entradas que devem ser definidas para o seu conjunto de dados em particular. O manual lista as variáveis por arquivo e discute métodos utilizados para medir ou calcular os valores para os parâmetros de entrada.

Os arquivos de entrada para o SWAT são definidos em um dos diferentes níveis de detalhe: bacia hidrográfica, sub-bacia ou HRU. Características únicas como reservatórios ou fontes pontuais devem ter dados de entrada fornecidos para cada recurso individual incluído na simulação de bacias hidrográficas.

Os níveis de entradas de bacias hidrográficas são usados para modelar processos em toda a bacia hidrográfica. Por exemplo, o método selecionado para modelar a

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

evapotranspiração potencial será usado em todas as HRUs na bacia. O nível de entradas por sub-bacia são as entradas ligadas com o mesmo valor para todas as HRUs na sub-bacia. Pelo motivo de existir um *reach* por sub-bacia, os dados de entrada para os canais principais são definidos no nível de sub-bacia também. Um exemplo de dados em nível de sub-bacia é precipitação e a temperatura. Entradas em nível de HRU são entradas que podem ser definidas em valores únicos para cada HRU na bacia. Um exemplo de uma entrada HRU é o cenário de manejo.

Os arquivos de entrada para o SWAT incluem o que se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 – Overview dos arquivos de entrada do modelo SWAT.

file.cio (Arquivo em nível de Bacia)	<i>Master watershed file</i> . Este arquivo obrigatório contém os nomes dos arquivos em nível de bacias hidrográficas e os parâmetros relacionados para impressão.
.fig (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de configuração de bacias hidrográficas. Este arquivo obrigatório define a rede de rotas na bacia e lista os nomes dos arquivos de entrada para os diferentes objetos na bacia.
.bsn (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada sobre a bacia. Este arquivo obrigatório define valores ou opções usadas para modelar processos físicos uniformemente sobre toda a bacia hidrográfica.
.pcp (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de precipitação. Este arquivo opcional contém dados de precipitação medidos diariamente para uma ou algumas estações de medição. Até 18 arquivos de precipitação podem ser usados em cada simulação e cada arquivo de dados pode conter até 300 estações. Os dados para uma estação em particular é atribuído a uma sub-bacia no arquivo de entrada de sub-bacia (.sub).
.tmp (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de temperatura. Este arquivo opcional contém dados diários medidos de temperaturas máximas e mínimas para uma ou mais estações de medição. Até 18 arquivos de temperatura podem ser utilizados em cada simulação e cada arquivo pode conter dados de até 150 estações. Os dados para uma estação em particular é atribuído a uma sub-bacia no arquivo de entrada de sub-bacia (.sub).
.slr (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de radiação solar. Este arquivo opcional contém radiação solar diária para uma ou mais estações de medição. O arquivo de radiação solar pode armazenar dados de até 300 estações. Os dados para uma estação em particular é atribuído a uma sub-bacia no arquivo de entrada de sub-bacia (.sub).
.wnd (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de velocidade do vento. Este arquivo opcional contém velocidade do vento média diário de uma ou mais estações de medição. O arquivo da velocidade do vento pode armazenar dados de até 300 estações. Os dados para



**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

	uma estação em particular é atribuído a uma sub-bacia no arquivo de entrada de sub-bacia (.sub).
.hmd (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de umidade relativa. Este arquivo opcional contém valores diários de umidade relativa para uma ou mais estações de medição. O arquivo de umidade relativa do ar pode armazenar dados de até 300 estações. Os dados para uma estação em particular é atribuído a uma sub-bacia no arquivo de entrada de sub-bacia (.sub).
.pet (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de evapotranspiração potencial. Este arquivo opcional contém valores diários de PET para a bacia hidrográfica.
.cst (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de previsão do tempo. Este arquivo opcional contém os dados estatísticos necessários para gerar dados climáticos diários representativos para as sub-bacias durante o período da previsão.
.cal (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de entrada de autocalibrarão. Este arquivo opcional contém os dados necessários para operar os algoritmos da autocalibrarão.
crop.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Banco de dados da Cobertura do solo / crescimento da planta. Este arquivo obrigatório contém os parâmetros para o crescimento das plantas de todas as coberturas do solo na bacia.
till.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo do banco de dados de preparo do solo. Este arquivo obrigatório contém informações sobre a quantidade e profundidade de mistura causada por operações de preparo do solo simuladas na bacia.
pest.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de banco de dados de pesticidas. Este arquivo obrigatório contém informações sobre a mobilidade e degradação dos pesticidas simulados na bacia.
fert.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de banco de fertilizantes. Este arquivo obrigatório contém informações sobre o conteúdo nutricional de todos os fertilizantes e adubos simulados na bacia.
urban.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de banco de dados urbano. Este arquivo obrigatório contém informações sobre a acumulação/lavagem de sólidos em áreas urbanas simuladas na bacia.
septic.dat (Arquivo em nível de Bacia)	Arquivo de banco de dados séptico. Este arquivo contém informações sobre os sistemas sépticos.
.sub (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada da Sub-bacia. Este arquivo é obrigatório para cada sub-bacia e define as entradas climáticas, os atributos dos canais tributários, bem como o número e os tipos de HRUs na sub-bacia.
.wgn (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada do gerador climático. Este arquivo obrigatório contém os dados estatísticos necessários para gerar dados climáticos diários representativos para uma sub-bacia.
.pnd (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada de <i>Ponds/Wetlands</i> . Este arquivo opcional contém informações para represamentos de água localizados dentro de uma sub-bacia.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

.wus (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada do uso da água. Este arquivo opcional contém informações sobre o consumo e uso da água em uma sub-bacia.
.rte (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada do canal principal. Este arquivo obrigatório contém parâmetros que regem o movimento da água e dos sedimentos no canal principal de uma sub-bacia.
.sep (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada séptico. Este arquivo opcional contém informações de sistemas sépticos.
.wwq (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada da qualidade da água da bacia hidrográfica. Este arquivo opcional contém parâmetros usados para modelar transformações nos canais principais pelo QUAL2E.
.swq (Arquivo em nível de Sub-bacia)	Arquivo de entrada da qualidade da água. Este arquivo opcional contém parâmetros utilizados para modelar pesticidas e transformações de nutrientes no canal principal da sub-bacia pelo modelo QUAL2E.
.hru (Arquivo em nível de HRU)	Arquivo de entrada de HRU. Arquivo necessário para os parâmetros em nível de HRU. Arquivo <i>Catch-all</i>
.mgt (Arquivo em nível de HRU)	Arquivo de entrada de manejo. Este arquivo obrigatório contém cenários de manejo e especifica a cobertura do solo simulada na HRU.
.sol (Arquivo em nível de HRU)	Arquivo de entrada do solo. Este arquivo obrigatório contém informações sobre as características físicas do solo na HRU.
.chm (Arquivo em nível de HRU)	Arquivo de entrada de química do solo. Este arquivo opcional contém informações sobre os nutrientes iniciais e os níveis de pesticidas no solo na HRU.
.gw (Arquivo em nível de HRU)	Arquivo de entrada de águas subterrâneas. Este arquivo obrigatório contém informações sobre os aquíferos raso e profundo na sub-bacia. Sendo que usos de solo diferem em sua interação com o aquífero raso, as informações deste arquivo de entrada permitem variar em nível de HRU.
.res (Arquivo de reservatório)	Arquivo de entrada do reservatório. Este arquivo opcional contém parâmetros usados para modelar o movimento da água e do sedimento através de um reservatório.
.lwq (Arquivo de reservatório)	Arquivo de entrada da qualidade da água do lago. Este arquivo opcional contém parâmetros usados para modelar o movimento de nutrientes e pesticidas através de um reservatório.
rechour.dat recday.dat recmon.dat recyear.dat reccnst.dat (Arquivo de fonte pontual)	Arquivos de entrada das fontes pontuais. Esses arquivos opcionais contém informações sobre as cargas para a rede de canais a partir de uma fonte pontual. O tipo de arquivo usado para armazenar os dados depende de como os dados são resumidos (horária, diária, mensal, anual, ou média anual).

Dentro desses arquivos de entrada há diversos parâmetros que devem ser caracterizados para a área de estudo. A Tabela 2 contém alguns parâmetros que influenciam

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

na simulação da vazão e podem ser utilizados neste estudo durante os processos de análise de sensibilidade e calibração do modelo (Arnold et al. 2012).

Tabela 2 - Principais parâmetros influentes no processo de simulação da vazão.

Parâmetro	Descrição / Função
CN2	Curva número na condição II: Esse parâmetro é importante no cálculo do escoamento superficial quando utilizado o método SCS <i>Curve Number</i> para seu cálculo. O CN é um número adimensional e é obtido em função da permeabilidade, do tipo de solo, do uso e da condição antecedente de umidade no solo. Ou seja, os valores de deflúvio na bacia são proporcionais ao parâmetro CN.
ALPHA_BF	Constante de recessão do fluxo de base: Esse parâmetro é um indicador direto da resposta do fluxo subterrâneo para as mudanças na recarga. Quanto maior o valor desse parâmetro maior será a recarga do aquífero e menor o fluxo de base. Os valores variam 0,1 - 0,3 para solos com a resposta lenta para recarga e 0,9 - 1,0 para solos com uma resposta rápida.
GW_DELAY	Intervalo de tempo para a recarga do aquífero: Esse parâmetro é importante no cálculo da recarga do aquífero e é dependente da formação geológica. O GW_DELAY é inversamente proporcional a recarga.
GWQMN	Profundidade limite de água no aquífero raso necessária para o fluxo de retorno ocorrer: Quanto maior o valor desse parâmetro uma porção maior do fluxo de base é retardada. Ou seja, para valores baixos desse parâmetro é produzido mais fluxo de base e um alto fluxo fluvial. O fluxo das águas subterrâneas para o canal é permitido somente se a profundidade da água no aquífero raso for igual ou maior do que o GWQMN.
GW_REVAP	Coefficiente de ascensão da água à zona não saturada: esse parâmetro é designado como uma constante de proporcionalidade para o cálculo da quantidade máxima de água que se move no solo em resposta às deficiências de água.
ESCO	Fator de compensação de evaporação do solo: É um parâmetro importante no processo de evapotranspiração. Os valores desse parâmetro representam um percentual aplicado à evaporação da camada superior do solo, de modo que percentuais elevados significam maior evaporação na camada superior do solo.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Parâmetro	Descrição / Função
SOL_AWC	Capacidade de água disponível no solo: Esse parâmetro é importante no processo de movimentação da água no solo e é utilizado para calcular o conteúdo de água no solo disponível para a vegetação. É dado pela diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha.
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada do solo: É um parâmetro influente no processo de movimentação da água no solo e é necessário para calcular o tempo de percolação da água numa dada camada do solo. O fluxo de base aumenta quando esse parâmetro está entre valores baixos e médios e diminui quando o parâmetro está entre médio e alto.
SOL_BD	Densidade aparente do solo: A densidade do solo expressa a relação entre a massa das partículas sólidas e o volume total do solo, $\rho_b = MS / VT$ . A densidade do solo é inversamente relacionada a porosidade do mesmo solo, ou seja, maior porosidade quanto menor o valor da densidade do solo.
SHALLST	Profundidade inicial do aquífero raso
DEEPST	Profundidade inicial de água no aquífero profundo
REVAPMN	Profundidade limite da água no solo para a ocorrência da ascensão da água à zona não saturada: É um parâmetro importante no processo de contribuição de água subterrânea e define o limite do nível de água no aquífero raso para que o movimento da água dentro do solo em resposta as deficiências de água ocorram. É utilizado no cálculo da estimativa da quantidade máxima de água que será removida do aquífero num dado dia. Ou seja, o movimento da água do aquífero raso para a zona insaturada é permitido somente se o volume de água no aquífero raso for igual ou maior do que o REVAPMN.
EPCO	Fator de compensação de captação da planta.  A quantidade de absorção de água que ocorre num dado dia é uma função da quantidade de água requerida pela planta para a transpiração, $E_t$ , e a quantidade de água disponível no solo, $SW$ . Se camadas superiores do perfil do solo não contêm água suficiente para satisfazer a absorção de água, os usuários podem permitir que as camadas mais baixas possam compensar. O fator de compensação da absorção das plantas pode variar de 0,01 a 1,00. Quanto mais o valor de EPCO se aproxima de 1,0, mais o modelo permite procurar absorção de água para satisfazer a captação das plantas.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Parâmetro	Descrição / Função
SURLAG	<p>Coefficiente de retardamento do escoamento superficial.</p> <p>Na grandes sub-bacias com um tempo de concentração superior a 1 dia, apenas uma porção do escoamento superficial irá atingir o canal principal no dia em que é gerada. O SWAT incorpora uma superfície característica de armazenamento do escoamento para retardar uma parte do escoamento.</p> <p>SURLAG controla a fração do total de água disponível, que será permitido entrar no reach em qualquer dia. A figura 3 apresenta a influência do SURLAG e do TCONC na fração do escoamento superficial liberado. O atraso na liberação do escoamento superficial irá suavizar o hidrograma das vazões simuladas no reach. Se nenhum valor para SURLAG é inserido, o modelo irá definir SURLAG = 4,0.</p>
RCHRG_DP	<p>Fração de percolação para o aquífero profundo.</p> <p>É a fração da percolação da zona de raiz que recarrega o aquífero profundo. O valor para RCHRG_DP deve situar-se entre 0,0 e 1,0.</p>
GWHT	<p>Altura inicial das águas subterrâneas (m).</p> <p>O estado estacionário do fluxo de água subterrânea e da altura do lençol freático são linearmente proporcionais. As equações utilizadas para calcular a variação da altura das águas subterrâneas com mudança de fluxo estão incluídas no SWAT. No entanto, a altura da água subterrânea não está impressa em qualquer um dos arquivos de saída.</p>
WUSHAL(mon)	<p>Remoção de água média diária de um aquífero raso para cada mês (10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/dia).</p>

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Parâmetro	Descrição / Função
WUDEEP(mon)	Remoção de água média diária de um aquífero profundo para cada mês (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /dia).

Além desses, e de vários outros, o SWAT requer dados de precipitação diária, máxima/mínima temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Os valores de todos estes parâmetros podem ser lidos a partir de registros de dados observados ou podem ser gerados

O arquivo de entrada do gerador de clima contém os dados estatísticos necessários para gerar dados climáticos diários representativos para as sub-bacias. Idealmente, pelo menos, 20 anos de registros são usados para calcular os parâmetros no arquivo. wgn. Os dados climáticos serão gerados em dois casos: quando o usuário especifica que será usada a simulação dos dados climáticos ou quando está faltando dados medidos.

Na Tabela 3, segue uma breve descrição das variáveis no arquivo de entrada do gerador de clima.

Tabela 3 – Parâmetros essenciais para o gerador de tempo.

Parâmetro	Definição
WLATITUDE	Latitude da estação meteorológica usada para criar os parâmetros estatísticos (graus). A latitude é expressa como um número real com os minutos e os segundos convertidos em frações de grau.
WLONGITUDE	Longitude da estação meteorológica (graus). Esta variável não é utilizada pelo modelo e pode ser deixado em branco.
WELEV	Elevação da estação meteorológica (m) Necessário se bandas de elevação são modeladas nas bacias hidrográficas.
RAIN_YRS	O número de anos de máximas mensais de meia hora de chuva utilizados para definir valores para RAIN_HHMX (1) - RAIN_HHMX (12) Se nenhum valor de entrada é dado para RAIN_YRS, o SWAT irá definir RAIN_YRS = 10
TMPMX(mon)	Média da temperatura máxima do ar diária para o mês (° C). Este valor é calculado pela soma da temperatura máxima do ar para cada dia do mês para todos os anos de registro e dividindo-se pelo número de dias somados: $\mu mx_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N}$ Onde $\mu mx_{mon}$ é a temperatura diária média máxima para o mês (°C), $T_{mx,mon}$ é a temperatura máxima diária no registro d no

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

	mês mon (°C), um N é o número total de máxima diária registros de temperatura para seg mês.
TMPMN(mon)	Média da temperatura mínima diária por mês (°C).
TMPSTDMX(mon)	Desvio padrão para a temperatura máxima diária do ar no mês (°C). Este parâmetro quantifica a variação de temperatura máxima de cada mês. O desvio padrão é calculado: $\sigma_{mx_{mon}} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{d=1}^N (T_{mx,mon} - \mu_{mx_{mon}})^2}{N - 1}\right)}$ <p>Onde <math>\sigma_{mx_{mon}}</math> é o desvio padrão para a temperatura máxima diária no mês mon (°C), <math>T_{mx,mon}</math> é a temperatura máxima diária no registo d no mês seg (°C), e N é o número total de máxima diária de registros de temperatura para seg mês.</p>
TMPSTDMN(mon)	Desvio padrão para a temperatura mínima do ar diária no mês (°C).
PCPMM(mon)	Média do total de precipitação mensal (mmH2O).
PCPSTD(mon)	Desvio padrão da precipitação diária no mês (mm H2O/day)
PCPSKW	Coeficiente de inclinação de precipitação diária de mês. Este parâmetro quantifica a simetria da distribuição da precipitação sobre a média mensal. O coeficiente de inclinação é calculado: $g_{mon} = \frac{N \times \sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^3}{(N - 1) \times (N - 2) \times (\sigma_{mon})^3}$ <p>Onde <math>g_{mon}</math> é o coeficiente de inclinação para a precipitação no mês, N é o número total de registros de precipitação diárias por mês seg, <math>R_{day,mon}</math>, no valor de precipitação para o registro d no mês mon (mm H2O). (Nota: os valores diários de precipitação de 0 mm, estão incluídos no cálculo do coeficiente de inclinação).</p>
PR_W(1,mon)	Probabilidade de ocorrer um dia chuvoso após um dia seco no mês. Esta probabilidade é calculada: $P_i(W/D) = \frac{days_{(W/D,i)}}{days_{dry,i}}$ <p>Onde <math>P_i(W/D)</math> é a probabilidade de um dia chuvoso após um dia seco no mês, <math>days_{(W/D,i)}</math> é o número de vezes num dia chuvoso, seguido de um dia seco no mês i, para todo o período de registro, e <math>days_{dry,i}</math> é o número de dias secos em mês i, durante todo o período de registro. Um dia seco é um dia com 0 mm de precipitação. Um dia de chuva é um dia com precipitação &gt; 0 mm.</p>
PR_W(2,mon)	Probabilidade de ocorrer um dia chuvoso após um outro dia de chuva no mês. Esta probabilidade é calculada: $P_i(W/W) = \frac{days_{(W/W,i)}}{days_{wet,i}}$ <p>Onde <math>P_i(W/W)</math> é a probabilidade de um dia chuvoso ocorrer após um outro dia chuvoso no mês i, <math>days_{(W/W,i)}</math> é o número de vezes que um dia chuvoso seguido de outro no mês i para todo o período de registro, e <math>days_{wet,i}</math> é o número de dias chuvosos no mês i, durante todo o período de registro. Um dia seco é um dia com 0 mm de precipitação. Um dia de chuva é um dia com &gt; 0 mm de precipitação.</p>
PCPD(mon)	Número médio de dias que ocorreu precipitação no mês.
RAINHHMX(mon)	Máxima meia hora de chuva em todo o período de registro para o mês (mm H2O). Este valor representa o registro da mais extrema intensidade de chuva de 30 minutos em todo o período registrado.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

SOLARAV (mon)	Radiação média diária de energia solar para o mês (MJ/m <sup>2</sup> /dia).
DEWPT (mon)	Temperatura média diária do ponto de orvalho média para cada mês (°C) Temperatura do ponto de orvalho é a temperatura à qual a pressão de vapor real presente na atmosfera é igual à pressão de vapor de saturação. Este valor é calculado somando-se a temperatura do ponto de orvalho para cada dia do mês para todos os anos de registro e dividindo pelo número de dias somados O ponto de orvalho é convertido para umidade relativa do ar usando equações 1:3.5.1 e 1:3.5.2 da Documentação teórico. Necessário para a equação de Penman-Monteith no cálculo da evaporação potencial.
WINDAV (mon)	Velocidade do vento média diária no mês (m / s)

### 3.3 - CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS

Para que o modelo seja capaz de simular adequadamente o comportamento hidrológico é necessário que os parâmetros do modelo sejam estimados de maneira apropriada. Quando os processos físicos que determinam o sistema estão bem compreendidos, os valores para os parâmetros podem muitas vezes ser determinado com um elevado grau de precisão. Na hidrologia, entretanto, os processos físicos de interesse são bastantes complexos e ainda não são bem compreendidos (Duan *et al.* 2003).

Embora os parâmetros dos modelos sejam conceitualmente relacionados com as propriedades características de uma paisagem, estas podem ser altamente variáveis no tempo e no espaço, e dessa forma, os parâmetros não são facilmente representados numericamente nas escalas temporais e espaciais de uso dos modelos. Além disso, em alguns modelos os parâmetros podem ser abstrações da realidade e, em consequência, não podem ser medidos diretamente. Dessa maneira, os parâmetros que na prática não são possíveis de medir em campo, ou apresentam dificuldade de representação distribuída espacialmente e temporalmente, são, por conseguinte, estimados por meios indiretos.

Existem duas principais abordagens para a estimativa de parâmetros. A primeira abordagem admitindo a relação teórica ou empírica que os parâmetros têm com características observadas (medidas) na bacia, tais como propriedades do solo e da vegetação, geomorfologia, características topográficas, entre outras. A segunda, é o ajuste dos parâmetros, tal que o output do modelo seja o mais próximo e consistente possível da



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

resposta observada (medida) na bacia hidrográfica em um período histórico. Esse processo de otimização dos parâmetros é chamado de calibração (Duan *et al.* 2003).

A calibração de um modelo é, então, o processo de busca por valores dos parâmetros que permitam uma boa representação do comportamento hidrológico, e conseqüentemente que apresentem um grau de similaridade suficientemente alto. Entretanto, existem uma variedade de falhas na estrutura do modelo e incertezas nos dados utilizados na estimativa dos parâmetros, quais introduzem uma falta de exatidão nos resultados do modelo.

Esse momento de ajuste dos parâmetros é uma das etapas da modelagem que envolve a necessidade de maior entendimento e compreensão da estrutura do modelo e do comportamento dos diferentes parâmetros, não deixando de sustentar a representatividade física desses dados.

Além disso, atrelados à calibração ainda se tem dois conceitos à serem considerados: equifinalidade e parcimônia.

O conceito de *equifinalidade* de modelos (Zak e Beven, 1999; Beven, 2006) está associado a que não existe um conjunto único de valores de parâmetros capaz de representar os processos hidrológicos, devido, principalmente às incertezas inerentes aos dados, às simplificações do modelo e à representatividade dos parâmetros. E, justamente devido a isso, existem várias combinações de valores de parâmetros que apresentam resultados com um grau elevado de similaridade aos dados observados e bons resultados estatísticos comparativos.

Por sua vez, o princípio de *parcimônia* estabelece que os modelos devem ter o menor número de parâmetros que permitam uma representação apropriada do comportamento hidrológico da bacia. Muitas vezes ao incrementar o grau de complexidade dos modelos hidrológicos (por exemplo aumentando o número de parâmetros) observa-se que a partir de certo número já não existem melhoras significativas no desempenho do modelo em termos de uma melhor reprodução do comportamento hidrológico da bacia (Tang *et al.* 2006).

A calibração é um problema de indeterminadas soluções, podendo existir, ainda, soluções que atendam às equações, mas não representam a realidade lógica do problema e mesmo dos valores esperados dos parâmetros. De outro lado, existirão várias soluções que

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

possuem justificativa técnica e resposta adequada para o problema, e entre as quais não é possível, em geral, distinguir a mais aceitável ou a melhor (Collischonn e Tucci 2003).

A técnica pioneira utilizada pelos hidrólogos para a determinação dos parâmetros, pela robustez e simplicidade é a calibração manual, pelo método de tentativa e erro. Essa técnica é um processo iterativo, em que o modelador a cada tentativa altera os valores dos parâmetros e compara, visualmente e estatisticamente, os resultados verificando a representação do sistema. Esse processo prossegue até que o usuário encontre um conjunto de parâmetros para os quais ele considera que os resultados do modelo são os mais apropriados para o processo simulado.

A calibração manual não deixa de tratar a percepção do modelador em relação à sensibilidade do modelo aos diferentes parâmetros, e uma das grandes vantagens desse procedimento é permitir que o usuário agregue ao processo sua experiência e conhecimento sobre o modelo e sobre as características da área de estudo.

Porém, em face do grande número de tentativas, essa abordagem pode ser considerada lenta e repetitiva, principalmente quando trata-se de um modelo complexo que envolve um grande número de parâmetros. Além disso, a interação de vários parâmetros simultaneamente podem resultar em efeitos imprevisíveis (Gupta *et al.* 1998).

Com intuito de tornar a calibração mais eficiente, no ponto de vista de acelerar o processo, foram desenvolvidas técnicas de otimização que se baseiam na utilização de algoritmos multicritério para a calibração automática de modelos. Ainda, ao contrário da calibração manual, a calibração automática é menos subjetiva e é capaz de buscar extensivamente conjuntos de parâmetros do modelo entre as suas gamas aceitáveis num período muito curto de tempo, aumentando a probabilidade de encontrar valores ótimos dos parâmetros conjuntamente.

