

IV-163 - MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIACHO FUNDO NO DISTRITO FEDERAL, UTILIZANDO O MODELO SWAT

Amanda do Nascimento Ferreira⁽¹⁾

Engenheira Civil pelo Centro Universitário do Distrito Federal.

Jéssica Sousa da Silva⁽²⁾

Engenheira Civil pelo Centro Universitário do Distrito Federal.

Carlo Renan Cáceres de Brites⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília. Engenheiro da Assessoria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. Professor do curso de Engenharia Civil do UDF Centro Universitário.

Sara Ferrigo⁽⁴⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade de Brasília. Doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília.

Endereço⁽¹⁾: QNM 18 conjunto G casa 45 - Ceilândia - DF - CEP: 72210187- Brasil - Tel: (61) 35814032 - e-mail: amanda.anf@hotmail.com

RESUMO

O foco desta pesquisa foi contribuir na gestão dos recursos hídricos e para o conhecimento da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, um dos afluentes do lago Paranoá. Para o estudo do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica foi utilizado o modelo SWAT. A análise do comportamento hidrológico foi feita para o período de 2009 a 2013. Realizou-se uma análise de sensibilidade com os parâmetros que influenciam no tocante vazão e com intermédio dessa avaliação, foi feita a alteração do valor de α_{bf} , que mostrou melhor adequabilidade a bacia em estudo. Para avaliar a eficiência do modelo utilizou-se o Nash e R^2 , foram comparadas as vazões simuladas com as vazões observadas, a simulação resultou nos valores 0,61 e 0,71, respectivamente, que demonstram representatividade satisfatória das condições reais da bacia. A fim de avaliar o desempenho do modelo calibrado na bacia hidrográfica do Riacho fundo, realizou-se uma simulação com a alteração no manejo do solo da região em estudo e esta simulação que apresentou um adensamento populacional gerou menores níveis de vazão durante a época da seca, porém, não houve alterações significativas nos níveis de vazão no período de cheia.

PALAVRAS-CHAVE: SWAT, Modelagem hidrológica, Simulação.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Distrito Federal defronta sua maior escassez hídrica e a população encara um severo racionamento hídrico. Buscando atender a crescente demanda de água no abastecimento público do Distrito Federal e regiões do entorno, autoridades estudam estratégias para aumentar a disponibilidade hídrica para atender a população, incluindo a implantação de novos sistemas produtores de água. O Lago Paranoá será um destes novos sistemas, e recebe além de águas naturais, os esgotos sanitários tratados e águas pluviais urbanas de Brasília. Sabendo que o Lago Paranoá é um ambiente lântico a importância de conhecer a qualidade da água de seus afluentes mostra-se bastante relevante, logo, optou-se por estudar o comportamento hidrológico da bacia do Riacho Fundo.

Para a simulação do comportamento hidrológico da bacia do Riacho Fundo utilizou o modelo SWAT. O SWAT é um modelo de simulação do comportamento das bacias hidrográficas, o seu desenvolvimento teve como objetivo prever e avaliar os efeitos do manejo e das mudanças no uso do solo sobre os recursos hídricos, analisando os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, incluindo a geração de estimativas relacionadas à produção de sedimentos (FERRIGO, 2011).

Este estudo teve como objetivo, aplicar o modelo SWAT para a simulação de vazão na bacia do Riacho Fundo, realizar a análise de sensibilidade e calibração, simular dois diferentes cenários de uso do solo para analisar e comparar os dados de vazão.

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desse trabalho foi a Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, a qual cobre uma área de aproximadamente 200 km² e está completamente situada dentro do Distrito Federal, compreendendo as regiões administrativas do Riacho Fundo, Núcleo Bandeirantes, Guará, Candangolândia, Mansões Park Way e Águas Claras, além do Setor de Indústria e de Abastecimento e áreas de atividade agrícola.

A bacia do Riacho Fundo apresenta uma área predominantemente ocupada por atividades antrópicas, sendo cerca de 5% desta correspondem ao uso agrícola. A maior parte corresponde à áreas urbanas, ocupando mais de 60% do território. Dentro da bacia encontram-se também porções de áreas verdes, que incluem: cerrado, formação florestal e campestre e reflorestamento, as quais recobrem cerca de 20% da bacia. A Figura 1 mostra a distribuição de usos do solo na bacia em estudo.