Entretanto, o uso dessa técnica não isenta o usuário da responsabilidade de aferir e examinar a validade dos valores de parâmetros encontrados automaticamente, muito menos de entender a relação conceitual entre os parâmetros do modelo e o sistema real.

Na Tabela 4 são comparadas as principais vantagens e desvantagens da calibração manual e automática.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 4- Feições comparativas da calibração manual e automática (Adaptado de Gupta *et al.*, 2003).

<b>Calibração Manual</b>	<b>Calibração Automática</b>
Alto conhecimento e expertise do usuário	Velocidade e potência computacional
Subjetivo (realístico)	Objetivo (estatístico)
Trabalho complicado e intensivo	Uso computacional intensivo
Consumo elevado de tempo	Economia de tempo
Excelentes resultados	Resultados podem não ser aceitáveis

Para modelos concentrados com poucos parâmetros, uma cuidadosa calibração manual pode levar a resultados superiores, mas um alto tempo dispendido. Em contraste a abordagem automática é mais rápida e sua aplicação é relativamente mais simples, mas de alguma maneira carece da abordagem manual (Duan *et al.* 2003).

Porém por uma variedade de razões, entre elas a complexidade de modelos hidrológicos distribuídos, a calibração automática é amplamente utilizada. Durante os últimos anos avanços significativos foram feitos na calibração automática, com foco em quatro questões principais (Gupta *et al.*, 1998). (1) o desenvolvimento de técnicas especializadas para atender erros presentes nos dados medidos; (2) a busca de uma estratégia de otimização que pode resolver confiavelmente o problema de estimativa de parâmetros; (3) a determinação da quantidade apropriada e mais informativa do tipo de dado; e (4) a representação eficiente da incerteza do modelo calibrado (estrutura e parâmetros) e tradução da incerteza na resposta do modelo.

A metodologia típica para a estimativa de parâmetros pelo método de otimização requer quatro elementos: função objetivo; algoritmo de otimização; critérios de terminação; e dados de calibração.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

#### 4 - BALANÇO HÍDRICO DAS BACIAS MONITORADAS

O balanço hídrico, considerado como a base da hidrologia, é pré-requisito indispensável para estudos e avaliações da disponibilidade hídrica. O balanço hídrico das unidades hidrográficas foi feito fundamentado na equação resultante da aplicação do princípio de conservação de massa:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

em que  $dS/dt$  é a variação do armazenamento do sistema por unidade de tempo,  $I$  é a vazão de entrada e  $Q$  é a vazão de saída.

O balanço hídrico foi feito para as sub-bacias do Lago Descoberto e para as Unidades Hidrográficas. Num primeiro momento o balanço hídrico é apresentado como a média anual e foi calculada pela média aritmética.

A base para o cálculo é dada na fase terrestre do ciclo hidrológico no modelo SWAT, e é baseada na equação do balanço hídrico:

$$SW_1 = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

em que,  $SW_1$  é o quantidade final de água no solo (mm),  $SW_0$  é a quantidade inicial de água no solo (mm),  $t$  é o tempo (dias),  $R_{day}$  é a precipitação acumulada no dia  $i$  (mm),  $Q_{surf}$  é o escoamento superficial acumulado no dia  $i$  (mm),  $E_a$  é a evapotranspiração acumulada no dia  $i$  (mm),  $w_{seep}$  é a quantidade de percolação e de desvio de fluxo que sai do perfil do solo no dia  $i$  (mm), e  $Q_{gw}$  é a quantidade do fluxo de retorno no dia  $i$  (mm).

A precipitação é um dado de entrada, portanto um dado medido em campo, as demais variáveis da equação foram calculadas pelo modelo.

Após a modelagem para cada sub-bacia estudada, um dos resultados obtidos nas análise, foi a estimativa de valores relacionados ao ciclo hidrológico médio de cada unidade hídrica, durante o período de simulação de 2000 a 2017. A seguir serão apresentados dados dos balanços hídricos realizados para cada sub-bacia da Bacia do Alto Descoberto.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Ressalta-se, que para elaboração do estudo do balanço hídrico foram utilizadas os dados hidrológicos e disponibilidade, para as bacias monitoradas e não monitoradas, apresentados no Produto 2 . Também forma utilizados dados do estudo de demanda considerando o uso e ocupação do solo, apresentado no Produto 3.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

#### **4.1 - BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO DESCOBERTO**

O rio Descoberto recebe este nome a partir da junção do córrego Capão da Onça com o córrego Barroirão, a uma cota de aproximadamente 1.250m. A partir da confluência, evolui para o sul, recebendo influência dos córregos Zé Pires, Cortado, Sumido e Lajinha, formando assim a represa do Descoberto na cota de 1.030m. Após a represa o rio passa por Santo Antônio do Descoberto e desagua no rio Corumbá.

A bacia do rio Descoberto, apresenta em torno de 1.900 hectares de áreas voltadas para agricultura, 1.400 hectares de campo limpo e 4.371 hectares de cerrado nativo. Em estudo realizado por Chaves e colaboradores (2010), estima-se que ainda existam 4542,75 hectares com potencial agrícola. Ainda neste estudo, é apontado que, 69,01% das áreas agricultáveis na sub bacia do Descoberto, englobando as microbacias dos córregos Barroirão, Bucanhão e Capão da onça possuem uso abaixo dos seus potenciais (devido a característica do solo – latossolo vermelho), enquanto 7,61% da área possui um uso mais intensivo que suas respectivas aptidões agrícolas. Este fato aponta uma utilização inadequada das terras, comprometendo a sustentabilidade ambiental.

Em relação as outorgas concedidas pela ADASA para o rio Descoberto, pode ser observado que a vazão outorgada superficial é superior a vazão outorgada subterrânea (Tabela 5). Seu principal uso é destinado ao abastecimento humano.

A Tabela 5 apresenta a relação entre porcentagem de vazão outorgada subterrânea e porcentagem de vazão outorgada superficial para sub bacia do rio Descoberto.

Tabela 5 – Vazões outorgadas sub-bacia do Rio Descoberto (dados ADASA)

% DEMANDAS OUTORGADAS	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
SUB	60%	60%	59%	60%	65%	68%	73%	75%	76%	77%	75%	68%
SUP	40%	40%	41%	40%	35%	32%	27%	25%	24%	23%	25%	32%

Para determinação da demanda de água por uso, foram utilizados dados de uso e ocupação do solo, considerando para abastecimento de água apenas áreas de baixa densidade, e para irrigação regiões de olericultura e fruticultura. A Tabela 6 apresenta um resumo de demanda estimada para o ano de 2017, para Bacia do rio Descoberto.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 6 – Demanda de água estimada por uso para o ano de 2017

DEMANDA (m3/s)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
IRRIGAÇÃO OLERICULTURA	0,905	0,905	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	0,905	0,905
IRRIGAÇÃO FRUTICULTURA	0,11	0,11	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157	0,11	0,11
ABASTECIMENTO	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>1,917</b>	<b>1,917</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>2,352</b>	<b>1,917</b>	<b>1,917</b>

Como pode ser observado na Tabela 6, a demanda de água para irrigação para olericultura é superior a demanda de água para abastecimento. Ainda, em relação as demandas estimadas, a Tabela 7, apresenta a estimativa de demanda por captação superficial e captação subterrânea.

Tabela 7 – Estimativa de demanda de água por fonte de captação.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Demandas Superficiais (m3/s)	0,427	0,446	0,628	0,614	0,539	0,49	0,421	0,386	0,369	0,36	0,282	0,352
Demanda Subterrânea (m3/s)	0,645	0,659	0,912	0,926	1,001	1,049	1,119	1,154	1,171	1,18	0,823	0,752

A bacia do rio Descoberto, é uma bacia monitorada, a Figura 3 apresenta a separação da vazão total e de base, conforme hidrograma e metodologia demonstrados no Produto 2, deste trabalho.

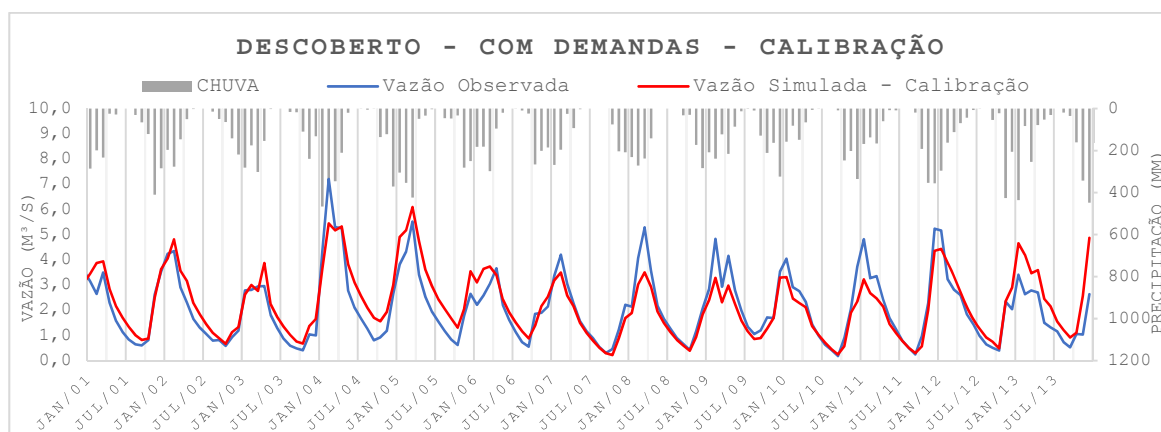
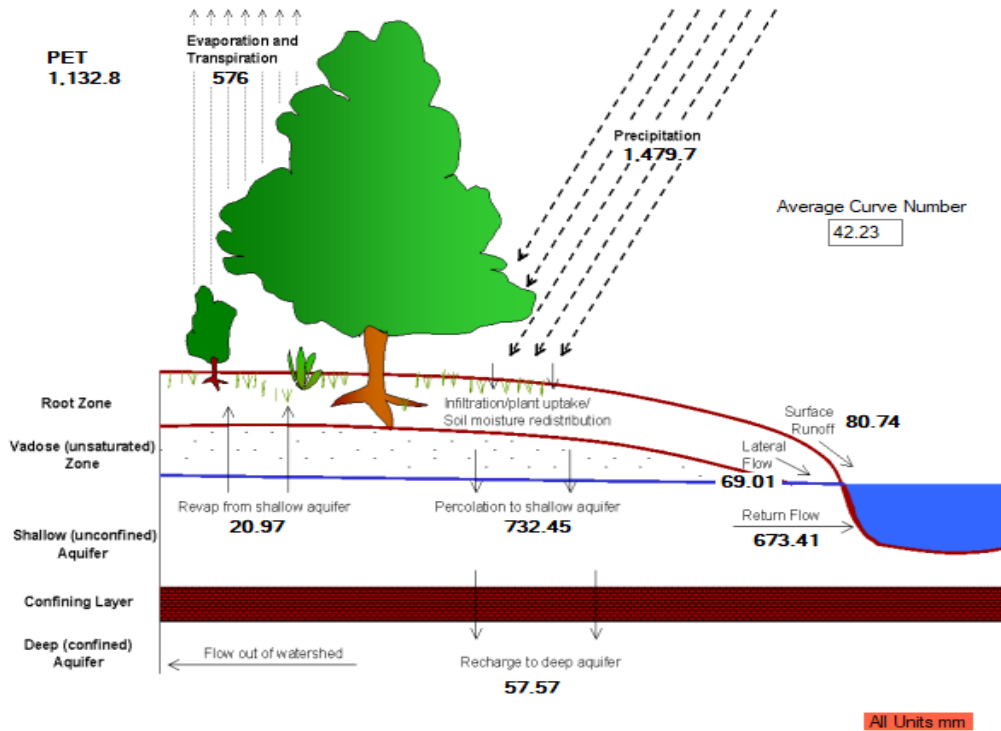


Figura 4 – Hidrogramas observado e simulado após calibração dos parâmetros na sub-bacia do Rio Descoberto.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Com os dados acima apresentados e modelagem utilizando o SWAT, foi determinado o balanço hídrico para sub-bacia do rio Descoberto (Figura 4).



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,56	0,9	0,1	0,49	0,04	0,39

Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração

Figura 4 – Resultado da modelagem do SWAT - Balanço hídrico da Bacia do rio Descoberto

O resultado do balanço hídrico da bacia do rio Descoberto (Figura 4), sugere que:

- A vazão disponível é constituída em sua maioria do escoamento de base.
- O escoamento superficial contribui com aproximadamente 1%, da vazão disponível.
- Do total precipitado, 39% retornam para atmosfera em forma de evapotranspiração e 56% constituem a vazão disponível. Este demonstra que a evapotranspiração é um fator importante para o balanço hídrico do DF, devido sua alta incidência de luz (elevada insolação).
- A relação do volume percolado em relação ao precipitado, apontam que 49% é percolado.
- 4% do precipitado é percolado, e mantém os aquíferos profundos.



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 8 – Balanço hídrico médio anual para Bacia do Rio Descoberto

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1635,80	84,01	73,89	289,40	447,30	846,33	582,00
2001	1679,40	92,96	80,43	736,65	910,04	886,63	585,70
2002	1160,00	52,92	53,16	741,69	847,77	527,24	558,39
2003	1427,70	72,83	67,39	648,75	788,97	733,58	570,36
2004	2068,60	122,71	104,72	939,81	1167,24	1230,39	567,29
2005	1823,00	97,69	96,34	965,93	1159,96	1071,64	603,86
2006	1459,40	66,89	66,87	756,04	889,80	722,89	609,98
2007	1070,10	49,14	46,21	585,59	680,94	478,14	505,33
2008	1398,60	68,73	64,03	609,66	742,42	708,93	531,57
2009	1718,50	87,51	78,90	648,75	815,16	866,85	679,71
2010	1251,30	65,97	52,24	581,54	699,75	557,51	541,24
2011	1467,60	88,02	71,78	599,26	759,06	805,13	544,36
2012	1396,50	72,99	66,50	735,52	875,01	691,12	574,38
2013	1939,20	150,36	90,56	771,75	1012,67	1028,43	630,25
2014	1521,90	76,39	77,48	923,02	1076,89	806,82	620,50
2015	1260,20	70,49	52,54	646,15	769,18	540,50	579,53
2016	1237,90	68,66	51,41	529,68	649,75	528,88	603,44
2017	1119,70	65,12	47,67	412,21	525,00	518,72	479,62

A tabela 8, apresenta uma tabela resumo, dos resultados do balanço hídrico do ano 2000 à 2017, para a bacia do Rio Descoberto. Deve-se ainda chamar atenção para importância do escoamento de base, no período de estiagem para manutenção do manancial, conforme apresentado na Figura 5.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

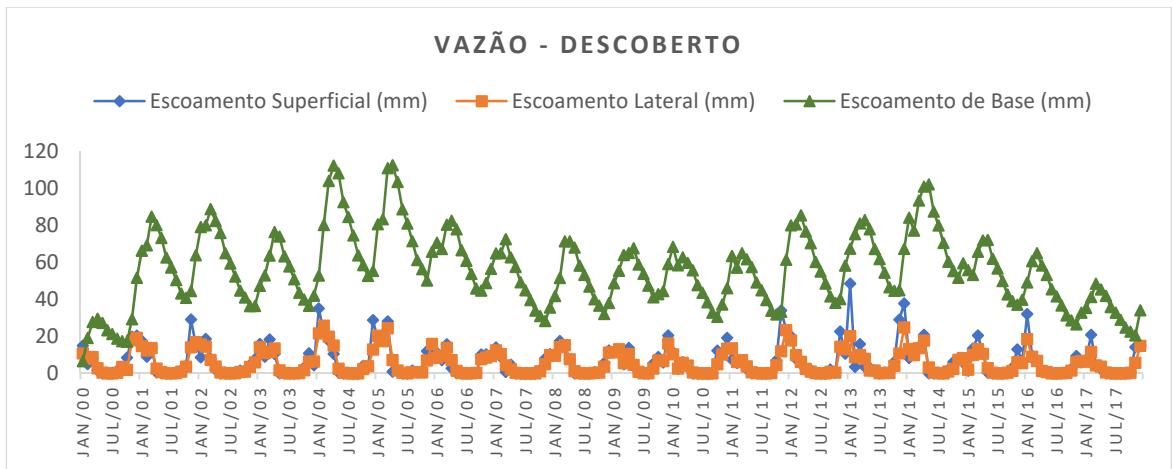


Figura 5 – Relação entre escoamento superficial, lateral e de base para bacia do Rio Descoberto.

A Figura 6, demonstra que entre os meses de abril a setembro, a bacia do rio Descoberto apresenta um déficit hídrico. Este déficit é decorrente a este período ser caracterizado pelo período de estiagem.

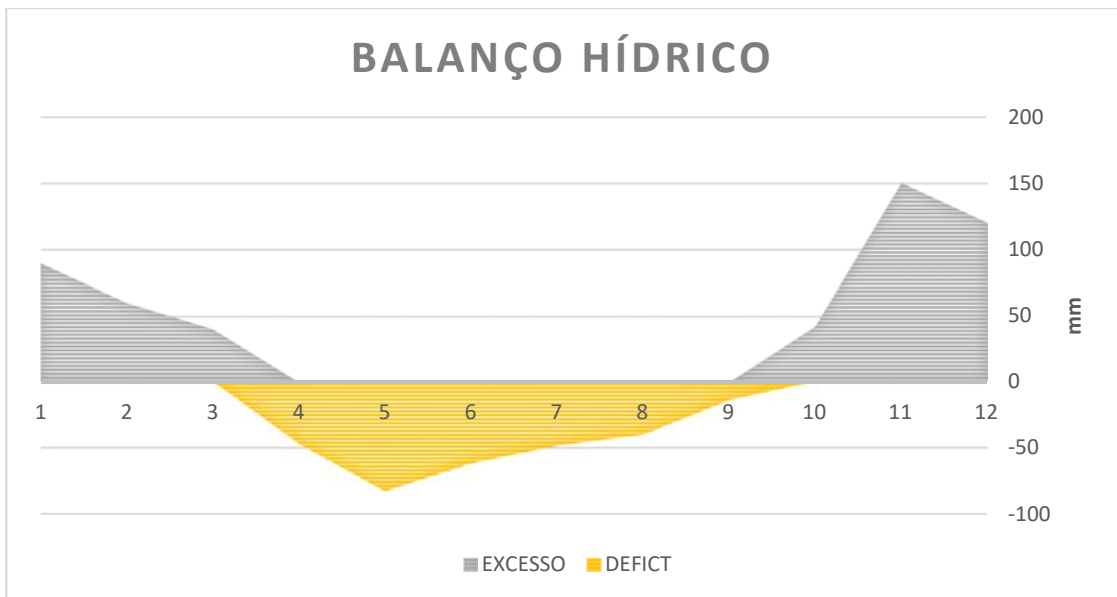


Figura 6 – Balanço hídrico da Bacia do rio Descoberto.

## PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

Analisando os dados de demanda e disponibilidade para o ano de 2017, baseando no modelo SWAT, pode ser observado, que entre os meses de maio a novembro, a sub bacia apresenta um déficit em relação a quantidade de água disponível para os usos (abastecimento/irrigação) na bacia do rio Descoberto.

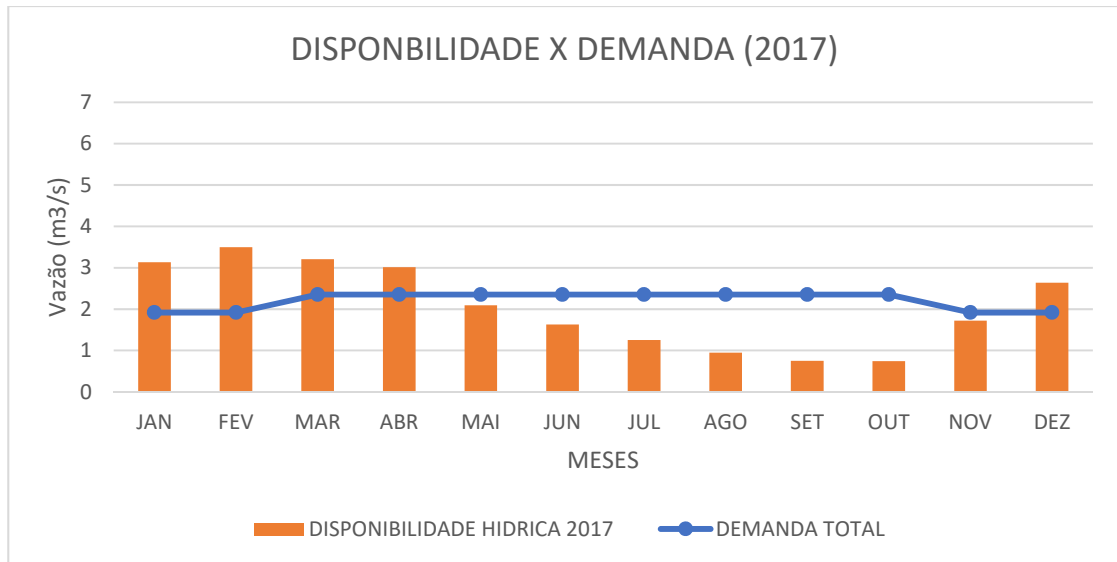


Figura 7 – Análise de disponibilidade e demanda para o ano de 2017, na bacia do rio Descoberto.

Na figura 8 se analisarmos o balanço hídrico em relação a disponibilidade de água na bacia do rio Descoberto, observa-se que no mês de outubro começa a recuperação do manancial do período de estiagem, no entanto a disponibilidade de água só irá começar a se elevar no mês de novembro e dezembro, atingindo seu pico em fevereiro. Este fato demonstra que existe um atraso em relação do balanço hídrico em relação a disponibilidade de água para bacia do rio Descoberto.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

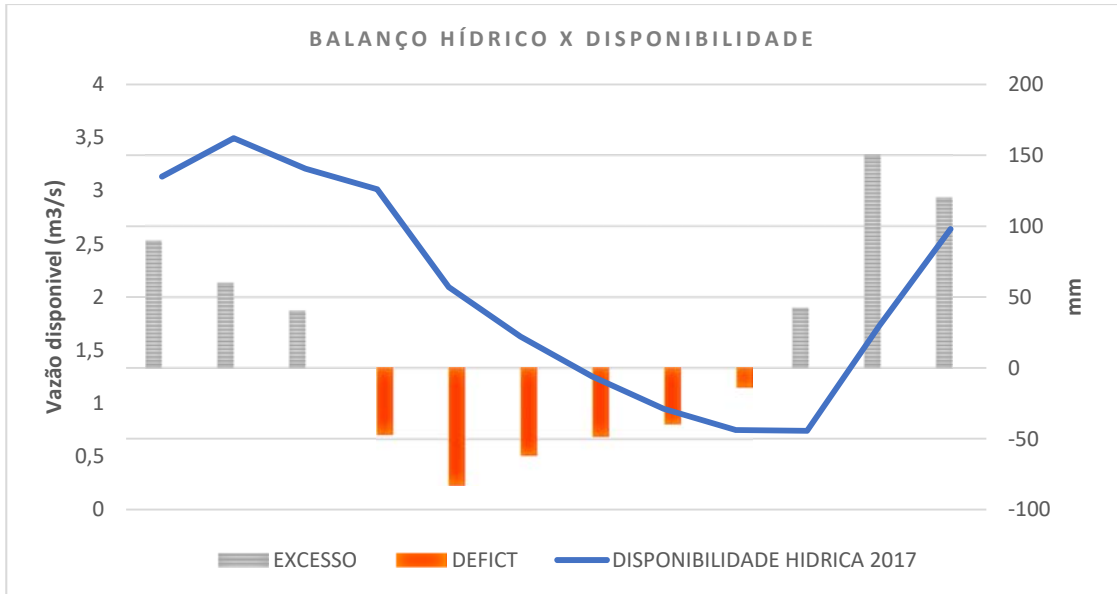
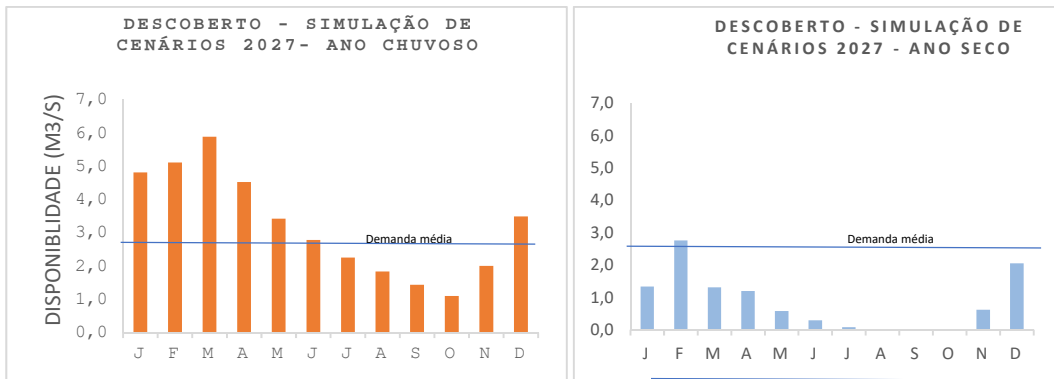


Figura 8 – Relação entre Balanço hídrico e disponibilidade de água.

Ainda, para bacia do rio Descoberto foi simulado um cenário, considerando um crescimento populacional e de áreas irrigáveis, para o ano de 2027 e 2067, conforme metodologia apresentada no produto 3. Para esses anos, foram tomados dados de séries históricas com precipitação anual de 1500 mm, estas consideradas como ano chuvoso; e series históricas com precipitação anual menor que 1500 mm, esta considerada ano de seca.

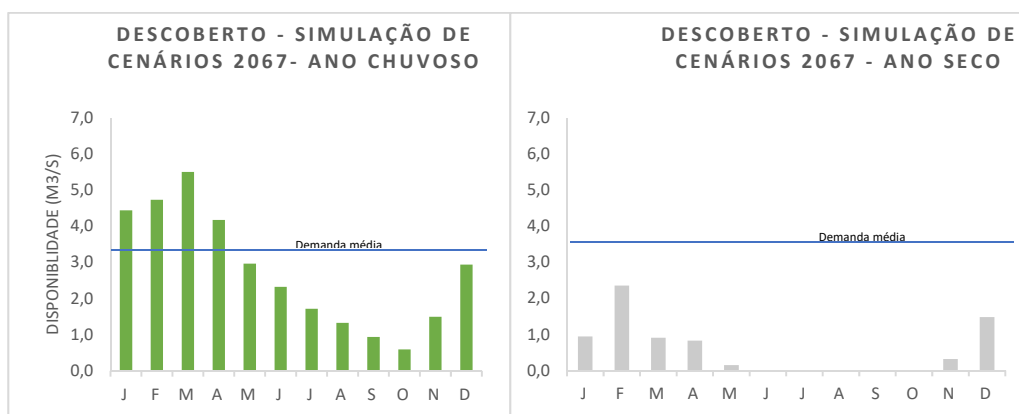


DE	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Demanda total (2027)	2,37	2,37	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,37	2,37

Figura 9 – Estudo de Disponibilidade e demanda, considerando projeção de crescimento populacional e área irrigável para o ano de 2027, para um ano com precipitação acima de 1500 mm e para um ano com precipitação abaixo de 1500 mm.

## PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

Como pode ser observado na Figura 9, para um ano com precipitações superiores a 1500 mm, nos meses de julho a novembro, a disponibilidade hídrica evidencia não atender a demanda projetada para uso em abastecimento e irrigação na bacia do Descoberto. Enquanto, em um ano seco, com chuvas abaixo 1500 mm, a disponibilidade de água atende à demanda projetada apenas para o mês de fevereiro. Relembrando que o mês de fevereiro, é sempre o mês que ocorre o a maior recarga no sistema hidrológico da bacia do rio descoberto, ou seja, onde o balanço hídrico apresenta o seu maior excesso.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>DEMANDA TOTAL (m³/s)</b>	2,92	2,92	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	2,92	2,92

Figura 10 – Estudo de disponibilidade e demanda, considerando projeção de crescimento populacional e área irrigável para o ano de 2027, para um ano com precipitação acima de 1500 mm e para um ano com precipitação abaixo de 1500 mm.

Para um cenário considerando um crescimento populacional para 50 anos (2067), e um crescimento de área irrigável de 30%, podemos observar que apenas nos meses de janeiro a abril, no ano com chuvas acima de 1500 mm, seria possível atender a demanda projetada.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**4.2 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO CHAPADINHA**

A sub-bacia do córrego Chapadinha apresenta uma área de 20,37 km<sup>2</sup> e é composta pelos córregos Capãozinho, Vendinha e Pulador. A região de Brazlândia encontra-se inserida na sub-bacia do córrego Chapadinha, que confere um significativo grau de urbanização. A vazão média anual observada na sub-bacia é de 0,44 m<sup>3</sup>/s. A sub-bacia do Córrego Chapadinha possui 1300 hectares de áreas preservadas/ campo limpo, 300 hectares de áreas agricultáveis e 350 hectares de áreas urbanizadas. A região Administrativa de Brazlândia encontra-se inserida nesta sub-bacia. Na sub-bacia do córrego Chapadinha observa-se que a vazão outorgada subterrânea é superior a vazão outorgada superficial. De tal forma que, a vazão anual média outorgada para captação superficial é de 0,00134 m<sup>3</sup>/s, enquanto a subterrânea é de 1,381 m<sup>3</sup>/s. O uso da água superficial é basicamente para irrigação de plantações de goiaba.

Em relação as outorgas concedidas pela ADASA para o córrego Chapadinha, pode ser observado que a vazão outorgada superficial é superior a vazão outorgada subterrânea (Tabela 9). Seu principal uso é destinado ao abastecimento humano.

A Tabela 9 apresenta a relação entre porcentagem de vazão outorgada subterrânea e porcentagem de vazão outorgada superficial para sub-bacia do Córrego Chapadinha

Tabela 9 – Vazões outorgadas sub-bacia do Rio Descoberto (dados ADASA)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
SUB	98,99%	98,99%	98,99%	99,00%	99,13%	98,69%	98,69%	98,69%	98,69%	98,50%	98,99%	98,99%
SUP	1,012%	1,012%	1,012%	1,003%	0,865%	1,312%	1,312%	1,312%	1,312%	1,499%	1,010%	1,010%

Para determinação da demanda de água por uso, foram utilizados dados de uso e ocupação do solo, considerando para abastecimento de água apenas áreas de baixa densidade, e para irrigação regiões de olericultura e fruticultura. A Tabela 10 apresenta um resumo de demanda estimada para o ano de 2017, para Bacia do Córrego Chapadinha.

Tabela 10 – Demanda de água estimada por uso para o ano de 2017

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Demanda Irrigação Olericultura (m <sup>3</sup> /s)	0,1511	0,1511	0,2159	0,2159	0,2159	0,2159	0,2159	0,2159	0,2159	0,2159	0,1511	0,1511
Demanda Irrigação Fruticultura (m <sup>3</sup> /s)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Demanda Abastecimento (m <sup>3</sup> /s)	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
Demanda Total (m <sup>3</sup> /s)	0,1565	0,1565	0,2212	0,2212	0,2212	0,2212	0,2212	0,2212	0,2212	0,2212	0,1565	0,1565

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Como pode ser observado na Tabela 10, a demanda de água para irrigação para olericultura é superior a demanda de água para abastecimento. Ainda, em relação as demandas estimadas, a Tabela 11, apresenta a estimativa de demanda por captação superficial e captação subterrânea.

Tabela 11 – Estimativa de demanda de água por fonte de captação.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Demandas Superficiais (m <sup>3</sup> /s)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
Demanda Subterrânea (m <sup>3</sup> /s)	0,163	0,167	0,212	0,212	0,213	0,212	0,212	0,212	0,212	0,211	0,167	0,167

A Figura 11, apresenta a separação da vazão total e de base, conforme hidrograma e metodologia demonstrados no Produto 2, deste trabalho.

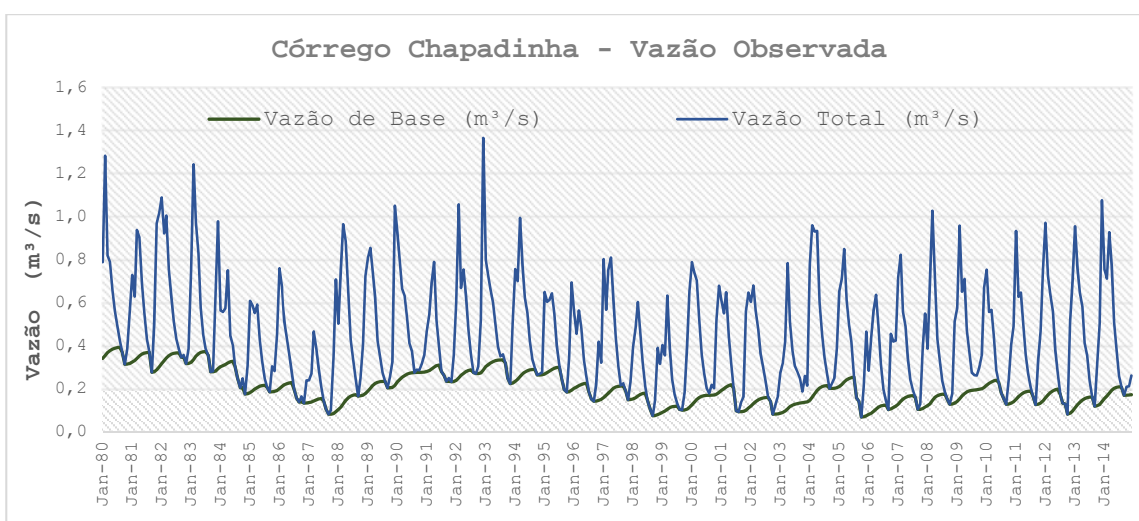
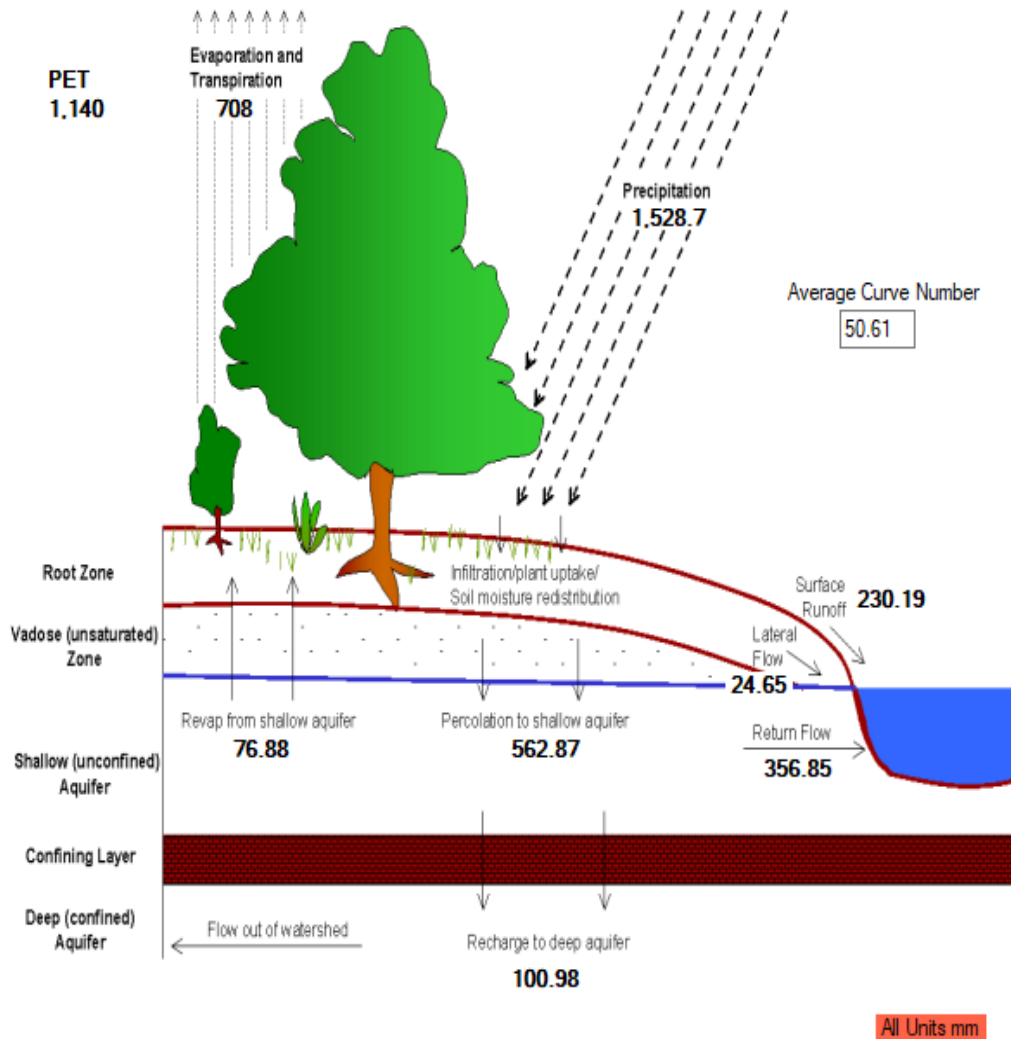


Figura 11 – Hidrogramas observado e simulado após calibração dos parâmetros na sub-bacia do Rio Descoberto.

Com base nos dados apresentados anteriormente, os seguintes estudos foram realizados para o Córrego Chapadinha, a partir de modelagem matemática com utilização do SWAT: balanço hídrico, estudo de disponibilidade demanda para 2017, 2027 e 2067.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,4	0,62	0,38	0,37	0,07	0,46
Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração					

Figura 12 – Balanço Hídrico do Córrego Chapadinha com utilização do SWAT

A Figura 12, demonstra o resultado do balanço hídrico do Córrego Chapadinha com utilização do SWAT. Para tanto, pode ser observado:

- A vazão disponível é formada em sua grande parte pelo escoamento de base, seguido da precipitação e depois pelo escoamento superficial. Demonstrando,



**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

a importância da conservação da água subterrânea e preservação do solo da região.

- A evapotranspiração é de grande importância para o balanço hídrico do Córrego Chapadinha, indicando a necessidade da preservação dos corredores verdes e APP da bacia.

Tabela 12 – Balanço hídrico médio anual para Bacia do Córrego Chapadinha

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1615,20	230,76	23,54	218,91	473,21	653,58	687,83
2001	1912,50	352,51	33,36	526,21	912,08	761,30	705,24
2002	1026,50	140,39	19,58	321,11	481,08	328,80	664,07
2003	1491,30	197,50	22,81	286,35	506,66	523,08	697,38
2004	2230,30	324,98	41,47	715,87	1082,32	1082,30	704,08
2005	1967,50	324,63	37,00	599,84	961,47	937,86	711,89
2006	1617,20	231,71	28,36	477,75	737,82	618,77	752,21
2007	1115,30	139,59	17,04	238,35	394,98	328,42	674,63
2008	1459,20	218,63	21,61	283,40	523,64	520,57	665,58
2009	1926,10	356,28	28,45	396,69	781,42	732,35	764,16
2010	1252,50	183,26	19,30	282,15	484,71	360,60	696,26
2011	1303,20	182,52	20,44	252,56	455,52	470,12	676,25
2012	1196,20	153,48	19,13	288,88	461,49	364,48	686,42
2013	1981,30	358,52	28,17	386,53	773,22	768,17	747,15
2014	1607,80	229,90	32,41	594,70	857,01	646,05	776,75
2015	1190,00	158,11	17,73	244,13	419,97	354,27	738,58
2016	1247,20	180,45	16,64	173,26	370,35	332,21	731,28
2017	1377,10	180,30	16,74	136,61	333,65	418,10	664,30

Como pode ser observado na Tabela 12, o escoamento superficial é menor que o escoamento de base, mesmo em anos com maior precipitação. O volume percolado é inferior ao volume da evapotranspiração nos anos de menor precipitação, sendo o contrário observado em anos de maior precipitação. A média anual de volume precipitado é de 1527,8 mm, sendo que para este estudo, foram considerados anos chuvosos, os que apresentaram precipitação acima da média anual; e anos de estiagem, os que apresentaram volumes precipitados abaixo da média anual.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

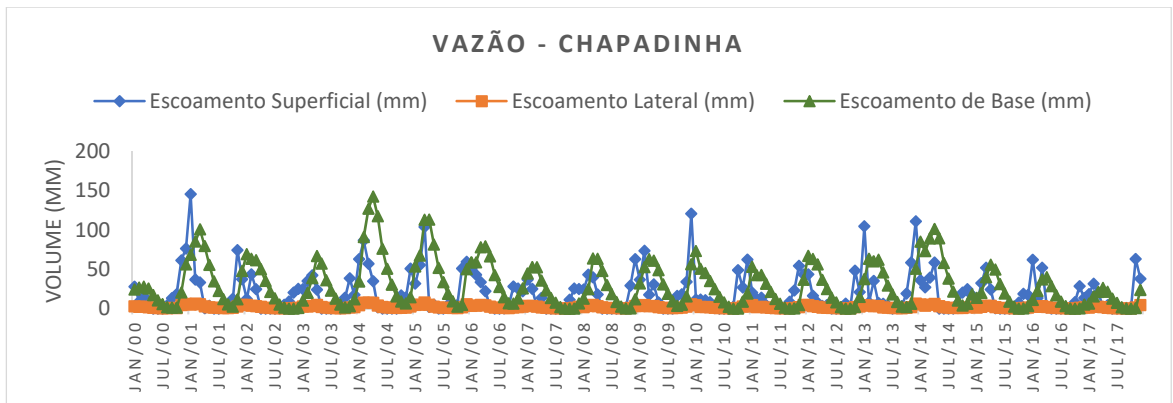


Figura 13 – Análise da vazão do córrego Chapadinha

A figura 13 evidencia que para os meses de chuva, o escoamento de base é superior ao escoamento superficial, com exceção em picos observados nos anos de 2001, 2010 e 2013. Nos anos onde foram observadas as anomalias, foi observada uma precipitação acima da média anual de 1528,7 mm.

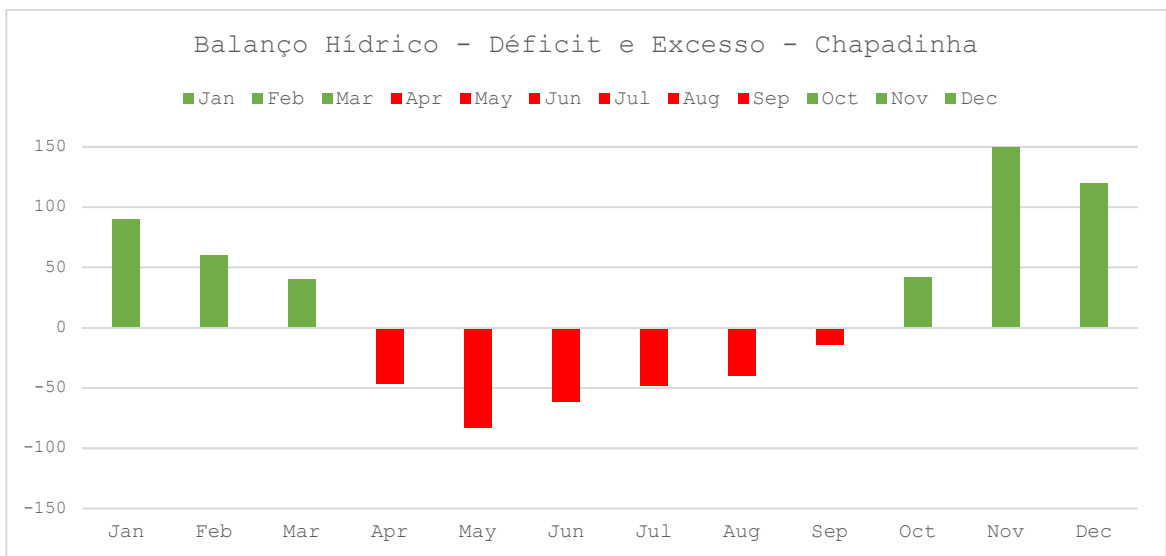


Figura 14 – Balanço Hídrico do Córrego Chapadinha – Relação entre Déficit e Excesso.

Conforme demonstrado na Figura 14, os meses de abril a setembro apresentam um déficit de disponibilidade hídrica no sistema do Córrego Chapadinha, sendo o mês de maio o mais crítico. A maior disponibilidade (excesso) pode ser observada nos meses de novembro e dezembro, podendo-se inferir que a recuperação do manancial é rápida com início do período chuvoso.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

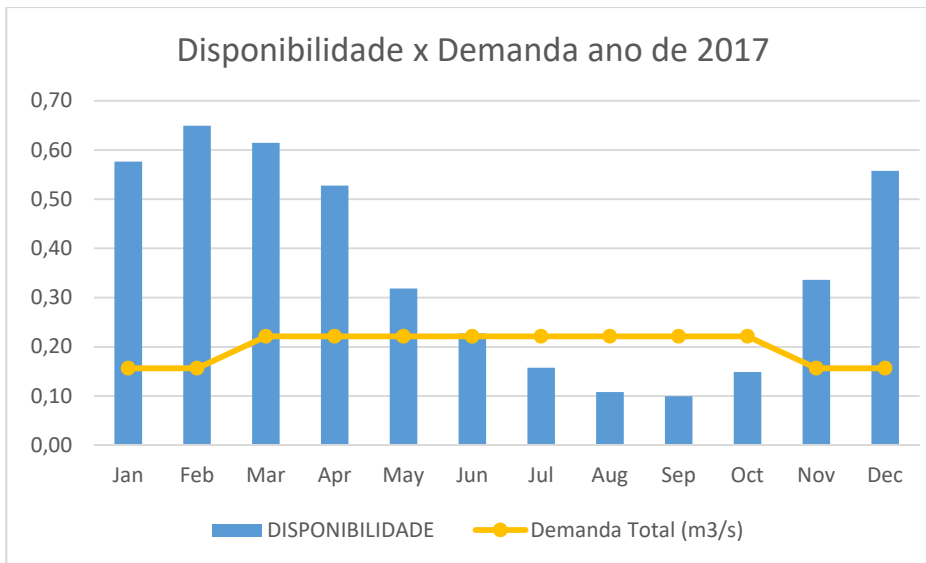


Figura 15 – Estudo de disponibilidade e demanda para o ano de 2017, para o córrego chapadinha.

Conforme demonstrado na Figura 15, pode ser observado que os meses de julho a outubro a disponibilidade hídrica modelada, não atende à demanda estabelecida. Estes meses são meses de déficit de água, segundo resultado do balanço hídrico. Observa-se, na Figura 16, o mês com pior déficit é o mês de maio, enquanto o mês de menor de disponibilidade hídrica é o mês de setembro. A recuperação do manancial inicia-se no mês de outubro, atingindo sua melhor “disponibilidade” (excesso) em novembro. Este comportamento é importante para o gerenciamento da bacia hidrográfica, e estabelecimento de métodos de gestão, incluindo outorga, bem como fiscalização dos volumes outorgados.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

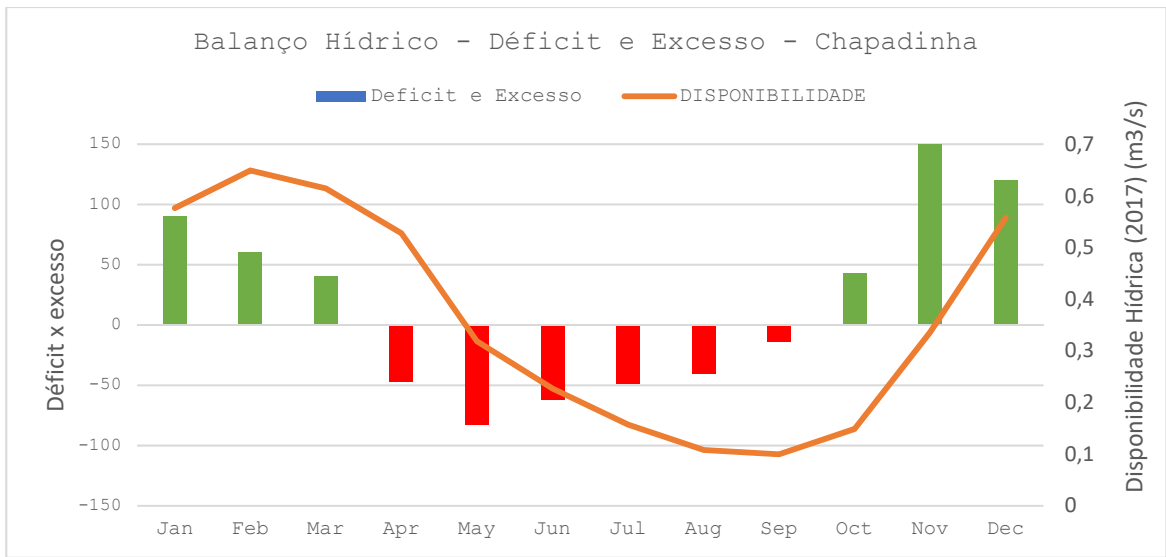


Figura 16 – Avaliação do Déficit e Excesso e Disponibilidade Hídrica para o Córrego Chapadinha no ano de 2017.

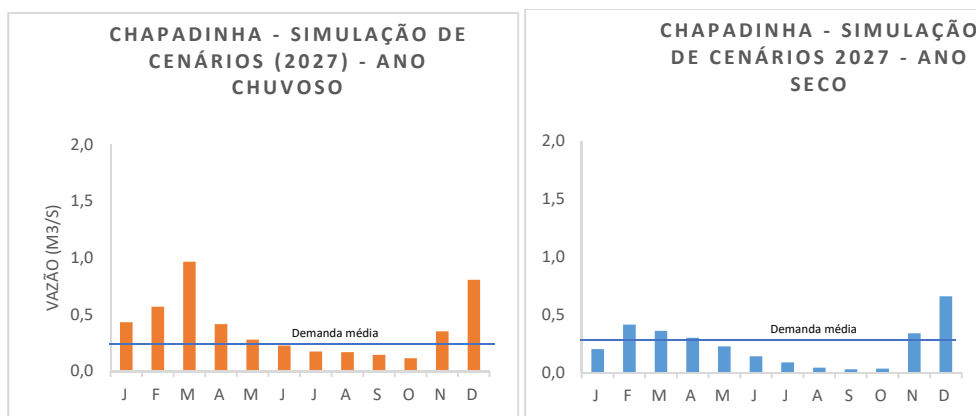
Para avaliar o comportamento do córrego Chapadinha, bem como estabelecer parâmetros que possam auxiliar no aprimoramento da gestão da bacia hidrográfica, foram realizadas simulações de dois cenários projetados:

- Cenário 2027 – crescimento populacional para 10 anos e crescimento de áreas irrigáveis em 12,5%.
- Cenário 2067 – crescimento populacional para 50 e incremento da área irrigável em 30%.

## PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

Para o cenário de 2027 os seguintes fatores podem ser observados:

- Em ano considerado chuvoso, a vazão disponível de acordo com estudo realizado, atende nos meses de novembro a julho, a demanda projetada para 2027;
- Em anos considerados secos, a vazão disponível não atende à demanda projetada para 2027 nos meses de maio a outubro.
- Em anos chuvosos, o volume de água disponível, para os meses de seca do cerrado, é praticamente constante. Enquanto, no ano seco, onde a precipitação média é abaixo da média anual, a disponibilidade hídrica atinge valores próximos a zero.



2027	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Demanda (m3/s)</b>	<b>0,16</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>

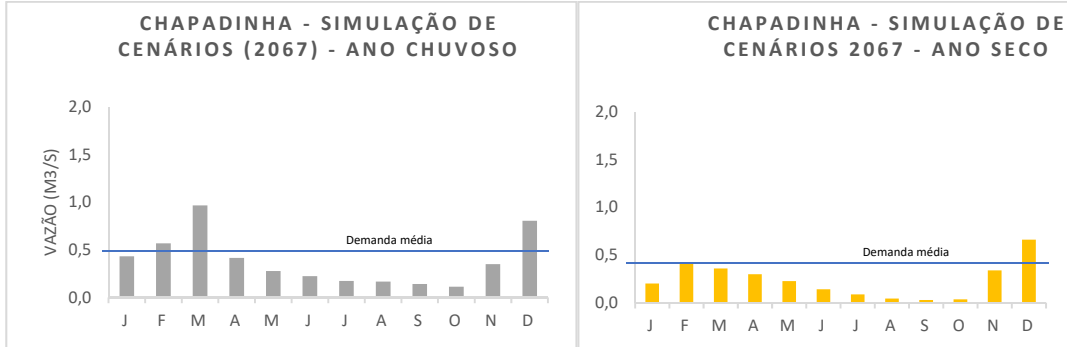
Figura 17 – Estudo de Disponibilidade e demanda, considerando projeção de crescimento populacional e área irrigável para o ano de 2027, para um ano com precipitação acima de 1527 mm e para um ano com precipitação abaixo de 1527 mm.

Para um cenário de 2067, pode se observar:

- O pico de recuperação do manancial para um ano chuvoso é diferente do pico do manancial para um ano seco. Observa-se que para um ano chuvoso a disponibilidade hídrica é maior no mês de março, enquanto que em um ano seco a maior disponibilidade hídrica é observada no mês de dezembro.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

- Para um cenário de 2067, a demanda média anual é de 0,4 m<sup>3</sup>/s, superior a capacidade da bacia hidrográfica, para os meses de abril a novembro em anos chuvosos, e de janeiro a novembro, para anos secos.



2067	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Demanda (m <sup>3</sup> /s)	0,24	0,24	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,24	0,24

Figura 18 – Estudo de Disponibilidade e demanda, considerando projeção de crescimento populacional e área irrigável para o ano de 2067, para um ano com precipitação acima de 1527 mm e para um ano com precipitação abaixo de 1527 mm.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

**4.3 - BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO OLARIA**

A sub-bacia do córrego Olaria apresenta uma área de drenagem de 13,2 km<sup>2</sup> e se caracteriza por ser uma bacia de uso agrícola familiar. Esta é uma bacia monitorada com dados fluviométricos entre 1985 a 2014. A vazão média para o período observado é de 0,30 m<sup>3</sup>/s. O volume total médio determinado para o Córrego Olaria é de 1,16 hm<sup>3</sup>.

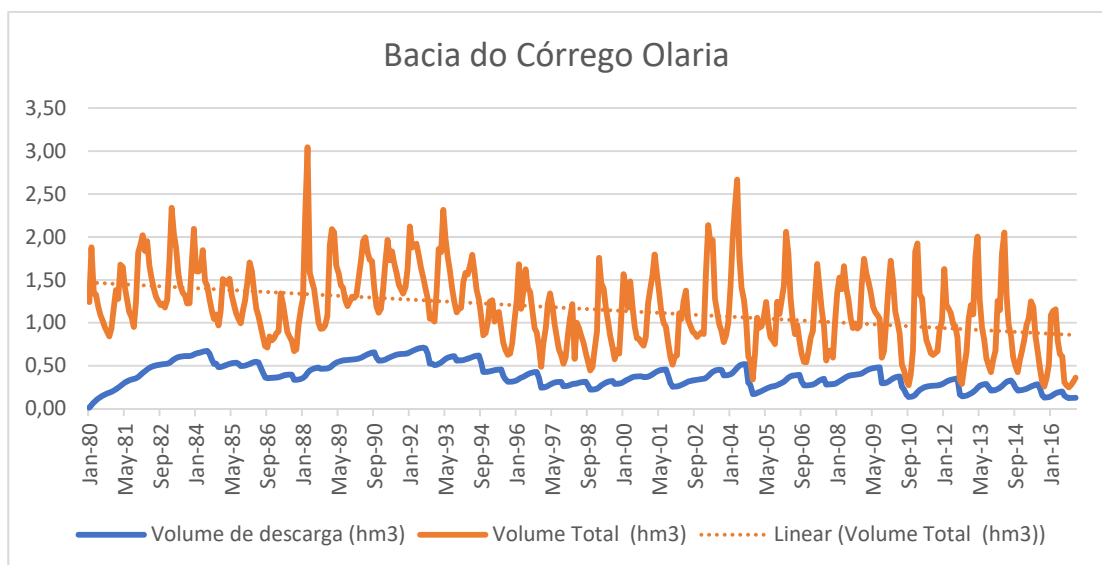


Figura 19 – Volume médio mensal na sub-bacia do córrego Olaria

Como pode ser observado na Figura 19, os anos de 2015 e 2016 apresentam valores médios anuais de 0,73 e 0,60 hm<sup>3</sup>. Estes abaixo da média anual determinada, demonstrando um decréscimo no volume de água disponível para os diversos usos previstos.

A figura 20, apresenta o gráfico resultante da separação da vazão de base do fluxo total da sub-bacia do Córrego Olaria.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

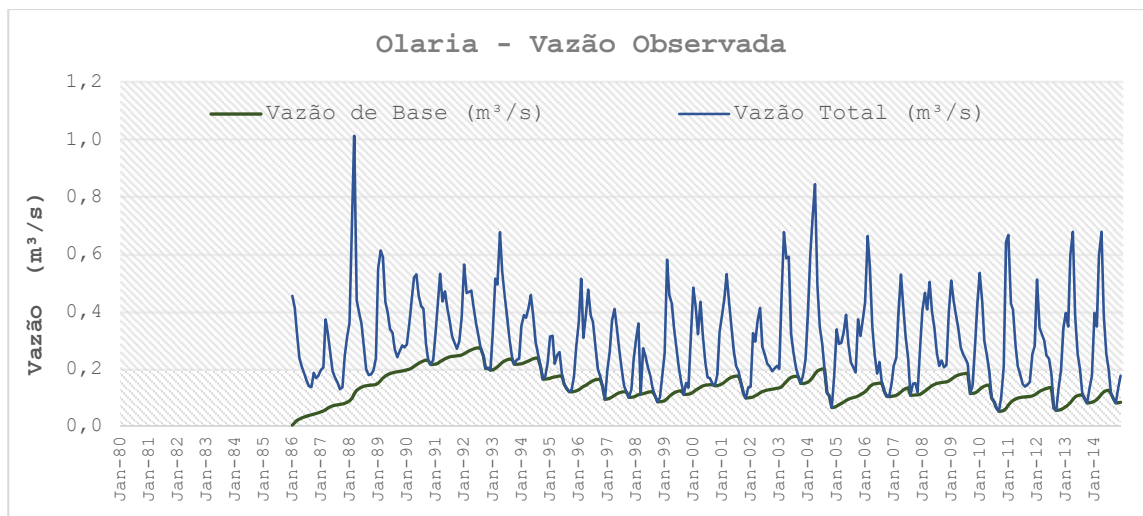


Figura 20 - Vazão total e fluxo de base separado pelo método do filtro digital. Sub-bacia do Córrego Olaria

Ressalta-se, que a modelagem para o Córrego Olaria, apresentou baixos coeficientes de calibração para os meses de chuva, ou seja, vazão elevada. No entanto, apresentou ótima correlação para períodos de estiagem, estes os mais críticos para tomada de decisão e gerenciamento da bacia hidrográfica.

Em relação ao uso e ocupação do solo, o Córrego Olaria, apresentou em porcentagem de área agricultável a com maior uso. Esta possui 150 hectares de áreas classificada como campo limpo, passível de utilização agrária. O maior impacto do local é em relação a deficiência de proteção das margens do manancial, local este onde são encontrados processos erosivos e transporte de sedimentos para o braço do reservatório do descoberto. Parte da RA de Brazlandia encontra-se inserida nesta sub bacia.

Em relação as outorgas concedidas pela ADASA, a sub bacia do córrego Olaria possui um maior volume de água subterrâneo outorgado se comparado com o uso superficial. Está sub bacia localiza-se em uma área rural, onde a água subterrânea é utilizada para abastecimento humano e a água superficial para irrigação de hortaliças.

O estudo de demanda demonstrou que o principal uso da água da bacia é irrigação de olericultura, seguido por abastecimento humano e irrigação de fruticultura (Tabela 13).

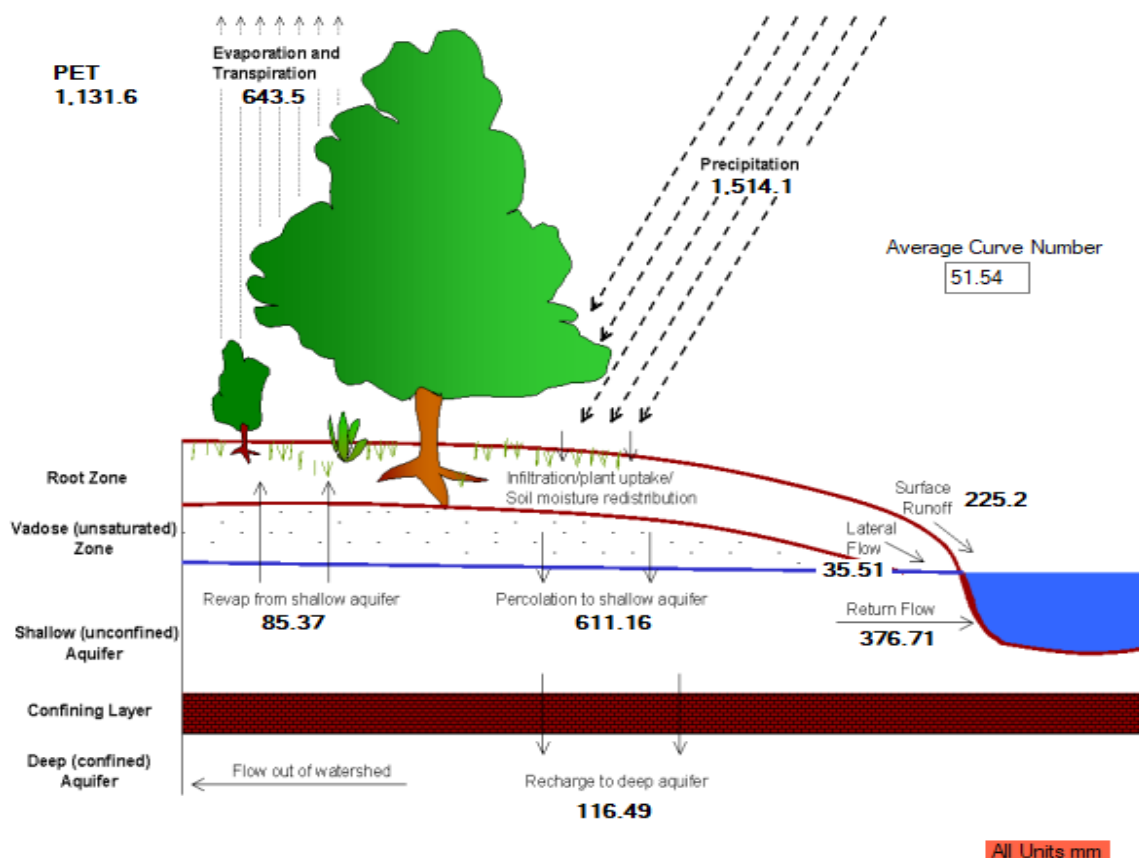


**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 13 – Estudo de demanda para sub-bacia do Córrego Olaria.

DEMANDA (2017)	VAZÃO (m3/s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Olericulture	0,22	0,22	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,22	0,22
Fruticulture	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06
Abastecimento	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	0,28	0,28	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,28	0,28

Com base no estudo hidrológico e estudo de demanda, foi realizada uma modelagem matemática, com aplicação do SWAT, para análise do balanço hídrico e cenários projetados para sub-bacia do córrego Olaria.



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,42	0,65	0,35	0,4	0,08	0,43

Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração

Figura 21 – Balanço Hídrico da Sub bacia do Córrego Olaria – aplicação do SWAT

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Os resultados do balanço hídrico do córrego Olaria, apontam:

- Do volume precipitado 40% é percolado, 43% retorna para o sistema em forma de evapotranspiração, e 8% seguem para recarga do aquífero profundo.
- A vazão disponível é resultante em 65% do escoamento de base e 35% do escoamento superficial, demonstrando a necessidade de estabelecer regras claras de utilização de água subterrânea, pois a manutenção do sistema, decorre do seu aporte.

Tabela 14 – Resumo das médias anuais resultantes do balanço hídrico do córrego Olaria

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1619,40	246,10	34,14	291,16	571,40	705,63	630,77
2001	1837,40	351,93	44,99	451,65	848,57	749,64	646,44
2002	1075,80	93,59	33,24	419,01	545,84	416,98	620,44
2003	1482,10	176,81	33,09	349,78	559,68	604,13	636,15
2004	2175,30	432,45	53,10	536,26	1021,81	1001,53	637,73
2005	1929,80	373,10	50,42	561,15	984,67	893,38	664,69
2006	1542,10	149,80	41,09	504,57	695,46	689,21	670,17
2007	1106,70	99,38	28,14	371,78	499,30	411,66	588,83
2008	1422,70	196,89	30,95	325,29	553,13	558,91	596,88
2009	1841,90	304,68	37,83	354,58	697,09	759,13	709,66
2010	1244,70	150,75	28,79	331,12	510,66	424,66	628,95
2011	1371,20	194,32	29,90	291,08	515,30	550,36	628,25
2012	1273,70	133,57	32,02	328,47	494,06	494,04	635,96
2013	1981,30	460,39	38,86	364,54	863,79	762,21	665,87
2014	1607,80	240,88	47,73	493,78	782,39	703,87	688,49
2015	1190,00	142,07	28,78	358,08	528,93	421,85	639,91
2016	1247,70	155,95	24,63	256,44	437,02	391,51	690,52
2017	1305,00	150,99	21,55	191,99	364,53	448,99	602,72

Como pode ser observado na Tabela 14, em anos com maior precipitação, o escoamento superficial, resulta em um aporte maior ao sistema hídrico da bacia que em anos de estiagem. Outro fato a ser observado, que em períodos de estiagem a evapotranspiração resulta em maior aporte ao sistema, se comparado em períodos chuvoso.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

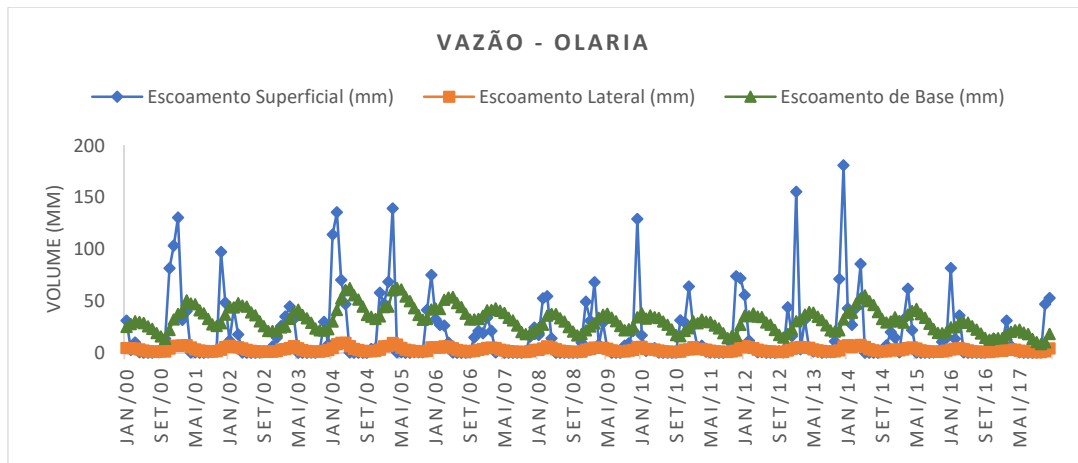


Figura 22 – Vazão do córrego Olaria – resultante do balanço hídrico.

A figura 22, aponta que em anos de onde foi observada uma precipitação média anual acima da média de 1.514 mm, o escoamento superficial produziu picos, resultante em um aporte maior que o escoamento de base. No entanto, para anos secos, o escoamento de base é o maior constituinte da vazão disponível. Reforça a importância em ambos os casos, para uma avaliação da forma de gerenciamento dos recursos hídricos, bem como a manutenção do meio ambiente.

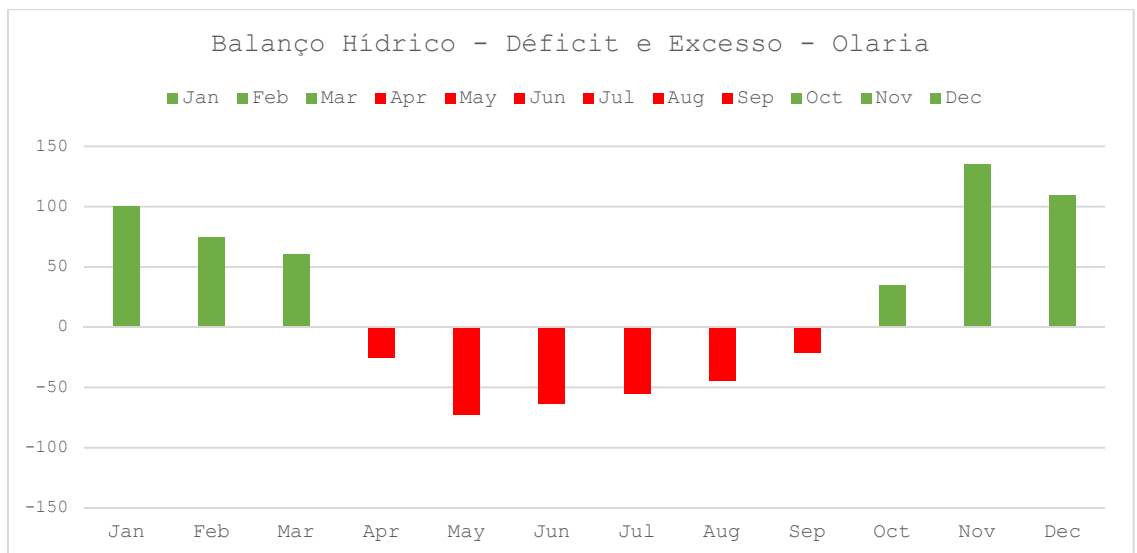


Figura 23 – Resultado de déficit e excesso resultante do balanço hídrico do Córrego Olaria.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Como pode ser observado na Figura 23, o mês de novembro apresenta a maior recarga do sistema, e os meses de abril a setembro os mais críticos. Observa-se ainda que após a retomada das chuvas, o sistema se recupera rapidamente. Fato este observado em bacias pequenas e com grandes áreas de solo exposto.

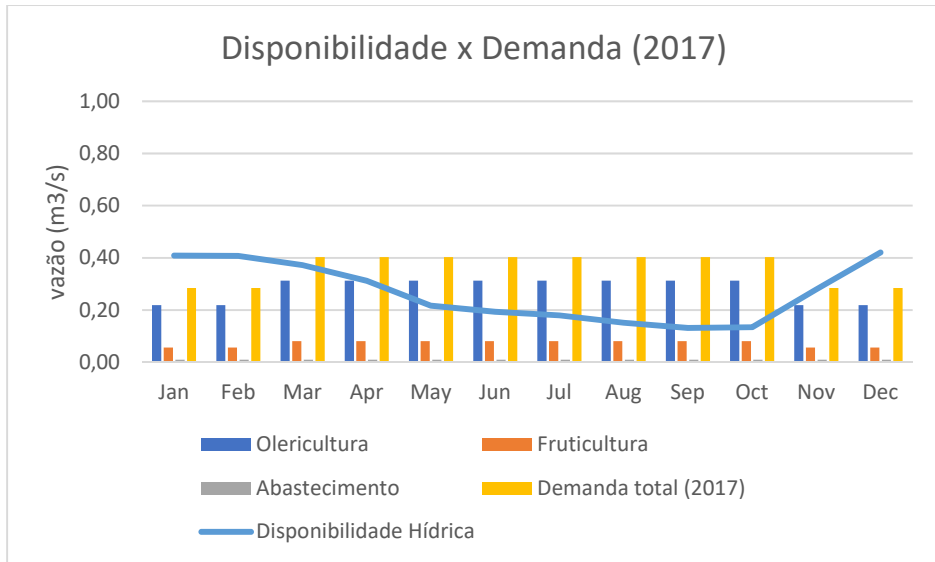


Figura 24 – Estudo de Disponibilidade e Demanda para o ano de 2017.

Ainda para o córrego Olaria, podemos observar que os meses de março a novembro, a disponibilidade hídrica é inferior a demanda estimada para o ano de 2017.

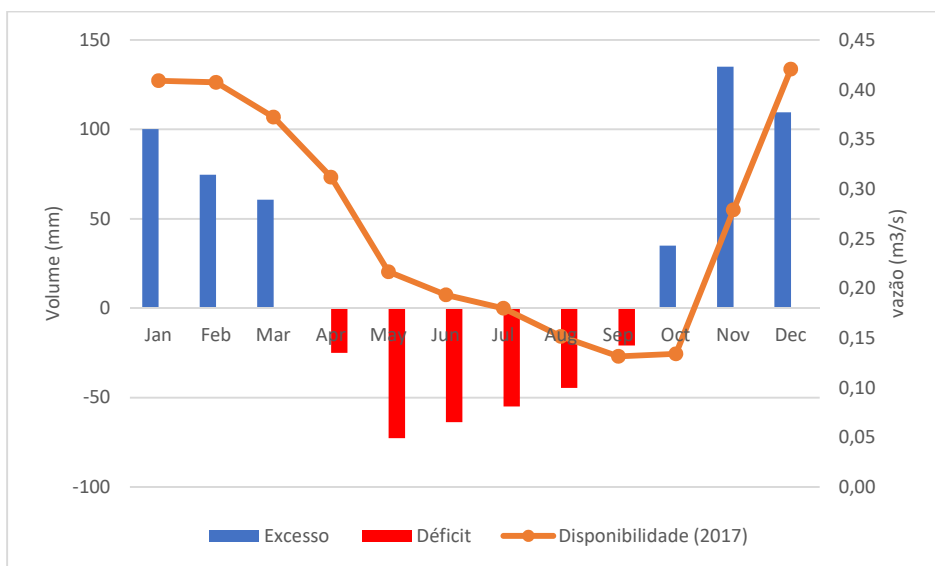


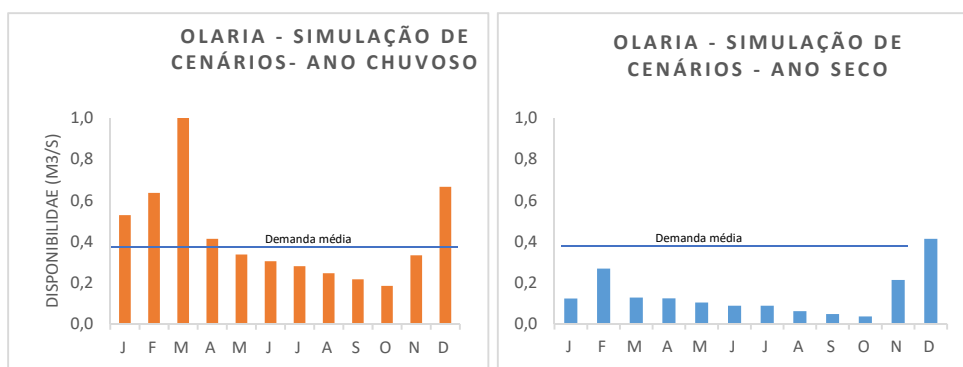
Figura 25 – Avaliação Balanço Hídrico e Disponibilidade Hídrica

## PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

Observa-se na Figura 25, que a recuperação da vazão disponível para bacia do córrego Olaria, coincide com o período de início do excesso do balanço hídrico. Este fato sugere a importância não só do escoamento de base, mas da manutenção do escoamento superficial. Em bacias hidrográficas de menor área e com menor área impermeável, a recuperação é mais rápida que em bacias com grandes áreas e áreas impermeáveis.