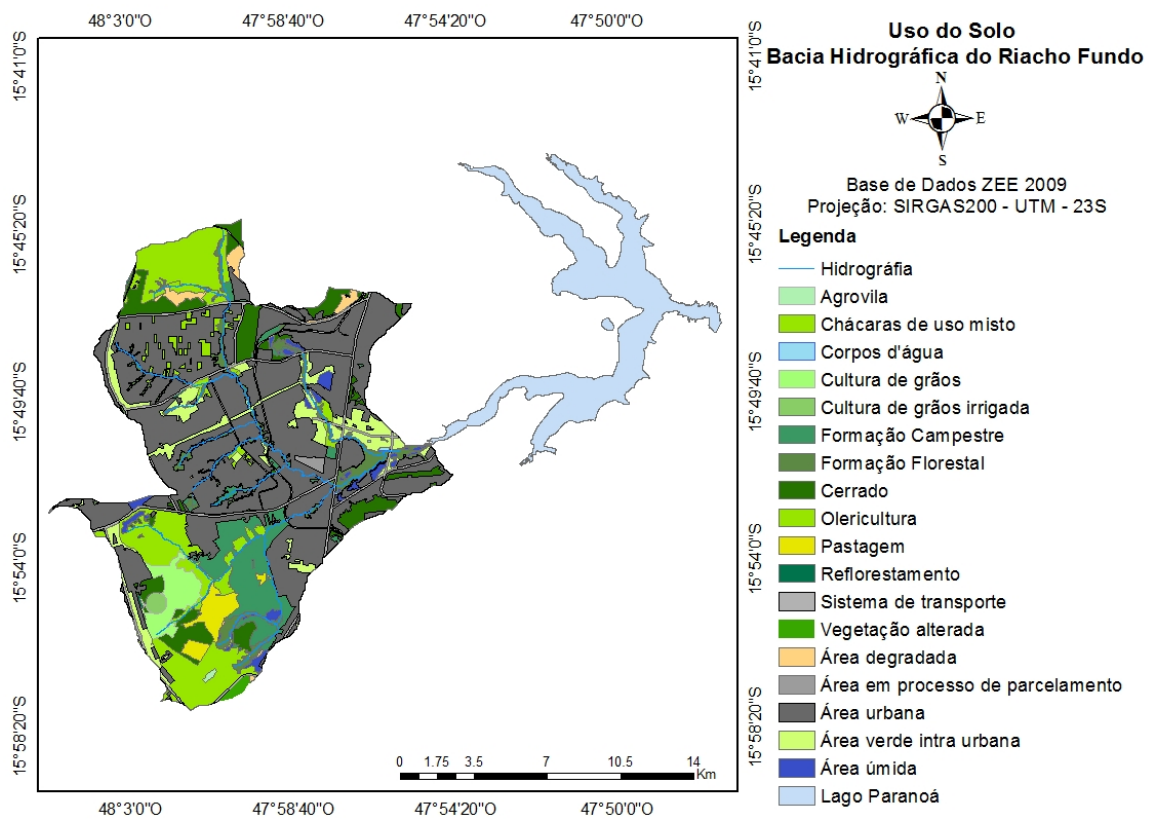


Figura 1 - Mapa de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica Riacho Fundo.

O Riacho Fundo possui quatro afluentes principais: Açudinho, Coqueiros, Vicente Pires e Guará. Segundo dados do PGIRH/DF de 2012, a vazão média do corpo d'água é de 3,17m³/s, a vazão Q90 1,79m³/s e a vazão mínima Q10 verificada foi 0,93m³/s.

MATERIAIS E METODOS

Avanços no campo de geoprocessamento são muito úteis na modelagem hidrológica, principalmente em modelos distribuídos e semi-distribuídos como é o caso do SWAT. Existem interfaces para a utilização do modelo SWAT, a utilizada nesse estudo foi o ArcSWAT 2012.10.2.18, que é uma extensão do programa ArcGIS 10.2.2 - ESRI, onde ocorre a associação da interface SWAT a um Sistema de Informação Geográfica

(SIG). A possibilidade de manipulação dos dados no ArcGIS - ESRI, possibilitou ao SWAT trabalhar com a variabilidade espacial dos dados.

CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

Para realização das simulações com o modelo SWAT é necessário uma base de dados o detalhamento dessa está descrito a seguir.

- **DEM**

O *Digital Elevation Model*- DEM representa o relevo real da área de estudo e assegura a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo assim, a consistência hidrológica do processo de simulação.

No presente estudo o DEM foi confeccionado com resolução espacial de 5 metros a partir de curvas de nível disponibilizadas pela TERRACAP (2009). A elaboração do DEM realizou-se através do programa de geoprocessamento ArcGIS 10.2.2 - ESRI, com base no uso das extensões: *Spatial Analyst* e *3D Analyst*. Foi utilizado como sistema padrão para elaboração de todo trabalho as coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) - SIRGAS2000 - UTM Zona 23 Sul.

- **HIDROGRAFIA**

A hidrografia da bacia é gerada pelo SWAT a partir do DEM. O modelo calcula automaticamente o fluxo de escoamento, buscando a representação da rede hídrica perene da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, foi escolhido um valor de área de drenagem de 500ha, isso permitiu ao modelo representar uma configuração similar aos dos corpos hídricos existente na área de estudo.

- **DELIMITAÇÃO DA BACIA**

Para o delineamento da bacia foi selecionado manualmente o ponto de exutório da Bacia Hidrográfica em estudo. Após a seleção o SWAT delimitou automaticamente a bacia hidrográfica.

As sub-bacias foram delimitadas de acordo com: o relevo, os divisores de água, o modelo digital de elevação e os pontos de interesse adicionados, sendo eles: os pontos de monitoramento da CAESB do RF10 ao RF50, estações fluviométricas do córrego do Riacho Fundo e ponto de lançamento da ETE. Dessa forma, obtiveram-se 32 sub-bacias.

- **MAPA PEDOLÓGICO**

O mapa de solos da Bacia do Riacho Fundo utilizado foi o disponibilizado pela EMBRAPA, Reatto *et al*(2004), escala 1:100.000, com adaptações.

O *shapefile* do mapa pedológico obtido possui áreas caracterizadas como solo urbano compreendendo cerca de 20% da área de estudo. Sendo assim, para adequação ao modelo SWAT foi necessária uma adaptação: as feições com essa descrição foram alteradas para Latossolo Vermelho. Essa alteração teve como base uma visão macro do Brasil, que classifica a área de estudo como sendo Latossolo Vermelho.

Diante dessas adaptações, o mapa de solo utilizado para bacia do Riacho Fundo está apresentado na Figura 2. A bacia ficou particionada em: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo.

Os latossolos caracterizam-se por ser um solo mineral, não hidromórfico, com profundidade superior a 1,5m, possui boa drenagem, com alta permeabilidade. Os cambissolos apresentam horizonte sub-superficial submetido a pouca alteração físico-química.