Foram estudados para o córrego Olaria dois cenários com projeção de crescimento populacional e áreas irrigáveis, para anos considerados secos (precipitação abaixo da média anual de 1514 mm), e para anos considerados chuvosos (precipitação acima da média anual de 1514 mm).

Para o cenário 1, foi considerada a projeção populacional de 10 anos e um crescimento de áreas irrigáveis de 12,8%. Para o cenário 2, foi considerada uma projeção populacional para 50 anos e crescimento em 30% de áreas irrigáveis.

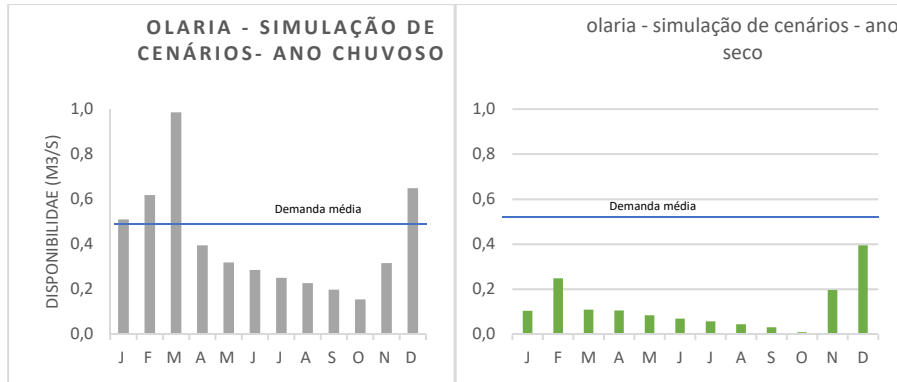


	VAZÃO (m3/s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
DEMANDA (2027)	0,31	0,31	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,31	0,31

Figura 26 – Estudo de Disponibilidade e Demanda ano de 2027 (cenário 1)

Na avaliação da Figura 26, observa-se que em anos chuvosos, a disponibilidade hídrica é insuficiente para os meses de maio a novembro. Ainda deve apontar que o mês de novembro, é onde a bacia apresenta a maior recuperação (excesso) dentro do balanço hídrico. Nos anos de estiagem, apenas o mês de dezembro atenderia a demanda projetada.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



DEMANDA (2067)	VAZÃO (m3/s)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Total	0,39	0,39	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,39	0,39

Figura 27 - Estudo de Disponibilidade e Demanda ano de 2067 (cenário 2)

Considerando o Cenário 2, em anos considerados chuvosos, a disponibilidade hídrica atende à demanda projetada nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março. No entanto, para anos de baixa precipitação, a demanda supera a disponibilidade.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

#### **4.4 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO RODEADOR**

A sub-bacia do córrego Rodeador, composta pelos córregos Jatobá, Cabeceira Comprida, Curral, córrego do Meio, Jatobazinho, Cristal e pelo Córrego Rodeador, apresenta uma área de aproximadamente 113,49 Km<sup>2</sup>. A vazão média é de 1,62 m<sup>3</sup>/s. O hidrograma de vazões médias disponíveis de vazão é apresentado na Figura 28.

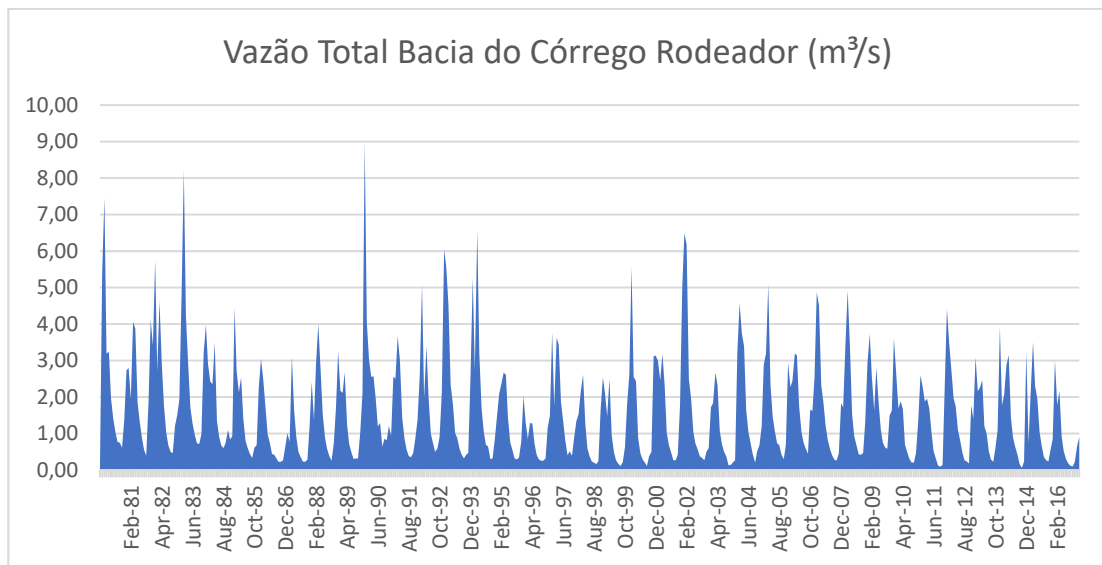


Figura 28 - Vazões médias mensais na sub-bacia do córrego Rodeador

A Figura 29 demonstra que o volume médio mensal disponível no córrego Rodeador para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2015, apresentaram valores médios de 4,29, 4,90, 4,48, 3,80 e 2,93 hm<sup>3</sup> respectivamente. Estes valores apresentados permitem inferir a disponibilidade hídrica da bacia vem diminuindo gradativamente anualmente. O volume médio determinado para a Sub Bacia do Córrego Rodeador é de 5,34 hm<sup>3</sup>/ano.

Na Figura 29, é apresentado apenas o fluxo de base e a linha de tendência linear afim de avaliar o comportamento dessa variável na série histórica analisada (1980 a 2014).

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

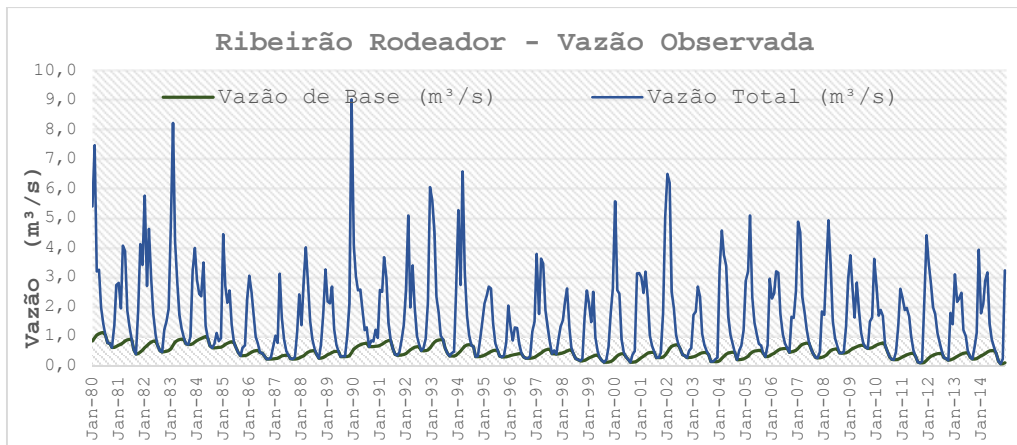


Figura 29 – Vazão total e fluxo de base separado pelo método do filtro digital. Sub-bacia do Ribeirão Rodeador.

Os resultados da modelagem utilizando o SWAT, obtiveram um NS de 0,69, demonstrando uma boa resposta para determinação do balanço hídrico e análise de cenários, consequentemente, uma boa ferramenta de gestão.

Quanto as vazões outorgadas pela ADASA, a sub bacia do córrego Rodeador para concedeu captação de uma vazão superficial de 8,61 m<sup>3</sup>/s, enquanto que para captação subterrânea de 34,34 m<sup>3</sup>/s. Onde 99,97% da vazão outorgada superficial é para irrigação, 0,013% para abastecimento humano, e o restante para outros usos como industrial, piscicultura, e dessedentação animal (Tabela 15).

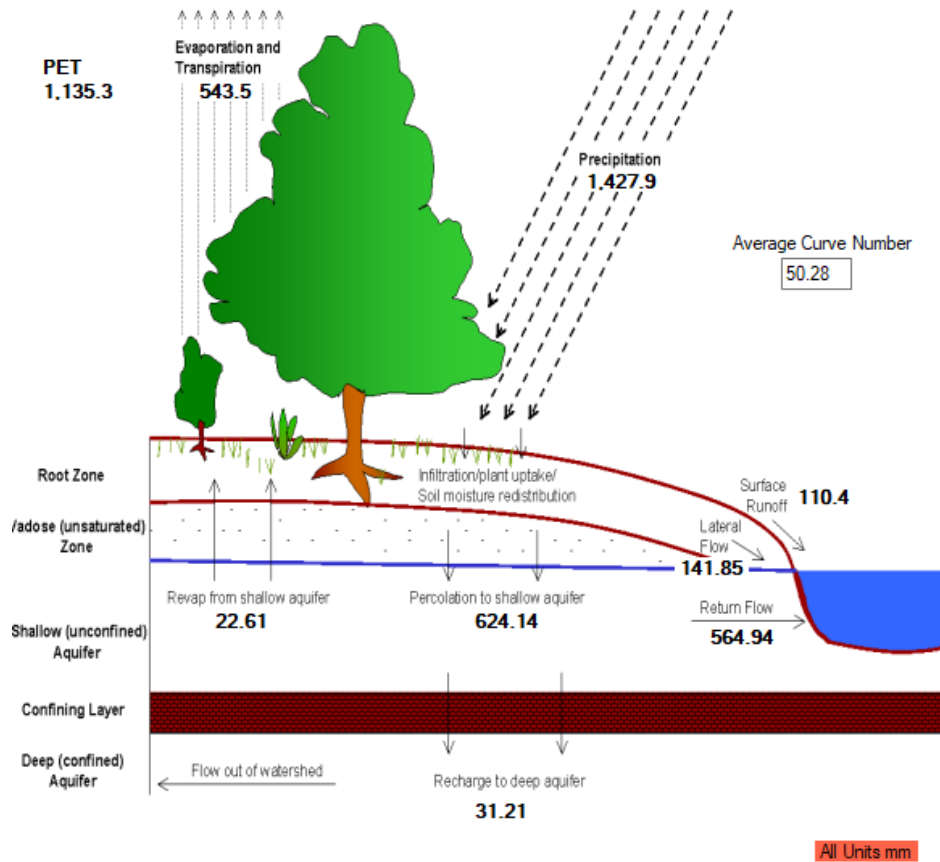
Tabela 15 – Demanda projetada para 2017 – baseada no uso e ocupação do solo

Demanda (2017)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Olericultura	1,43	1,43	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	1,43	1,43
Fruticultura	0,08	0,08	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,08	0,08
Abastecimento	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Total	1,56	1,56	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	1,56	1,56

A partir da demanda projetada para 2017 e dados hidrológicos avaliados, foram realizados estudos de disponibilidade e demanda para diversos cenários, e o balanço hídrico, para o Córrego Rodeador, com utilização do SWAT.



**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,57	0,86	0,14	0,44	0,02	0,38
Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração					

Figura 30 – Balanço Hídrico Córrego Rodeador – SWAT

O balanço hídrico do córrego Rodeador, representado na Figura30, podemos inferir:

- 86% da vazão disponível do córrego Rodeador é decorrente do escoamento de base, e apenas 14% decorrente do escoamento superficial;
- Conforme o modelo a precipitação média anual é de 1.427,9 mm;
- 57% do volume precipitado se reverte na vazão (disponibilidade hídrica), 38% evapotranspirado e 2% é percolado para recarga de aquífero profundo.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 16 – Resumo das médias anuais – Balanço Hídrico

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1553,80	101,90	154,64	317,69	574,23	678,81	534,05
2001	1398,30	77,05	140,61	601,06	818,72	632,02	537,01
2002	1131,10	62,31	104,64	602,09	769,04	454,22	528,13
2003	1129,10	53,57	106,17	461,07	620,81	479,27	538,63
2004	1692,20	112,58	181,19	624,43	918,20	817,82	521,35
2005	1655,40	125,78	180,37	729,51	1035,66	825,36	542,67
2006	1474,20	72,38	147,08	618,11	837,57	675,65	585,55
2007	1242,40	87,90	122,10	562,11	772,11	528,14	514,83
2008	1495,00	100,81	147,41	532,61	780,83	661,78	564,13
2009	1573,60	122,31	158,98	639,73	921,02	719,94	585,24
2010	1239,70	109,13	110,34	442,46	661,93	466,73	521,23
2011	1512,00	125,16	162,97	503,50	791,63	724,92	525,18
2012	1468,80	143,81	148,35	725,88	1018,04	657,75	522,89
2013	1981,30	247,10	211,11	713,28	1171,49	941,95	556,49
2014	1607,80	139,86	169,53	947,54	1256,93	758,18	575,46
2015	1190,00	103,80	105,28	485,35	694,43	458,68	550,94
2016	1251,90	99,21	106,99	367,82	574,02	446,36	596,00
2017	1105,10	102,48	95,63	294,68	492,79	395,95	483,86

No balanço hídrico do córrego Rodeador, demonstra a importância da manutenção e preservação da água subterrânea da sub-bacia, uma vez que esta é a principal responsável pela manutenção do equilíbrio hídrico da mesma.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

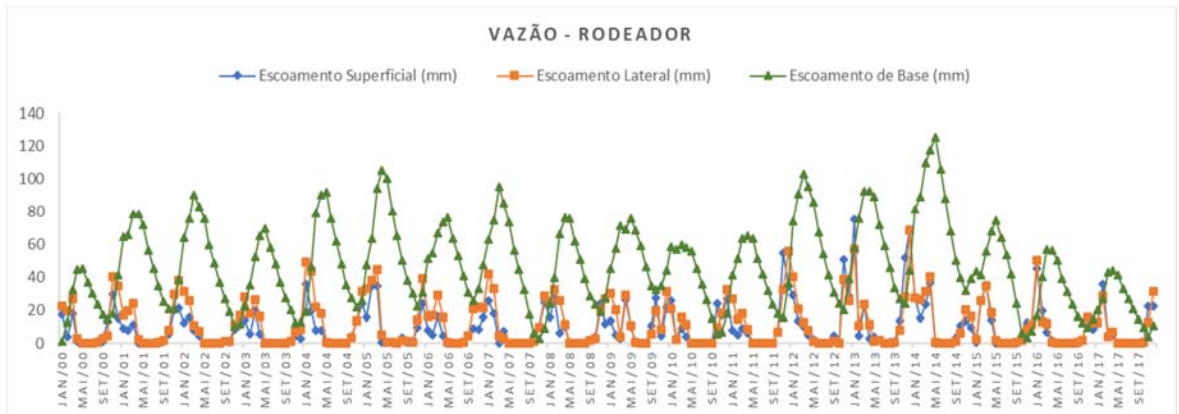


Figura 31 – Comparação entre escoamento de base e superficial no balanço Hídrico do córrego Rodeador.

Outro fato que reforça a hipótese anterior é a importância do volume percolado ao longo da bacia, comparado com volume evapotranspirado e vazão, principalmente em meses chuvosos.

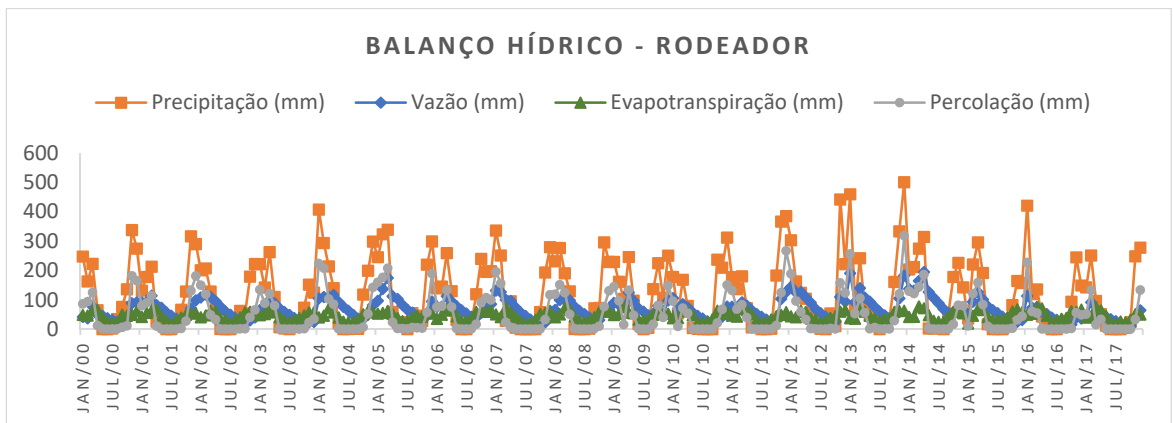


Figura 31 – Comparação entre volume precipitado, vazão, evapotranspirado e percolado da bacia do Rodeador.

O balanço hídrico demonstrou que o pico de recarga (excesso) no sistema é em novembro, e o mês mais crítico é em maio.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

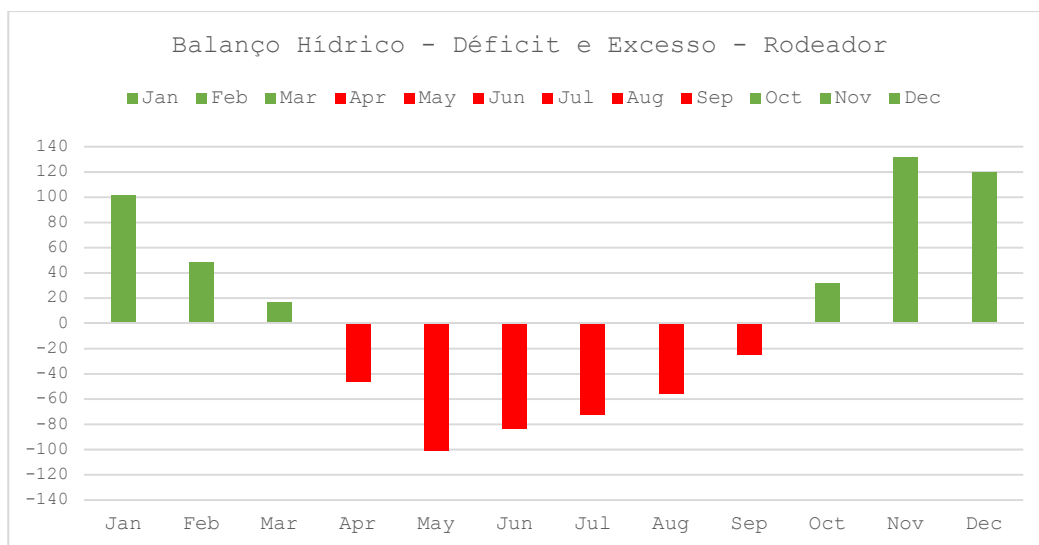


Figura 32 – Avaliação de déficit e excesso da bacia do Rodeador.

Avaliando a demanda, disponibilidade e o balanço hídrico para bacia do Rodeador, podemos inferir que os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, ocorre um déficit em relação a demanda e disponibilidade. Este fato é importante por demonstrar que existe um retardo em relação a recuperação da disponibilidade e o balanço hídrico, haja visto, que a maior disponibilidade de água ocorre no mês de fevereiro e o maior excesso de água no balanço ocorre no mês de novembro.

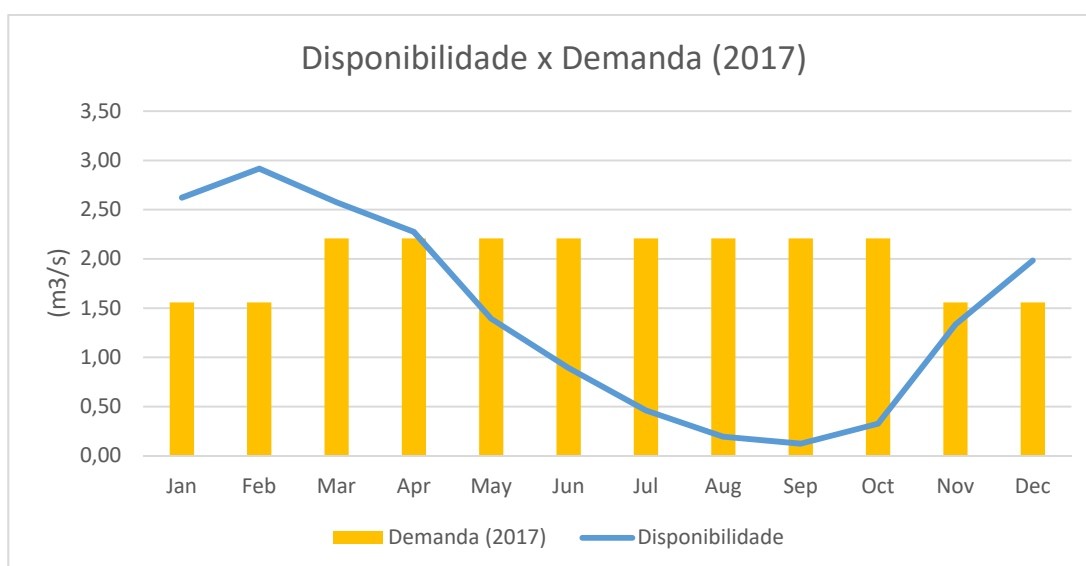


Figura 33 – Avaliação Disponibilidade e demanda para o Córrego Rodeador (2017)

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

O retardo em recuperação do manancial, pode ser atribuído a grande demanda de uso de água subterrânea, principal mantenedor do equilíbrio hídrico da bacia. A figura 34 permite visualizar melhor a demora para recuperação do manancial.

Esta observação é importante, pois aponta, que o gerenciamento do uso da água subterrânea na bacia do Rodeador deve ser mais restritivo.

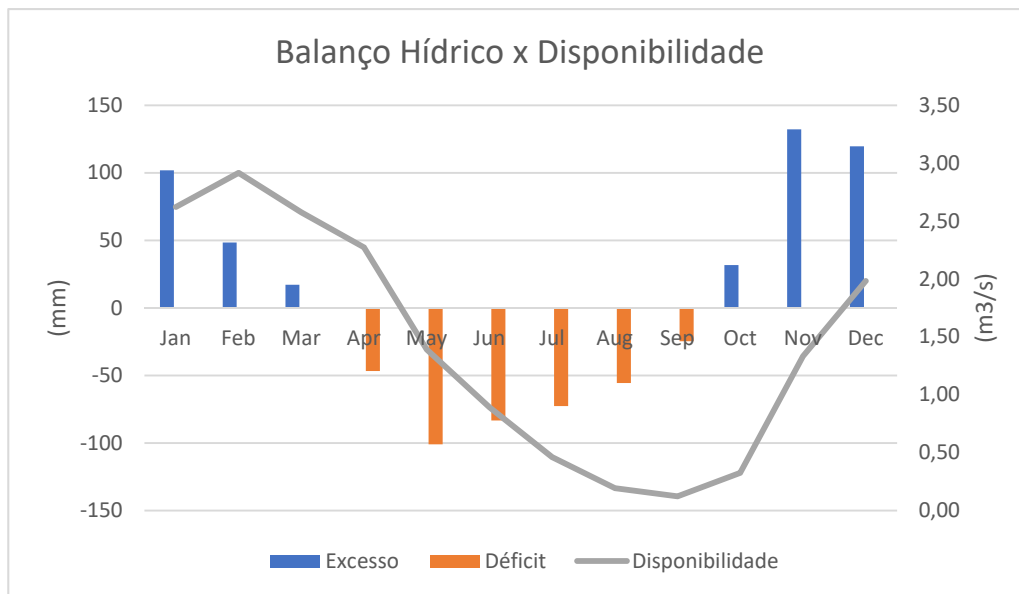
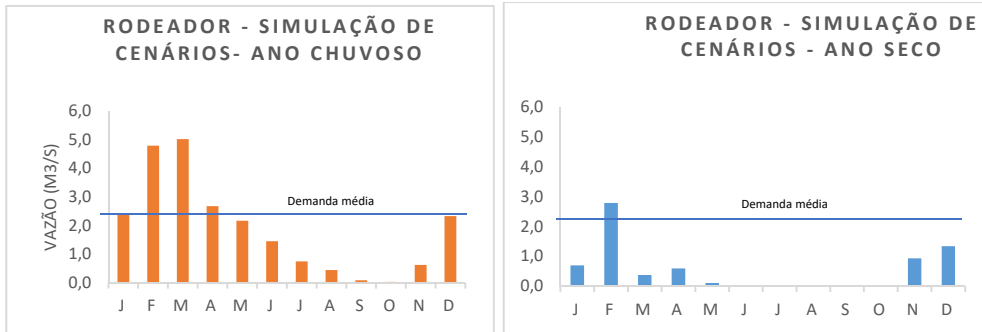


Figura 34 – Avaliação do Balanço Hídrico e Disponibilidade Hídrica para o córrego Rodeador.