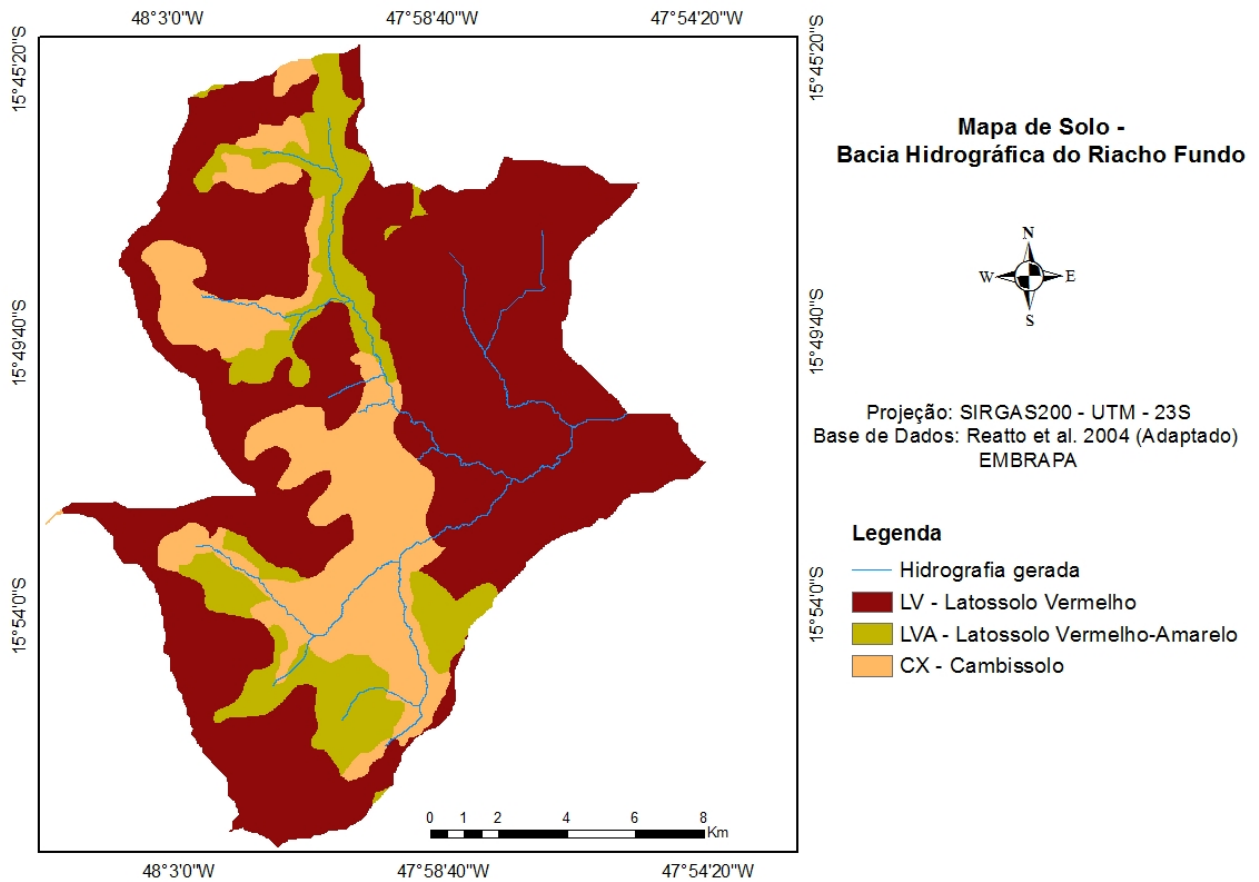


Figura 2 – Mapa de Solo utilizado na modelagem com SWAT

- **USO DO SOLO**

O mapa de uso do solo da Bacia do Riacho Fundo utilizado foi o disponibilizado pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno.

O cenário de uso do solo utilizou o *shapefile* do ZEE de 2009, com adaptações. A Figura 3 apresenta o mapa feito para o cenário 1, usado para calibração do modelo SWAT.

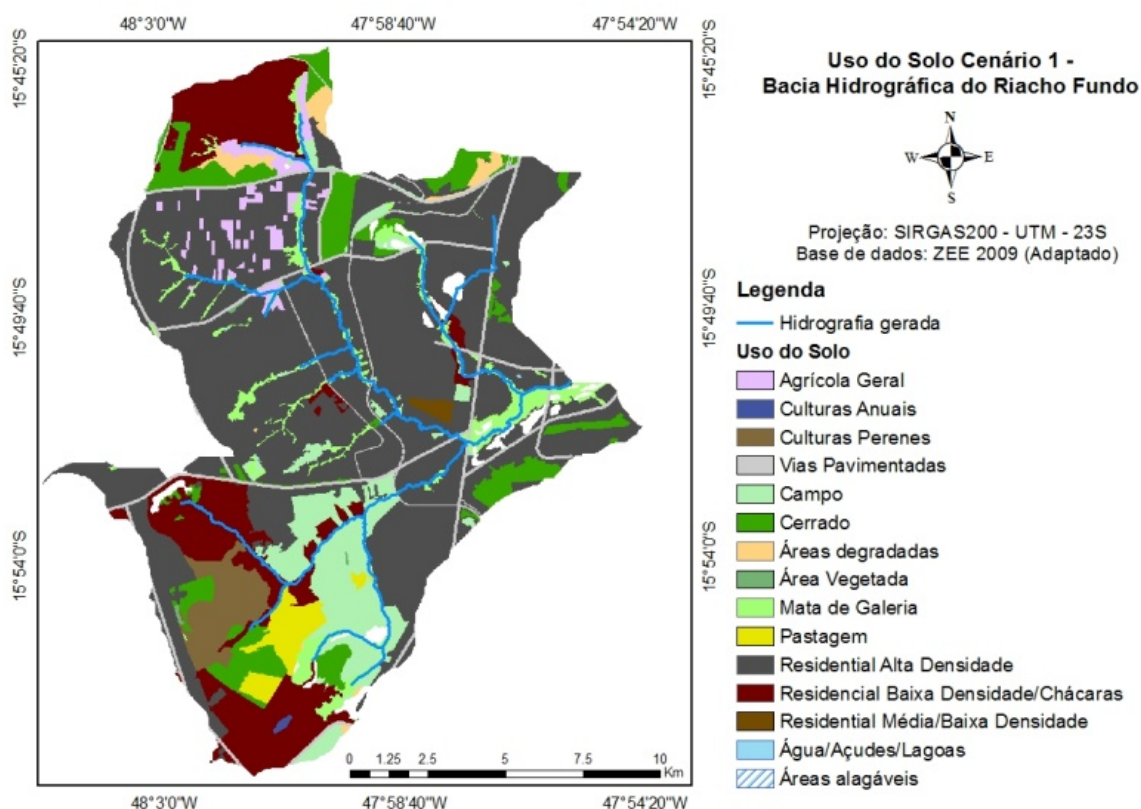


Figura 3 – Mapa de Uso do Solo - Cenário 1

- **DECLIVIDADE**

A declividade é criada através do DEM fornecido ao modelo, apenas foram definidas as classes que vão compor as camadas do relevo. Na bacia em estudo foram adotada 5 classes de declividade de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Classes de Declividades adotadas para Bacia do Riacho Fundo

Declividades Bacia do Riacho Fundo			
Nº Classes	Classes	Área (%)	Descrição dos Relevos
1	0% - 3%	41.00	Plano
2	3% - 8%	44.66	Suavemente ondulado
3	8% - 15%	10.22	Ondulado
4	15% - 25%	2.99	Fortemente ondulado
5	25% - 999%	1.13	Montanhoso

- **DEFINIÇÃO DAS URHS**

Com base nas informações do mapa pedológico, uso do solo e classes de declividade o modelo SWAT definiu automaticamente as URHs no interior da bacia hidrográfica do Riacho Fundo, foram obtidas 1124 URHs.

- **DADOS CLIMÁTICOS**

Os dados diários de precipitação foram disponibilizados pela CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal e ANA – Agencia Nacional de Águas as estações pluviométricas utilizadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Estações Pluviométricas utilizadas

Código	Nome	Latitude	Longitude
1547032	Ana Sede	-15.8181	-47.945
1548010	ETE Riacho Fundo-GM-3	-15.8858	-48.0436
1547018	Jockey Club	-15.8058	-47.9981

Os dados diários de temperatura, umidade relativa, radiação solar e de velocidade do vento foram disponibilizados pelo INMET, dados gerados na estação climatológica principal de Brasília, código 083377, latitude 15° 57' S, longitude 47° 56' W e altitude 1.159,54 metros.

As séries climatológicas de entrada utilizadas foram janeiro 2006 a dezembro de 2013, sendo os anos de 2006 a 2008 utilizados como aquecimento do modelo e de 2009 a 2013 usados para ajuste do modelo. Os dados foram devidamente organizados em modelos requeridos pelo SWAT.