Ainda, para o córrego Rodeador, foram realizados estudos de cenários computando crescimento populacional para 10 e 50, aumento da área irrigável para 12,8% e 30%, para anos considerados de seca (precipitação abaixo da média anual), e anos considerados chuvosos (precipitação acima da média anual).

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

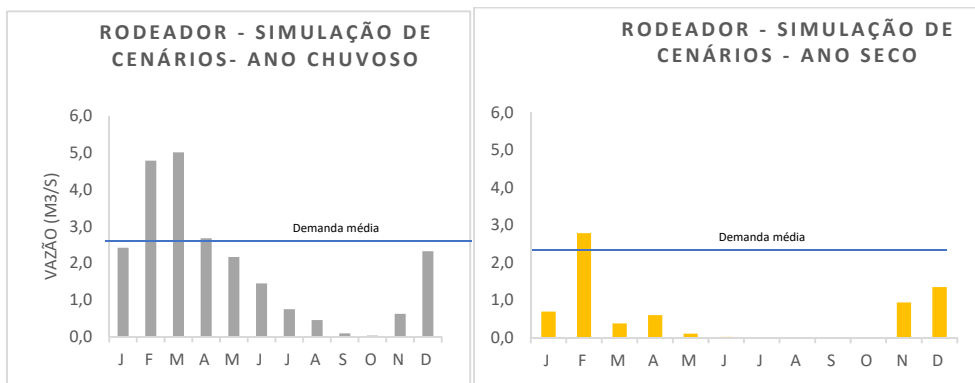


Demanda (2027) m3/s	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		1,77	1,77	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	1,77

Figura 35 – Avaliação da disponibilidade e demanda para um cenário de 2027

Para o cenário projetado do ano de 2027, pode ser observado:

- Para anos chuvosos, a disponibilidade de água é insatisfatória para os meses de julho a novembro.
- Para anos secos, com longo período de estiagem, apenas o mês de fevereiro, onde conforme balanço hídrico, observamos maior disponibilidade, a quantidade de água supre a demanda.
- Observa-se também que nos meses de maior estiagem a vazão aproxima-se do zero, conforme modelo matemático. Inferindo-se a necessidade de uma gestão mais restritiva do uso da água.



Demanda (2067) m3/s	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		2,20	2,20	2,89	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,20

Figura 36 – Avaliação da disponibilidade e demanda para um cenário de 2067

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Para o cenário projetado do ano de 2067, pode ser observado:

- Para anos chuvosos, a disponibilidade de água é insatisfatória para os meses de abril a dezembro.
- Para anos secos, com longo período de estiagem, apenas o mês de fevereiro, onde conforme balanço hídrico, observamos maior disponibilidade, a quantidade de água supre a demanda.
- Observa-se também que nos meses de maior estiagem a vazão aproxima-se do zero, conforme modelo matemático. Inferindo-se a necessidade de uma gestão mais restritiva do uso da água.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**4.5 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO CÓRREGO CAPÃO COMPRIDO**

O Córrego Capão Comprido está inserido dentro da área de proteção do Parque nacional de Brasília. O Distrito Rural de Alexandre Gusmão encontra-se localizado na sub-bacia. Esta faz divisa com o Setor O de Ceilândia. Possui uma região de característica rural, com propriedades produtoras de hortifrutigranjeiro.

A sub-bacia do Córrego Capão Comprido, possui um volume médio outorgado de água com captação superficial de 0,12 hm<sup>3</sup>, o que equivale a uma vazão de 0,07 m<sup>3</sup>/s, sendo 97% deste com a finalidade de irrigação, 3% dessedentação animal e 1% abastecimento individual.

Ainda na sub-bacia do Córrego Capão Comprido a vazão média subterrânea outorgada é de 0,079 m<sup>3</sup>/s, tendo seu uso principal o abastecimento humano.

Tabela 17 – Demanda calculada segundo uso e ocupação do solo para o Córrego Capão Comprido.

Demandas (2017)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Olericultura	0,118401	0,118401	0,169145	0,169145	0,169145	0,169145	0,169145	0,169145	0,169145	0,169145	0,118401	0,118401
Fruticultura	0,035103	0,035103	0,050148	0,050148	0,050148	0,050148	0,050148	0,050148	0,050148	0,050148	0,035103	0,035103
Abastecimento	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036	0,012036
Total	0,165541	0,165541	0,231328	0,231328	0,231328	0,231328	0,231328	0,231328	0,231328	0,231328	0,165541	0,165541

A Tabela 17 demonstra que o maior uso da água para a sub-bacia do Córrego Capão Comprido é irrigação.

A sub-bacia do córrego Capão Comprido abrange uma área de 16,6 km<sup>2</sup> de drenagem e apresenta uma média anual de vazão histórica de 0,36 m<sup>3</sup>/s. O hidrograma das vazões médias disponíveis é apresentado na Figura 37.



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

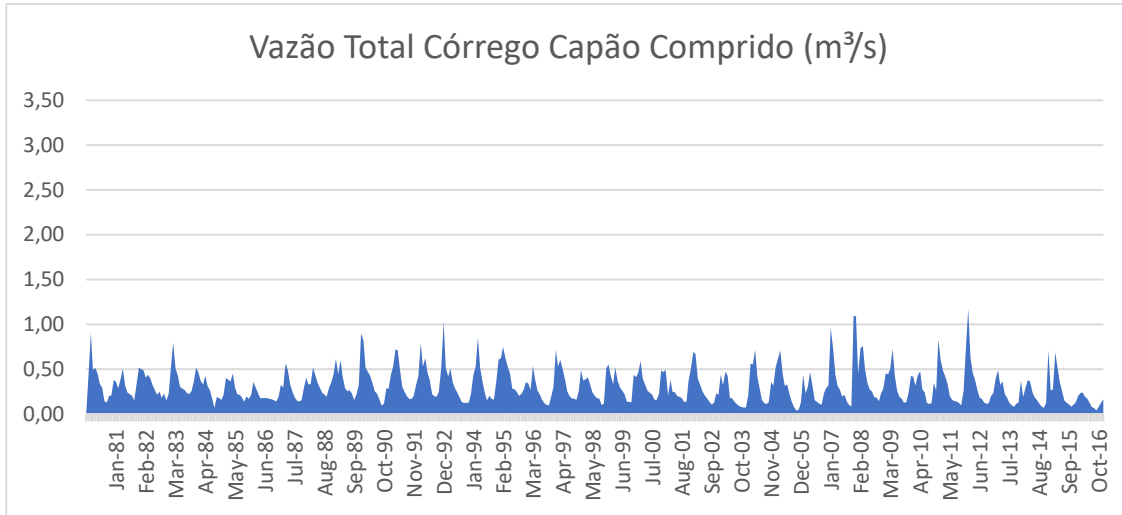


Figura 37 – Vazões médias mensais na sub-bacia do córrego Capão Comprido

O volume total determinado para a Sub bacia do Córrego Capão Comprido é de 1,32 hm<sup>3</sup>/ano.

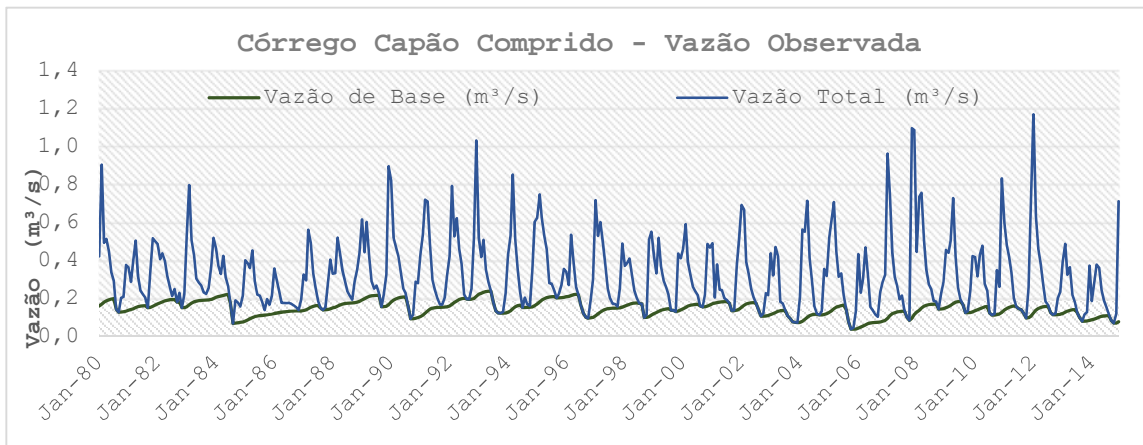


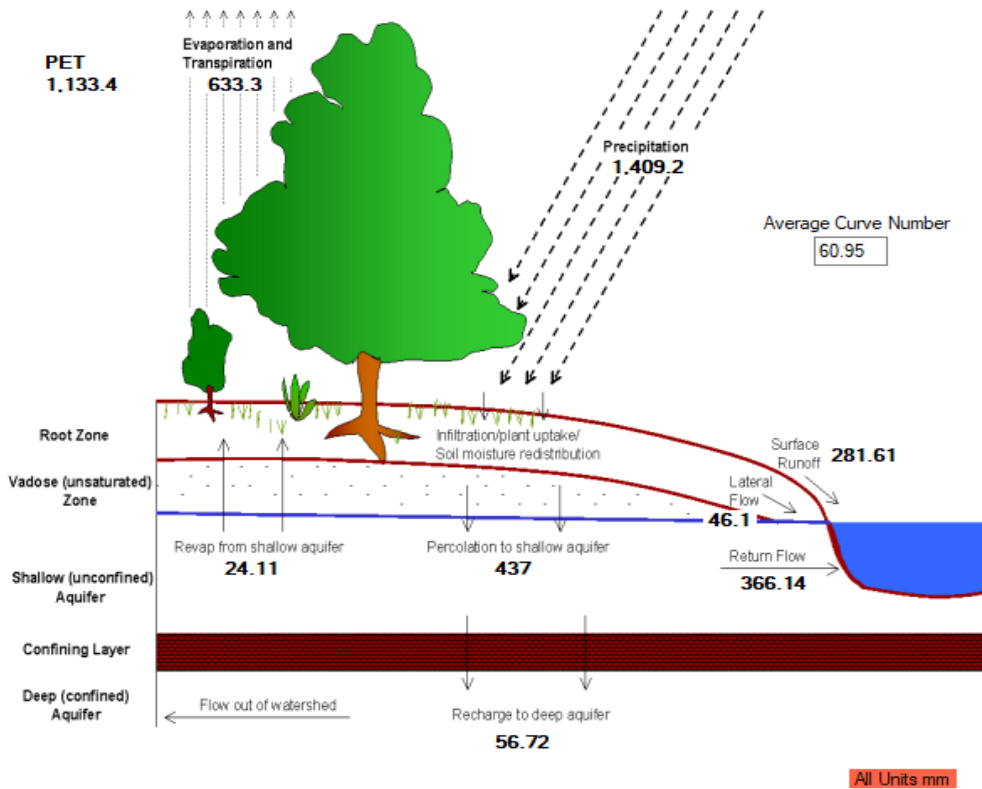
Figura 38 – Volume médio mensal na sub-bacia do córrego Capão Comprido com separação da vazão de base.

Os volumes médios mensais apresentados na Figura 38, apontam para um decaimento de 0,5 hm<sup>3</sup>, a partir do ano de 2010. Este demonstra que a disponibilidade hídrica da bacia do Capão comprido vem decaindo anualmente. Deve ser observado que a o mesmo não ocorre com a vazão de base o qual permanece praticamente constante.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Na sub-bacia do Córrego Capão Comprido o modelo SWAT, não apresentou resultados satisfatório, graficamente e estatisticamente, utilizando os dados de outorga (NSE = 0,32). Os resultados foram superiores quando não utilizado a retirada de água, porém não se alcançou aderência adequada. O modelo subestima as vazões de pico em todos os anos durante o período de chuva e subestima as vazões baixas, principalmente, ao final dos períodos de seca.

Mesmo com coeficiente de erro não satisfatórios, o resultado do balanço hídrico, avaliação de cenários, estudos de disponibilidade e demanda apresentam um indicio de como melhorar o processo de gerenciamento da bacia hidrográfica.



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,49	0,59	0,41	0,31	0,04	0,45
Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração					

Figura 39 – Balanço Hídrico da Bacia do Capão Comprido – SWAT

## PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

Infere-se a partir do balanço hídrico da sub bacia do Capão Comprido:

- A precipitação média anual é de 1.409 mm, sendo considerado ano seco os que atingem volumes menores a média anual, e anos chuvosos, os anos que atingem volumes maiores ao médio precipitado anualmente.
- A vazão total é decorrente do somatório da vazão de base e escoamento superficial, as duas são de grande importância para a bacia.
- O volume percolado é de 30% do precipitado, e apenas 4% contribui para a recuperação dos aquíferos profundos.
- Os valores de evapotranspiração são similares ao da vazão para a sub bacia do Capão Comprido.

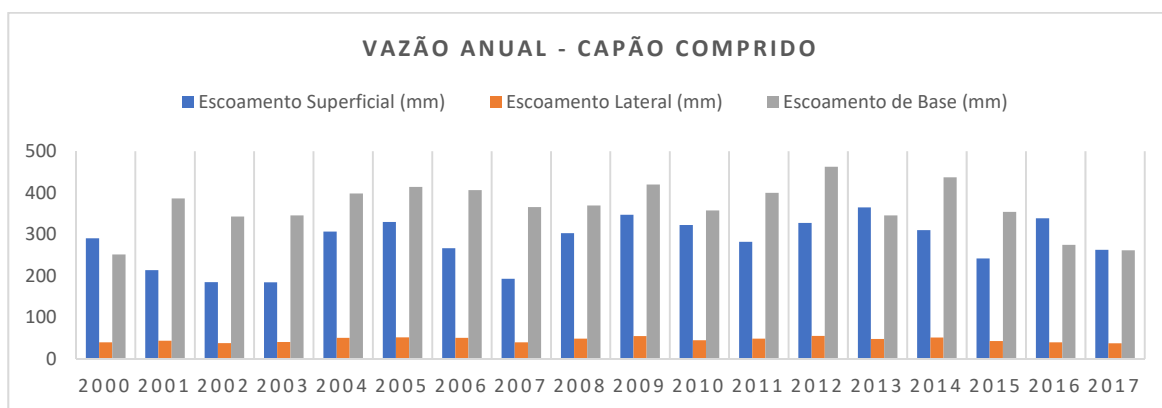


Figura 40 – Avaliação da composição da vazão anual da bacia do Capão Comprido

A figura 40 demonstra que o escoamento superficial é tão significativo quanto ao escoamento de base para a sub bacia do capão comprido. Este fato pode ser principalmente observado nos anos de 2016 e 2017, onde o Distrito Federal enfrentou anos com chuva abaixo da média anual. Demonstrando, que para a Bacia do Capão Comprido, a gestão eficiente das águas superficiais e subterrâneas, bem como a regulamentação do uso e ocupação do solo são importantes, para a manutenção do equilíbrio hídrico da bacia hidrográfica.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 18 – Resumo do balanço hídrico da bacia do Capão Comprido

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1529,10	290,27	39,82	251,29	581,38	496,10	641,20
2001	1336,80	213,94	43,72	386,00	643,66	422,04	640,92
2002	1100,60	184,83	38,04	342,75	565,62	275,40	628,46
2003	1137,10	184,70	40,77	345,46	570,93	385,56	603,85
2004	1592,70	306,87	50,72	398,04	755,63	537,07	605,28
2005	1569,50	329,58	52,07	413,75	795,40	555,22	640,06
2006	1469,80	266,71	50,91	406,59	724,21	487,03	686,01
2007	1148,50	192,95	40,04	365,53	598,52	332,52	593,62
2008	1532,80	302,81	48,84	369,29	720,94	499,59	652,01
2009	1676,90	346,80	55,11	419,76	821,67	567,71	707,55
2010	1440,70	322,35	44,77	357,39	724,51	450,66	599,77
2011	1330,80	281,95	48,98	399,68	730,61	439,10	597,76
2012	1513,10	327,41	55,17	462,56	845,14	496,17	639,37
2013	1605,30	364,84	48,26	345,31	758,41	530,79	639,85
2014	1428,30	310,13	51,66	437,10	798,89	453,47	648,80
2015	1250,90	241,94	42,82	353,86	638,62	330,74	651,77
2016	1381,00	338,65	40,16	274,63	653,44	375,23	626,61
2017	1321,00	262,36	37,84	261,52	561,72	382,26	596,22

A figura 41 demonstra o déficit e excesso, resultante do balanço hídrico da bacia do capão comprido. Neste pode ser observado que os meses de abril a setembro são de déficit, e os meses de outubro a março de excesso. Deve ser observado também que o pico de excesso é em novembro.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

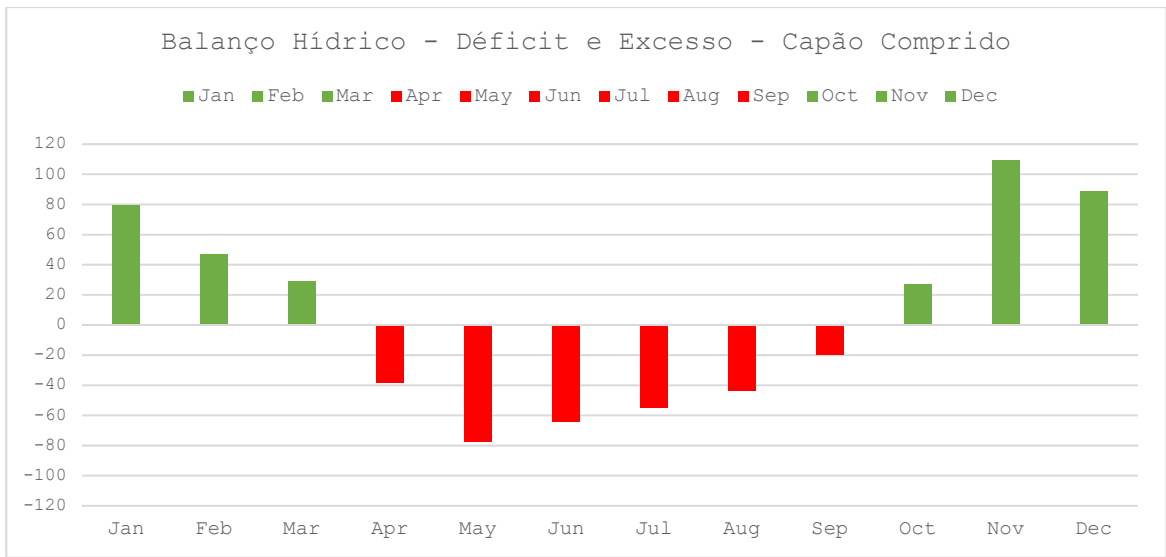


Figura 41 – Avaliação do déficit e excesso resultante do balanço hídrico para o Córrego Capão Comprido.

A figura 42 demonstra a disponibilidade de demanda estimada para o ano de 2017. Pode-se entender que nos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro, a demanda não é atendida na bacia. Nestes meses deve-se avaliar medidas restritivas para conservação e de uso da água.

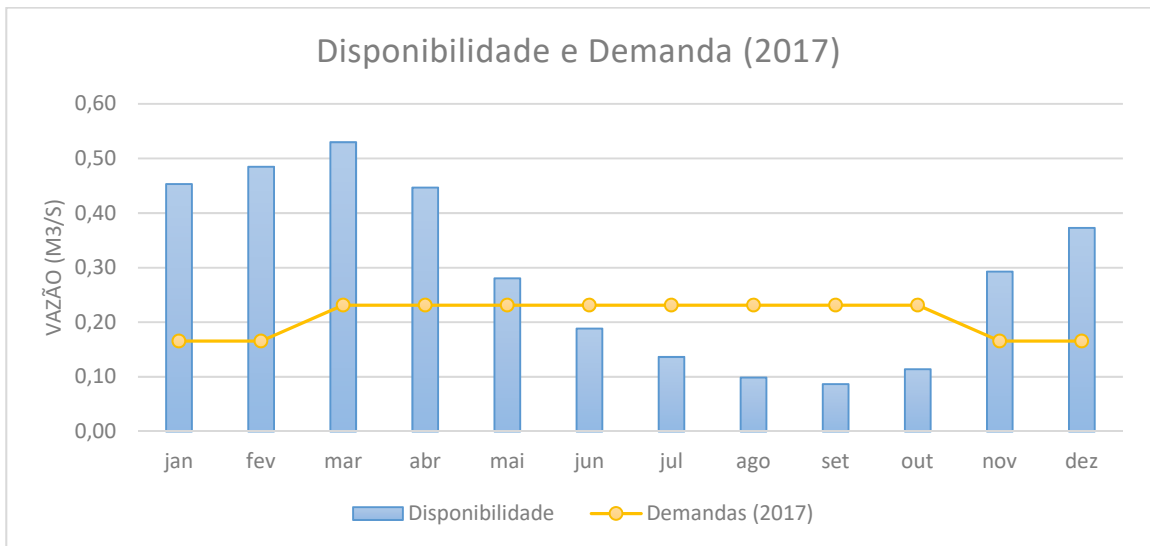


Figura 42 – Avaliação de Disponibilidade e Demanda de água para o ano de 2017

Ainda, se compararmos os dados de déficit e excesso, com os dados de disponibilidade hídrica, podemos inferir que a partir do início das chuvas, o manancial

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

começa a se recuperar. E a curva de déficit ocorre antes, do que o pico de menor disponibilidade no sistema.

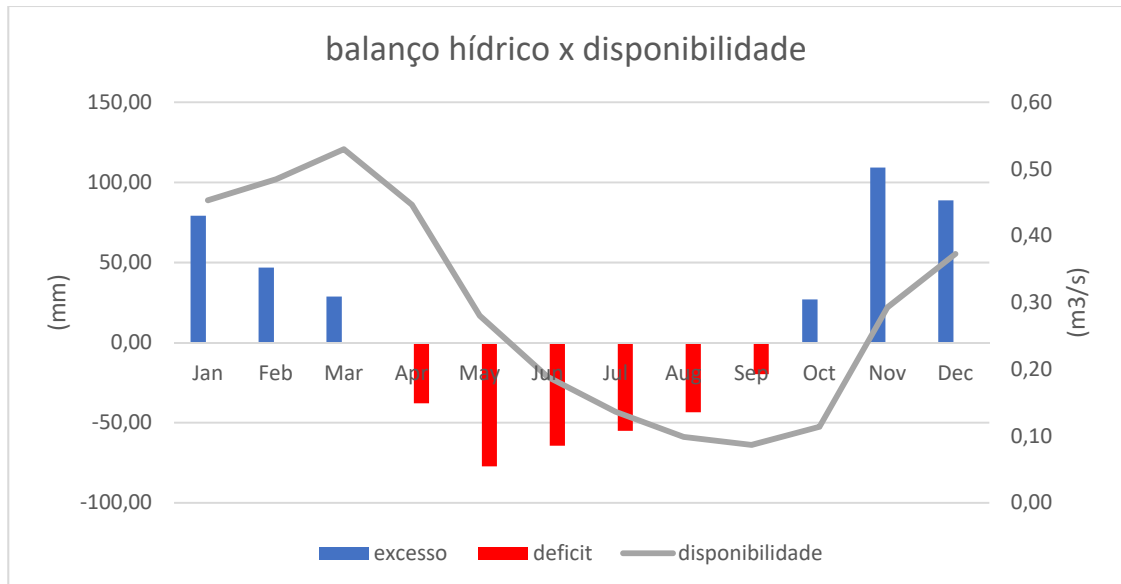
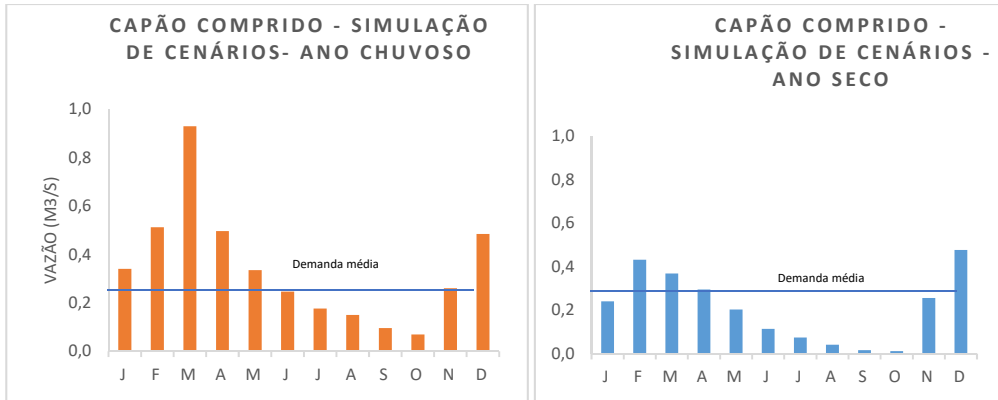


Figura 43 – Avaliação do Balanço Hídrico e Disponibilidade de água para a bacia do Capão Comprido (demanda de 2017)

A figura 43, apresenta a correlação entre a curva de disponibilidade hídrica e o balanço hídrico para bacia do Capão Comprido. Este gráfico permite uma avaliação visão do cenário atual.

Ainda, para a bacia do Capão Comprido, foram avaliados cenários especulativos, considerando uma projeção de crescimento de uso da água para o ano de 2027 e o ano de 2067, considerando um ano chuvoso e um ano de seca.