SIMULAÇÃO

As simulações realizadas utilizaram o *Geodatabase* disponibilizado por FERRIGO (2014) e os dados de entrada descritos previamente. Foram feitas simulações com a situação atual da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, realizou-se a análise de sensibilidade e calibração, com o intuito ajustar os parâmetros do modelo para que se obtenha uma concordância aceitável entre os dados observados e simulados. Após o ajuste, foi simulado um segundo cenário, tendo como base o PDOT para considerar um adensamento populacional na bacia em estudo. As simulações da bacia do Riacho Fundo consideram a ETE e em ambos cenários foram utilizados os dados médios mensais dos efluentes: vazão, coliformes termotolerantes, fósforo, nitrogênio e NH3.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi realizada com os 11 parâmetros de vazão, totalizando 50 simulações e os efeitos finais da variação foram hierarquizados por ordem de influência e estão apresentados na Tabela 3. A descrição dos parâmetros baseou-se em Ferrigo (2014).

Tabela 3 – Parâmetros verificados na análise de sensibilidade modelo SWAT para Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo

Parâmetros	Processo Relacionado	Descrição
<i>Alpha_Bf</i>	Água subterrânea	Fator alfa do fluxo de base (dias)
<i>Cn2</i>	Escoamento superficial	Valor da curva número inicial do <i>Soil Conservation Service</i>
<i>Ch_N2</i>	Canal	Coefficiente de Manning do canal principal
<i>Surlag</i>	Escoamento superficial	Tempo de retardo do escoamento superficial
<i>Sol_Awc</i>	Solo	Capacidade de água disponível (mm H ₂ O / mm solo)
<i>Gw_Delay</i>	Água subterrânea	Retardo do escoamento subterrâneo
<i>Canmx</i>	Escoamento superficial	Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo (mm)
<i>Esco</i>	Evaporação	Fator de compensação da retirada das plantas
<i>Gwqmn</i>	Solo	Concentração de nitrato na água subterrânea contribuinte (mgN/L)
<i>Gw_Revap</i>	Água subterrânea	Coefficiente de re-evaporação da água subterrânea
<i>Renapmn</i>	Água subterrânea	Profundidade de água limite no aquífero raso (mm)

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Ao ser feita a simulação com o modelo SWAT foi realizada a uma análise comparativa através de gráficos e coeficientes estáticos entre as vazões simuladas e as vazões observadas (dados do posto fluviométrico) e notou-se a necessidade da calibração para obter valores que com melhor representatividade diante os valores reais.

• CALIBRAÇÃO

Realizou-se a calibração do modelo SWAT com base na análise de sensibilidade. O parâmetro alterado que apresentou melhor ajuste na bacia em estudo está na Tabela 4.

O parâmetro *alpha_bf* influencia nos valores de fluxo de base, essa alteração proporcionou a aumento nos níveis de vazão no período de seca, que inicialmente estavam próximos à zero, além dos valores no período de seca não estarem próximos ao observado, o curso d'água em estudo é perene. Sendo assim, esse comportamento não se aplica a realidade.

Tabela 4 – Parâmetro alterado para calibração SWAT

Parâmetros Modificados	Valor	Método de variação do parâmetro
<i>Alpha_Bf</i>	0.005	Substituição

• CENÁRIO 1

Na Figura 4 está apresentado o hidrograma do modelo calibrado de janeiro de 2009 a dezembro de 2013 e na Tabela 5 os valores dos parâmetros estatísticos obtidos. Os valores obtidos com a calibração apresentaram-se satisfatórios, evidenciando a aplicabilidade do modelo SWAT a bacia hidrográfica em estudo.