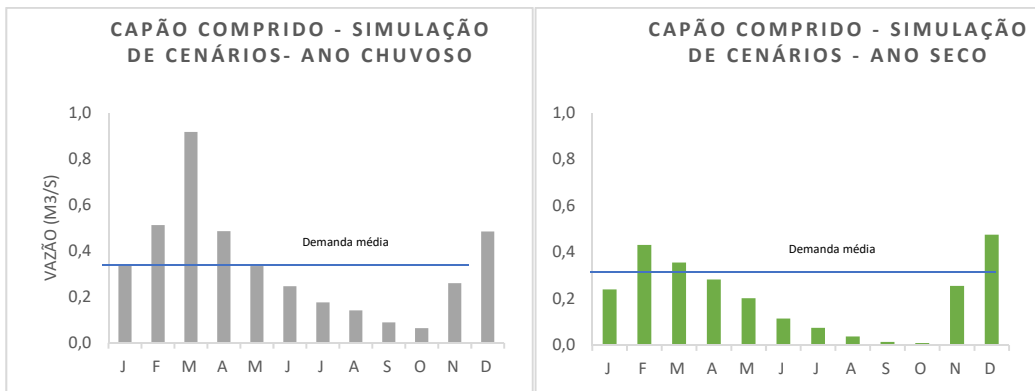
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Demandas (2027)	VAZÃO (m3/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
TOTAL	0,187	0,18743	0,2611	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,185	0,185

Figura 44 – Avaliação de cenário projetado de disponibilidade e demanda para o ano de 2027 (demanda média/ anual 0,23 m3/s).

Para um cenário de 2027, pode ser observado que nos meses de julho a outubro, a vazão simulada disponível, não atende à demanda calculada, em um ano chuvoso. Em um ano seco apenas os meses de dezembro a abril, suprem a demanda projetada. Observa-se que medidas restritivas de uso de água e conservação do solo, devem ser tomadas em anos secos.



Demandas (2067)	VAZÃO (m3/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
TOTAL	0,257	0,23298	0,3419	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,233	0,233

Figura 45 – Avaliação de cenário projetado de disponibilidade e demanda para o ano de 2067 (demanda média/ anual 0,3 m3/s).

ADASA/UNESCO\_ED05/17

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Para uma projeção de 50 anos, no período de ano seco o córrego capão comprido ainda possui aporte necessário para suprir a demanda nos meses chuvosos.



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**4.6 BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO CÓRREGO RIBEIRÃO DAS PEDRAS**

A sub bacia do ribeirão das Pedras encontra-se inserido dentro da área com maior densidade demográfica da Bacia do Descoberto. Nesta localizam-se Ceilândia, Taguatinga e Samambaia. Esta região possui grande demanda de água para abastecimento, e sobre com problemas relacionados a proteção das margens do manancial, poluição e processos erosivos.

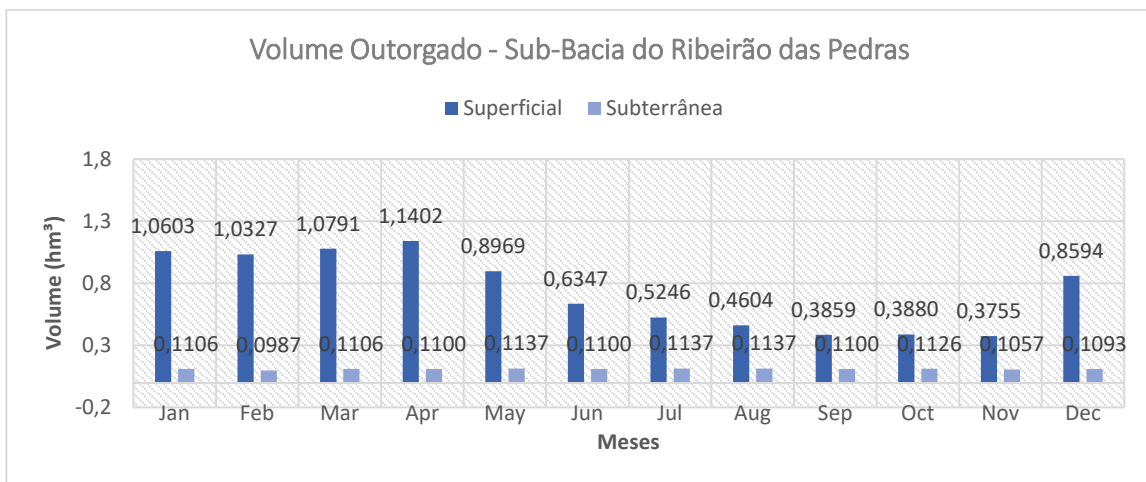


Figura 5 - Volume mensal outorgado para a sub-bacia do ribeirão das Pedras.

Como pode ser observado na figura 45, a vazão outorgada para captação superficial na bacia do Ribeirão das Pedras é superior que a vazão captada de água subterrânea. Deve ser ressaltado que a sub bacia do ribeirão das pedras corta a áreas mais populosas do DF, o que acarreta de em grande dano a qualidade quantidade de água do manancial. Quanto ao seu uso preponderante é a irrigação de hortaliças e cultivo de abobora, perfazendo 44% de toda vazão outorgada, 17 % para dessedentação animal, 19% para piscicultura e 19% para abastecimento humano. A tabela 19 exhibe, a demanda estimada/ por uso, baseada em dados de uso e ocupação do solo.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Tabela 19 – Demanda estimada para o ano de 2017 baseado no uso e ocupação do solo para bacia do Ribeirão das Pedras

Demanda (m <sup>3</sup> /s)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Olericultura	0,15	0,15	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,15	0,15
Fruticultura	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Abastecimento	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Total	0,20	0,20	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,20	0,20

Ainda, a sub-bacia do ribeirão das Pedras, apresenta uma área de drenagem de 80,85 km<sup>2</sup>. A rede hidrográfica é composta pelos córregos Currais e Veredinha que deságuam no Ribeirão das Pedras, cuja a vazão média mensal histórica é de 1,59 m<sup>3</sup>/s). O hidrograma das vazões médias disponíveis é apresentado na Figura 46. O volume total médio determinado é de 6,37 hm<sup>3</sup>.

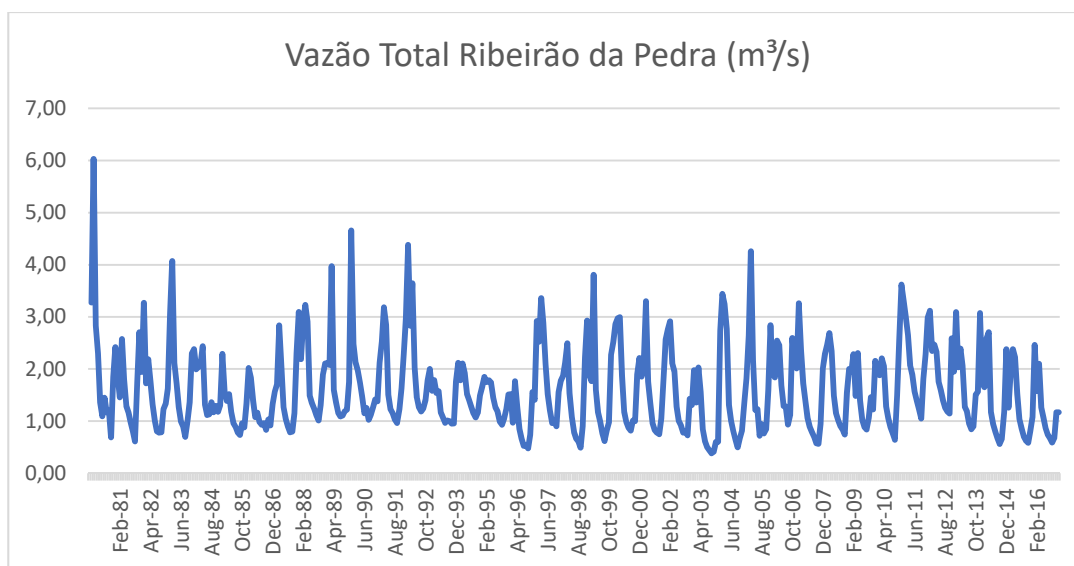


Figura 6 – Vazões médias mensais na sub-bacia no ribeirão das Pedras

O volume total médio determinado é de 6,37 hm<sup>3</sup>/ano. O volume médio da bacia do ribeirão das Pedras apresentou pouca variação durante os períodos de observação, este deve-se ao fato da preservação da área da bacia, o que permite uma melhor recarga do aquífero, e, portanto, manutenção do manancial.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

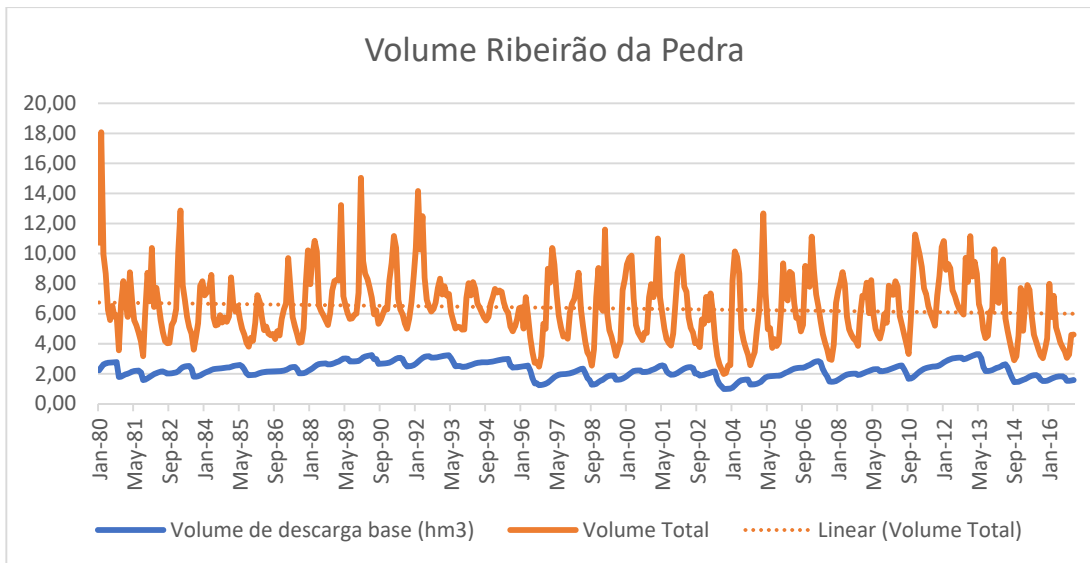


Figura 7 – Volume médio mensal na sub-bacia no ribeirão das Pedras

Para determinação do balanço hídrico e estudo de demanda x disponibilidade, foi realizada a modelagem matemática com utilização do SWAT. Na Figura 48 são apresentados os hidrogramas observado e simulado na sub-bacia do Ribeirão das Pedras seguido dos valores dos coeficientes de eficiência.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

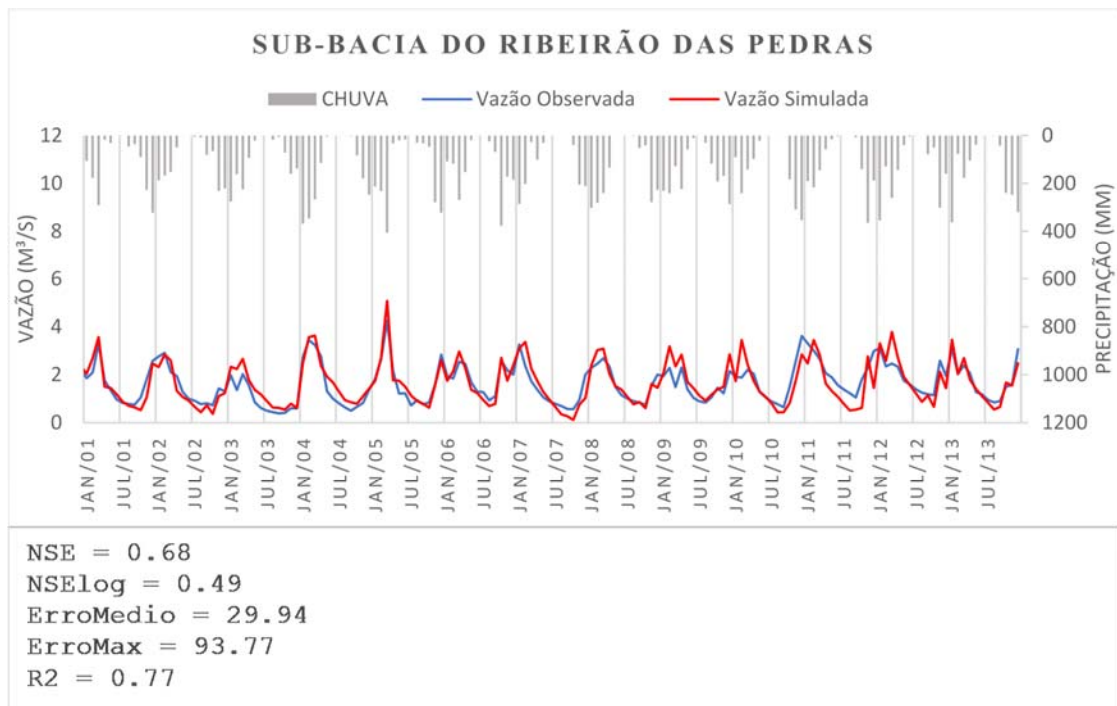
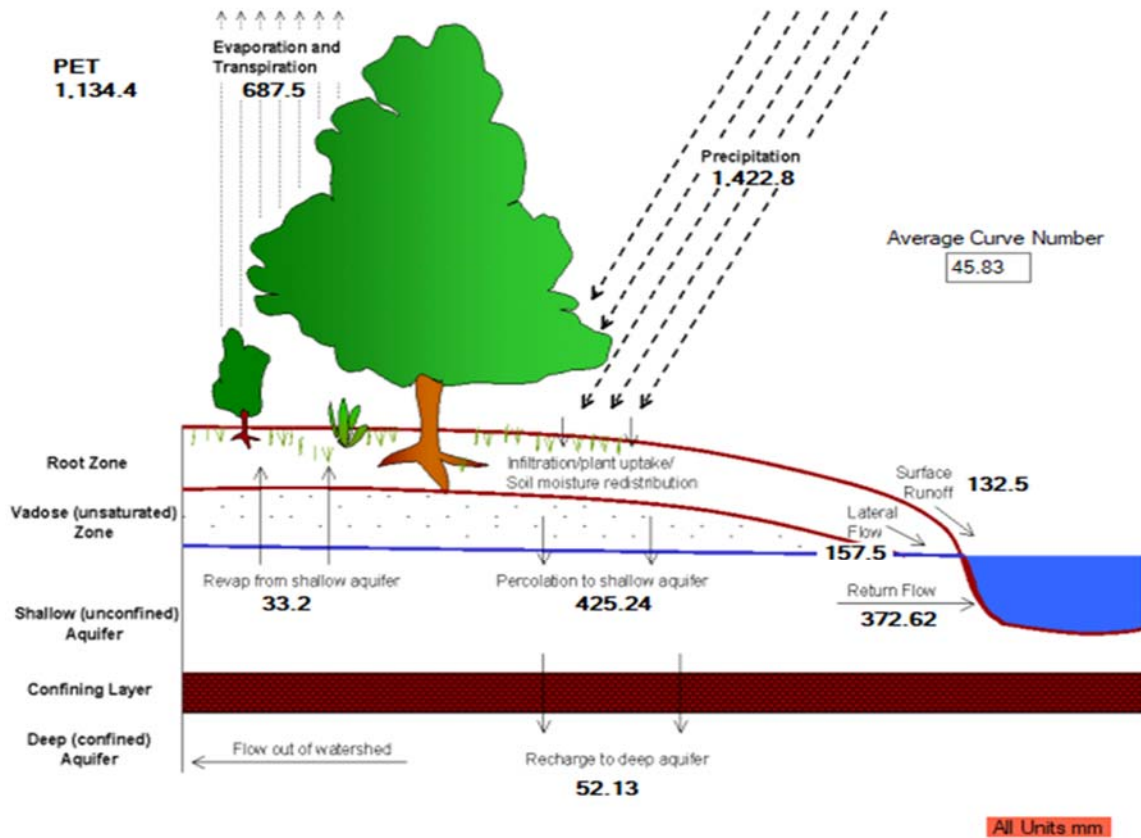


Figura 48 - Vazão observada versus vazão simulada na sub-bacia do Ribeirão das Pedras e coeficientes de eficiência. Simulação inicial com uso de água igual as outorgas, sem calibração.

O NSE determinado após calibração do SWAT, para a bacia do Ribeirão das Pedras foi de 0,68. Este de acordo com Moriasi et al. (2007), é satisfatório. O erro relativo diminuiu de 42,7% para 29,94%, 12,76%. Relativamente esse valor chega a aproximadamente 30% de melhora na simulação.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**



Relações do Balanço Hídrico					
Q/P	Eb/Q	Es/Q	Perc/P	Rp/P	E/P
0,47	0,8	0,2	0,3	0,04	0,48

Q - Vazão, P – Precipitação, Eb - Escoamento de base, Es - Escoamento Superficial, Perc – Percolação, Rp - Recarga do Aquífero Profundo, E - Evapotranspiração

Figura 49 – Resumo ilustrativo do balanço hídrico do Ribeirão das Pedras

O resultado do balanço hídrico do Ribeirão das Pedras, exibe os seguintes resultados:

- O escoamento de base constitui em 80% da vazão do manancial, e apenas 20% desta, é constituída pelo escoamento superficial.
- A taxa de evapotranspiração da bacia é de 48% do volume precipitado, enquanto 47% irão infiltrar ou escoar superficialmente.
- 3% do volume precipitado é percolado, e 4% infiltram recarregando o aquífero profundo.

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

- A precipitação média anual da bacia é de 1422 mm. Valores abaixo da média serão considerados para anos secos, ou seja, de baixa precipitação; e valores acima ao da média, serão considerados anos chuvosos.

Tabela 20 – Resumo dos volumes médios anuais resultantes do balanço hídrico

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento Superficial (mm)	Escoamento Lateral (mm)	Escoamento de Base (mm)	Vazão (mm)	Percolação (mm)	Evapotranspiração (mm)
2000	1573,10	146,08	188,14	437,84	772,06	561,89	666,00
2001	1348,20	108,91	139,42	418,59	666,92	402,80	673,72
2002	1169,80	100,29	118,30	365,24	583,83	290,80	688,88
2003	1169,40	88,82	130,88	349,73	569,43	354,24	666,54
2004	1614,10	142,08	189,65	411,77	743,50	562,14	649,27
2005	1630,60	173,89	194,29	414,33	782,51	587,60	666,56
2006	1496,50	144,24	173,62	420,16	738,02	490,45	717,19
2007	1104,30	90,76	113,01	399,78	603,55	288,16	650,01
2008	1559,20	146,35	172,56	389,63	708,54	500,01	693,89
2009	1686,20	156,33	193,60	410,41	760,34	574,16	758,36
2010	1439,50	143,17	150,60	388,04	681,81	428,63	683,61
2011	1330,10	128,05	160,61	409,16	697,82	426,34	663,71
2012	1524,40	149,74	176,76	458,92	785,42	508,86	694,14
2013	1613,20	156,90	183,90	403,73	744,53	560,67	690,86
2014	1397,10	134,62	161,33	450,66	746,61	436,52	701,69
2015	1252,30	107,73	127,28	386,00	621,01	319,27	727,44
2016	1381,10	149,99	146,56	339,38	635,93	372,04	718,04
2017	1321,00	111,02	131,89	272,50	515,41	371,37	643,41

A tabela 20 demonstra a importância do escoamento de base para a bacia do Ribeirão das Pedras, e a elevada evapotranspiração. Em bacias onde a vazão de base é a principal forma de recarga do sistema hídrico, o gerenciamento das águas subterrâneas deverá ser mais restritivo.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

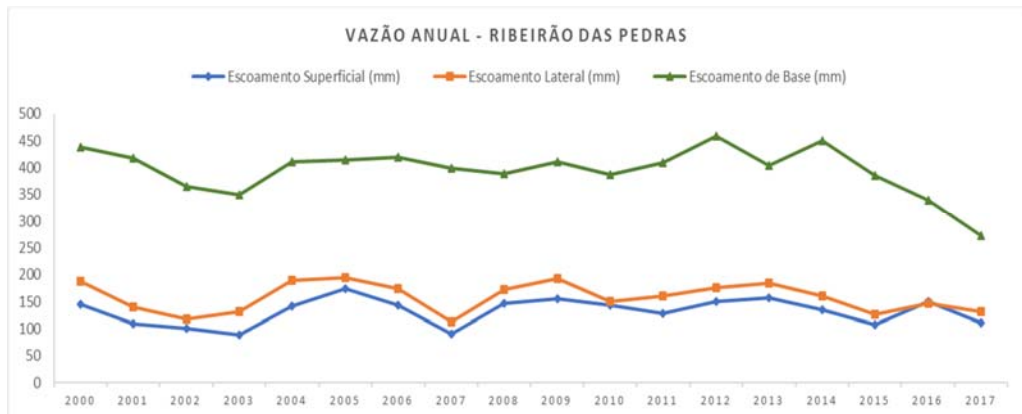


Figura 50 – Vazão anual do Ribeirão das Pedras – resultado do Balanço Hídrico  
 A figura 50, exibe a diferença entre a contribuição do escoamento de base, para o escoamento superficial e lateral, para formação da vazão disponível no sistema do Ribeirão das Pedras.

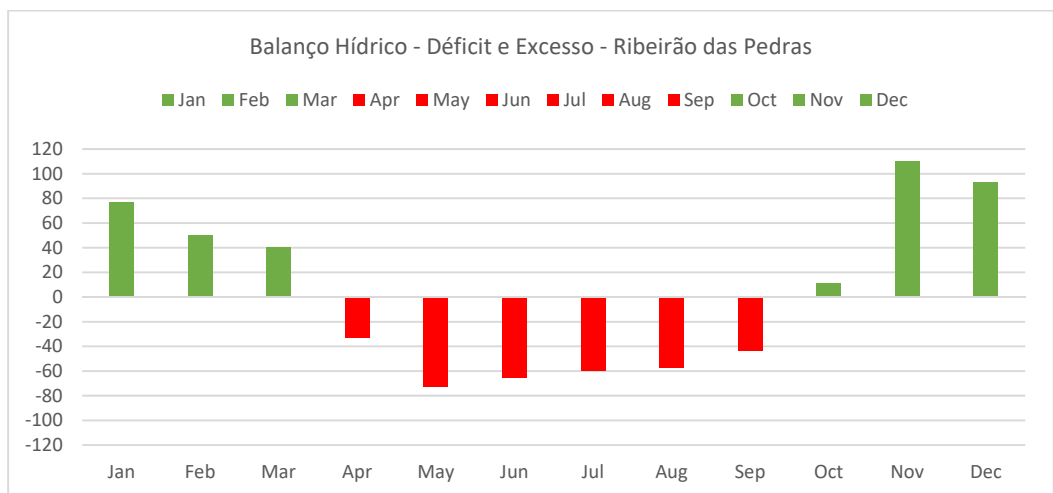


Figura 51 – Balanço Hídrico – Ribeirão das Pedras – Relação de déficit e excesso.

A figura 51, demonstra que nos meses de outubro a março, a bacia do Ribeirão das Pedras está sendo “recarregada”, ou seja, apresenta um excesso de água no sistema, sendo o mês de novembro o de maior recarga. Nos meses de abril a setembro, ela não recebe contribuição, ocorrendo um déficit no sistema.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

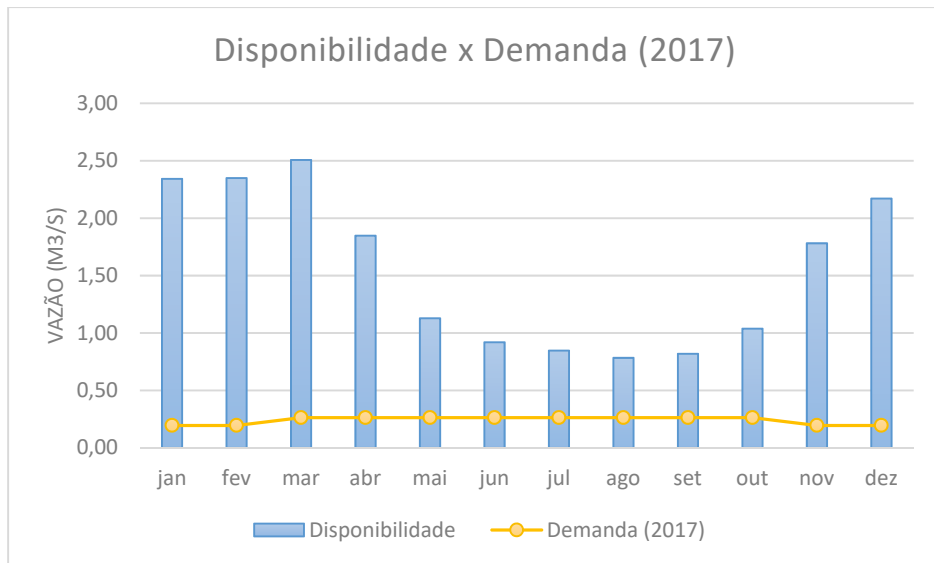


Figura 52 – Avaliação da disponibilidade e demanda estimada a partir de dados de uso e ocupação do solo para o ano de 2017.

A figura 52, demonstra que a vazão disponível na Bacia do Ribeirão das Pedras, é suficiente para atender a demanda estimada. Deve-se, porém, observar que neste estudo foram consideradas demandas de áreas de baixa densidade urbana, e áreas irrigáveis, resultando em uma baixa demanda de água, considerando que a bacia do Ribeirão das Pedras, é constituído pelos maiores centros urbanos do Distrito Federal. Os valores de demanda para esta sub bacia, podem estar subestimados.



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

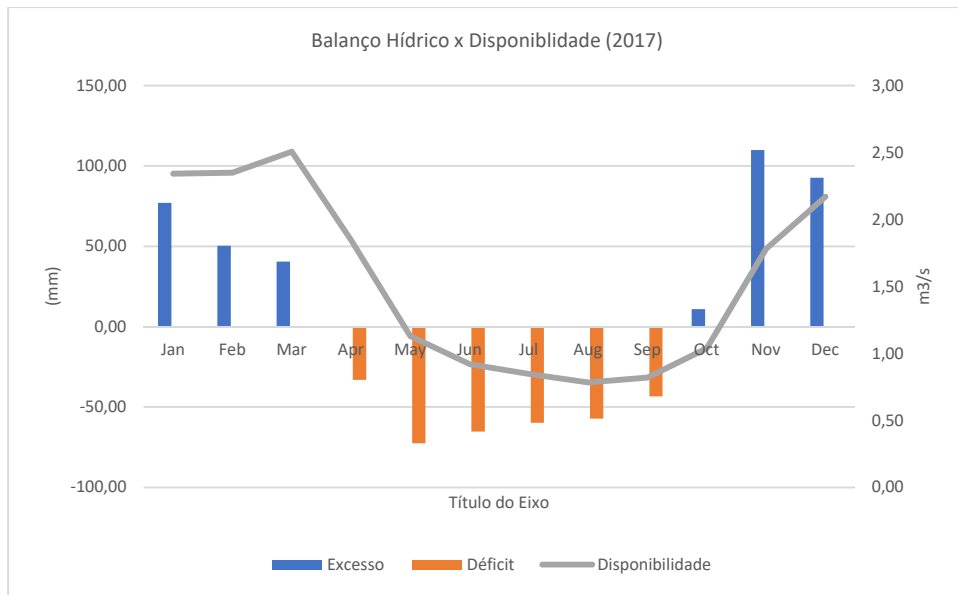
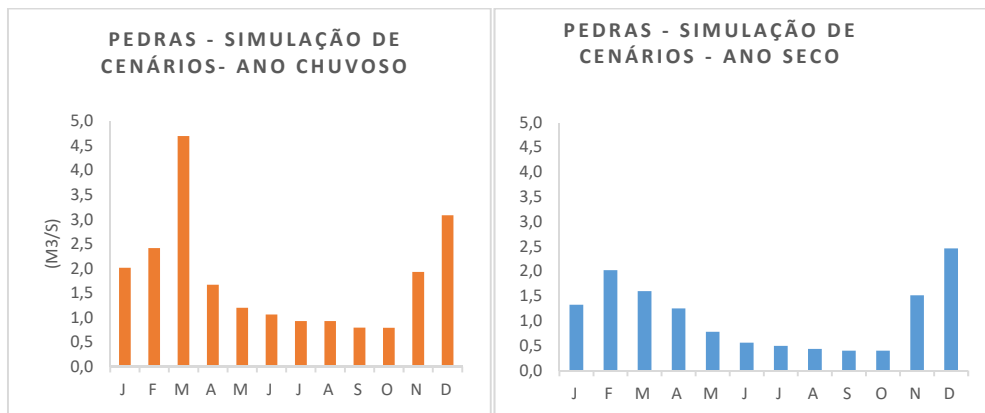


Figura 53- Avaliação da Disponibilidade estimada e o balanço hídrico.

Conforme apresentado na Figura 53, a bacia do Ribeirão das Pedras possui capacidade de resposta, coincidente ao período de recarga e estiagem do balanço hídrico.



	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
DEMANDA (2027)	0,23	0,23	0,3	0,3	0,303	0,303	0,3	0,3	0,3	0,3	0,23	0,23

Figura 54 – Avaliação de Demanda e Disponibilidade para cenário projetado de 2027 (demanda média anual de 0,28 m³/s).

Como pode ser observado na Figura 54, tanto em anos chuvosos e anos considerados secos, a demanda projetada é suprida. Ressalta-se, que para projeção da demanda foi considerado um crescimento populacional para áreas de baixa densidade populacional para 10 anos e um crescimento de áreas irrigáveis de 12,8%. Como já

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

apontando anteriormente, por se tratar de uma bacia com elevado uso e ocupação do solo, a demanda pode estar subestimada. Porém, para fins de tendência e entendimento do comportamento da bacia hidrográfica, considera-se a análise válida.

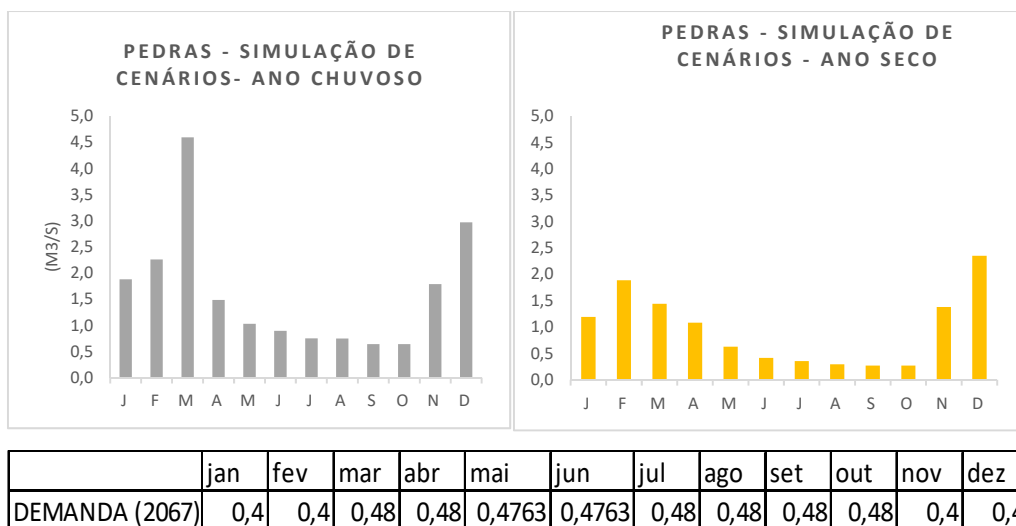


Figura 55 - Avaliação de Demanda e Disponibilidade para cenário projetado de 2067 (demanda média anual de 0,45 m<sup>3</sup>/s).

A figura 55, demonstra que existe disponibilidade de água para atendimento demanda projetada para o ano de 2067 na bacia do Ribeirão das Pedras. No entanto, sugere-se que esta demanda esteja subestimada, por considerar apenas áreas de baixa densidade demográfica e de irrigação para um período de 50 anos. Novos cenários, e estudos de demanda deverão ser realizados. Porém, para fins de tendência e entendimento do comportamento da bacia hidrográfica, considera-se a análise válida.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
 RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**5 - ESTUDOS DE DISPONIBILIDADE E DEMANDA PARA BACIAS NÃO MONITORADAS**

Devido a simulação efetiva da sub-bacia do Ribeirão das Pedras, e proximidade geográfica das sub-bacias não monitoradas, optou-se por utilizar os valores de calibração obtidos para ajustar os parâmetros das bacias que não apresentam monitoramento, e por isso o processo analítico de comparação entre as vazões observadas e simuladas não pode ser feito.

Na Tabela 6 são apresentados os valores adotados para a calibração da vazão nas sub-bacias não monitoradas.

Tabela 6 – Valores adotados para a calibração da vazão das sub-bacias não monitoradas.

Parâmetro	Valor de Calibração
1:R__CN2.mgt	-0.3256
2:V__ALPHA_BF.gw	0.863
3:V__GW_DELAY.gw	320.850006
4:V__GWQMN.gw	125
5:V__ESCO.bsn	0.235
6:V__GW_REVAP.gw	0.06014
7:V__SOL_AWC(..).sol	0.305
8:V__SOL_K(..).sol	92.700005
9:V__SOL_BD(..).sol	1.8712
10:V__SHALLST.gw	973
11:V__GWHT.gw	4.425
12:V__DEEPST.gw	2589
13:V__REVAPMN.gw	371.5
14:V__ANION_EXCL.sol	0.74359
15:V__SURLAG.bsn	17.03055
16:V__EPCO.bsn	0.051
17:V__RCHRG_DP.gw	0.1226
18:V__OV_N.hru	4.05865
19:R__WURCH(..).wus	0.1052
20:R__WUSHAL(..).wus	0.054

\*Método: V: igualar; R: multiplicar; A: adicionar

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**5.1 – ESTUDO BACIA DO BURITI-CHATO DF**

O Córrego Buriti Chato está situado na porção sul do lago da represa do descoberto, e a sua área possui principal vocação de produção de horticulturas. Observa-se que o volume outorgado subterrâneo é superior ao volume outorgado superficial, sendo o volume outorgado superficial praticamente utilizado para irrigação, onde o subterrâneo utilizado para abastecimento humano e dessedentação animal.

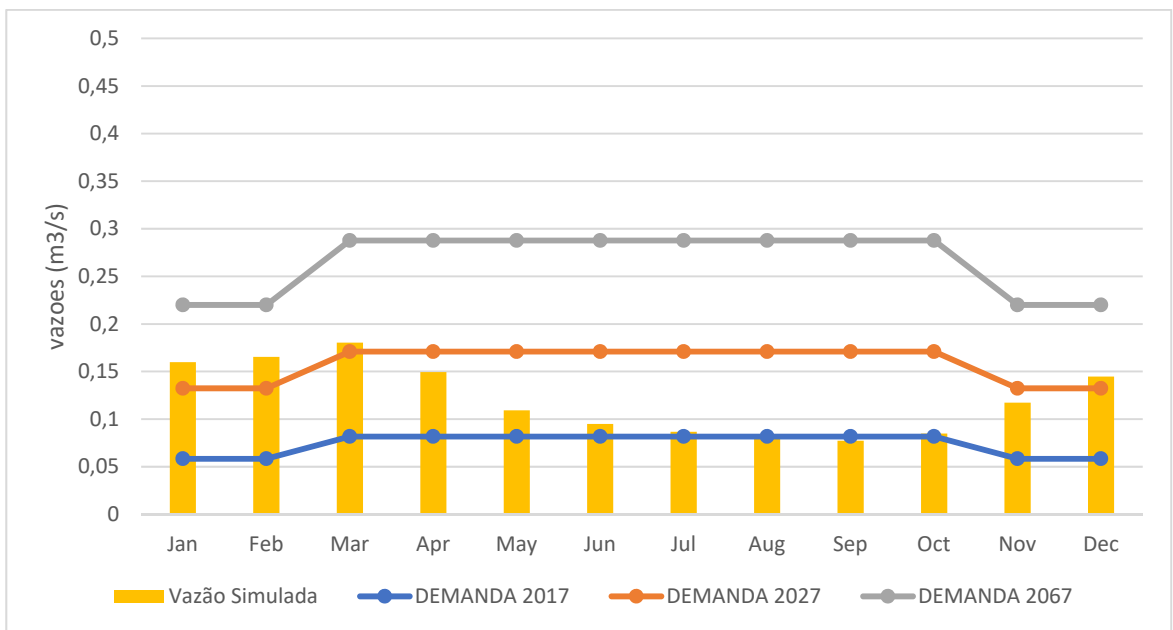


Figura 56 – Avaliação da Disponibilidade Hídrica e Demandas projetadas

A figura 56 demonstra que a vazão simulada para Bacia do Buriti Chato – DF, atende totalmente para demanda projetada de 2017. No entanto, quando consideramos um crescimento populacional para 10 e 12,5% de área irrigável, nos meses de estiagem, a vazão simulada apresenta um déficit para os meses de abril a novembro. Para a projeção de 50 anos, demonstra a região estaria saturada, não permitindo mais expansão e uso de água.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**5.2– ESTUDO BACIA DO ROCINHA DF**

O uso da água captada é principalmente destinado, a irrigação de hortaliças, plantação de milho/sorgo e arvores frutíferas, para a Bacia do Córrego Rocinha DF. Segundo dados da ADASA, o volume de água outorgado de água subterrânea e superficial são similares no Córrego Rocinha.

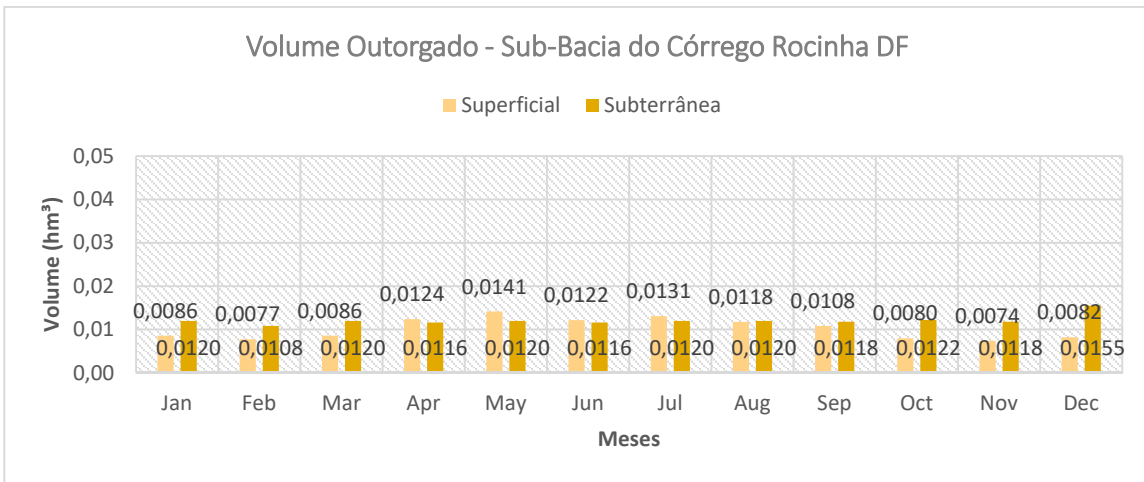


Figura 57- Volume mensal outorgado para a sub-bacia do córrego Rocinha DF.

Como esta é uma bacia não monitorada, o modelo SWAT, foi utilizado para determinação da vazão simulada, para que fosse possível estabelecer uma análise de demanda x disponibilidade para o mesmo.

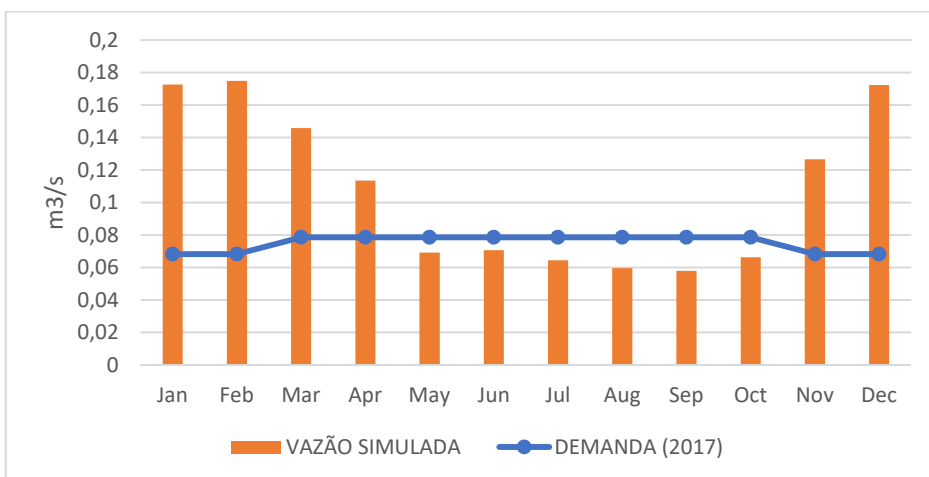


Figura 58 – Avaliação de Disponibilidade e Demanda para o Córrego Rocinha DF

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

Como pode ser observado na Figura 58, a vazão simulada média anual, não atende à demanda estimada para o ano de 2017, nos meses de maio a outubro, estes caracterizados pelo período de estiagem. O mesmo ocorre para a projeção de 2027 e para a projeção de 2067, o manancial apresenta déficit total, não sendo capaz de aportar a demanda projetada. Estes valores simulados e projetados, servem apenas para balizar tomadas de decisão no gerenciamento da bacia do Rocinha DF.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**5.3– ESTUDO BACIA DO CÓRREGO DO MEIO**

As outorgas concedidas no Córrego do Meio são em sua maioria subterrâneas utilizadas prioritariamente para abastecimento humano. Já a captação superficial é em sua maioria para irrigação de cultivos de hortaliças.

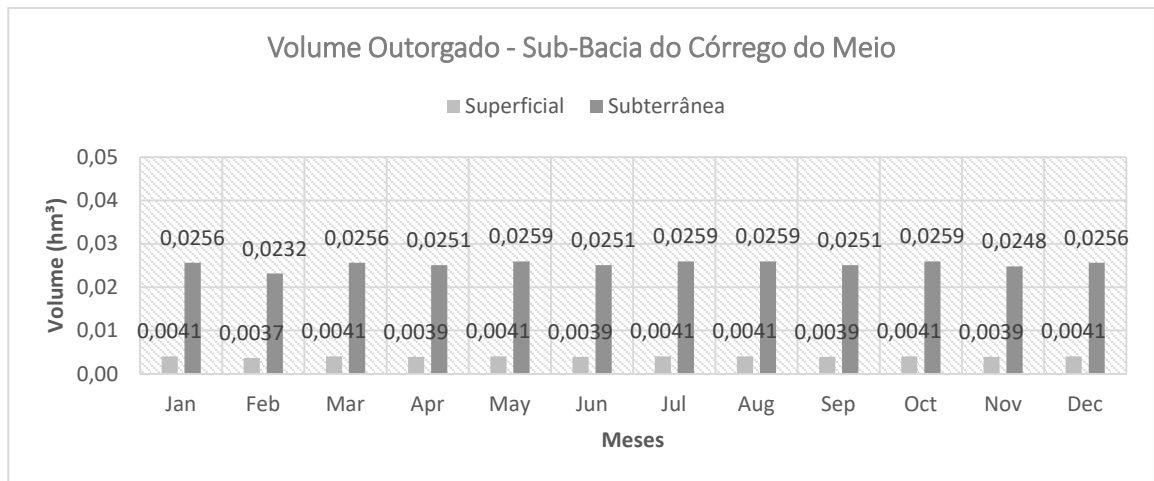


Figura 59- Volume mensal outorgado para a sub-bacia do córrego do Meio DF.

A vazão simulada pelo SWAT para o córrego do Meio DF, aponta uma diminuição da disponibilidade da vazão a partir do ano de 2016. Estes caracterizado pelo período longo de estiagem, mesmo ocorre no ano de 2004 e 2005, onde a precipitação foi baixa na região. A precipitação média estimada para a bacia é de 118 mm/ano.

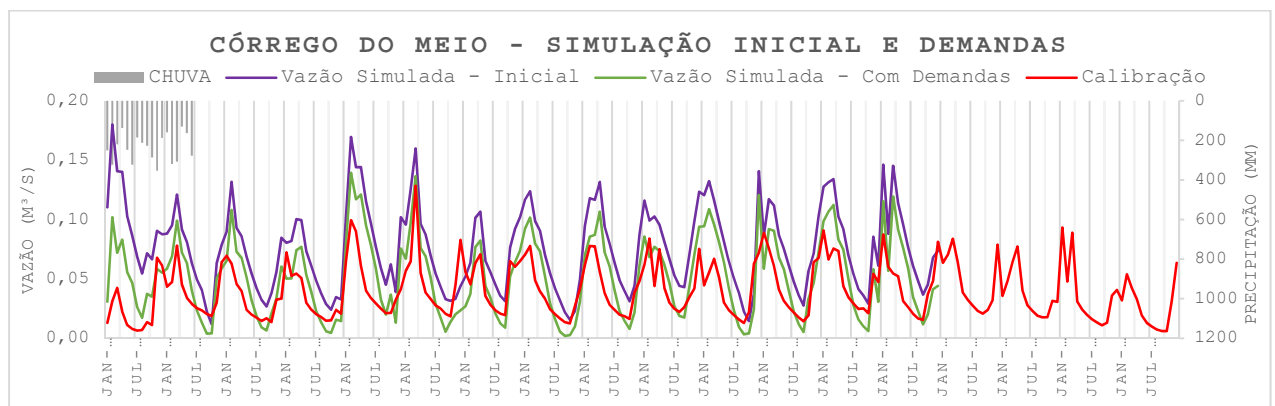
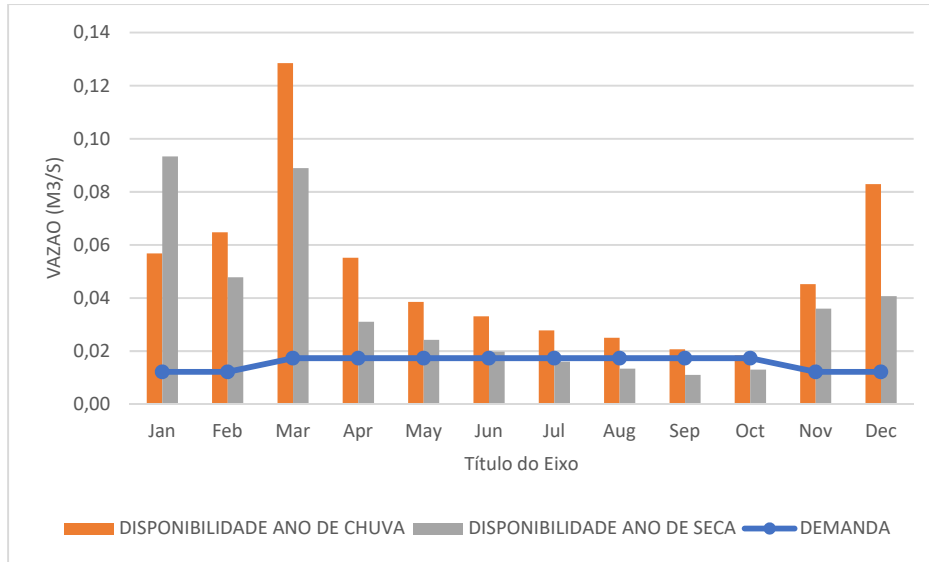


Figura 60 – Vazão simulada pelo SWAT para o Córrego do Meio DF

**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

O estudo de demanda realizado, comparado com os valores de vazões simuladas, para um ano chuvoso e um ano de seca, indicam que a bacia possui capacidade de para atender os usos da água para abastecimento e irrigação.



Vazão (m3/s)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
DEMANDA	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
DISPONIBILIDADE ANO DE CHUVA	0,06	0,06	0,13	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,08
DISPONIBILIDADE ANO DE SECA	0,09	0,05	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04

Figura 61 – Estudo de disponibilidade e demanda para bacia do Córrego do Meio

Os valores das vazões simuladas pelo SWAT, para bacias monitoradas, devem ser utilizadas como tendências, auxiliando no processo de gerenciamento da bacia hidrográfica.



ADASA/UNESCO\_ED05/17  
**PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO**

**6 - RECOMENDAÇÕES**

O SWAT demonstrou ser uma ferramenta eficiente para indicar tendências e auxiliar no conhecimento do comportamento de algumas das bacias modeladas.

A bacia do Rodeador, Capão Comprido, Chapadinha, Descoberto e Olaria, apresentaram respostas satisfatórias em relação ao estudo de disponibilidade e demanda proposto no corrente estudo. No entanto, para bacia das Pedras, a demanda estabelecida, sugere estar subdimensionada, devendo a metodologia de estudo ser revista.

O balanço hídrico indicou que algumas sub bacias, a recuperação do manancial após o período de estiagem apresenta um retardo, este fato foi principalmente observado para sub bacias onde o escoamento de base apresenta o maior aporte em relação aos demais inputs do balanço hídrico. Para estas sub bacias, o estabelecimento de medidas mais restritivas, devem ser adotadas para gestão das água subterrânea.

Observou-se também que para anos simulados, considerados seco, a demanda é superior a disponibilidade da água da bacia hidrográfica.

Para as bacias não monitoradas, o SWAT permitiu estabelecer linhas de tendência, para que possa adotar ferramentas eficazes no gerenciamento dos recursos hídricos.

Em todas as sub-bacias estudadas a irrigação apresentou maior demanda, que a voltada para abastecimento.

ADASA/UNESCO\_ED05/17  
PRODUTO 4 – ESTUDO TÉCNICO SOBRE AS DISPONIBILIDADES DO  
RECURSO HÍDRICO NA BACIA DO ALTO DESCOBERTO

**7 - REFERÊNCIAS**

ADRIOLO, M.V.; SANTOS, I.; GIBERTONI, R.C. & CAMARGO, A.S.G. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., Belo Horizonte, 2008. Anais... Belo Horizonte, 2008.