Tabela 5 - Coeficientes estatísticos analisados do período de 2009 a 2013

Coefficiente estatístico	Valores Obtidos	Classificação
NSE	0.61	Bom
R ²	0.71	Bom

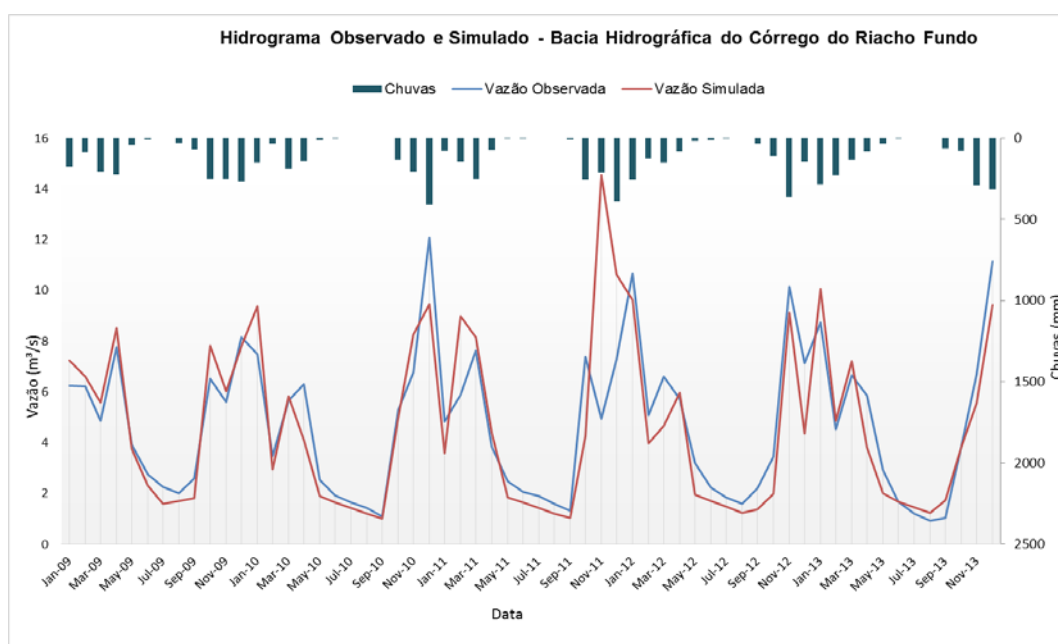


Figura 4 – Hidrograma Observado e Simulado da Bacia do Riacho Fundo do período de 2009 a 2015

• **CENÁRIO 2**

A fim de avaliar o desempenho do modelo calibrado na bacia hidrográfica do Riacho fundo, realizou-se uma simulação com a alteração no manejo do solo da bacia estuda. Para melhor analisar as variações foram feitos gráficos comparativos entre os dois cenários.

Os mapas utilizados foram: cenário 1 com uso do solo utilizado para calibração do modelo, apresentado na descrição dos dados de entrada, e cenário 2 com uso do solo considerando um adensamento populacional, com base no PDOT. Para ambas as simulações foram consideradas os mesmos dados climatológicos, para melhor evidenciar as possíveis variações.

Ao comparar os dados de saída de vazão de ambas as simulações, como apresentado na Figura 5, é possível notar que os valores não obtiveram grandes variações entre os cenários. Considerando toda a série analisada o cenário 1 apresentou Q90 1,4m³/s e o cenário 2 Q90 1,2m³/s. O cenário 2 apresentou uma média de diferenciação entre os valores está em torno de 6% a mais que o cenário 1. Apesar de pouca oscilação nos valores é graficamente notável que durante o período de seca (maio a setembro) os valores do cenário 2 estão inferiores ao cenário 1.

A simulação do cenário 2 apresentou que o adensamento populacional gera menores níveis de vazão durante a época da seca. Porém, não houve grandes alterações nos níveis de vazão no período de cheia, esse fato pode ser justificado pelas as mudanças do uso do solo entre cenários 1 e 2 não terem sido tão significativas para gerar maiores oscilações nos níveis de vazão no período de cheia entre os cenários.

Nota-se pela Tabela 6, que a variação entre o cenário 1 e 2 foi o aumento do uso do solo urbano e dos níveis de densidade populacional, em que, no cenário 1 totalizava 66.26% de área urbanizada na bacia e no cenário 2 esse valor aumentou 4.79% que corresponde ao total de uso do solo agrícola do primeiro cenário.

Tabela 6 – Comparativo entre áreas de uso do solo simuladas
Áreas de uso do solo simuladas (%)

Tipo de uso do solo	Cenário 1	Cenário 2
Agrícola	4.789	0
Vias Pavimentadas	4.404	4.404
Campo	7.342	7.342
Cerrado	7.671	7.671
Áreas degradadas	1.118	1.118
Áreas vegetadas	0.094	0.094
Mata Galeria	4.751	4.751
Pastagem	1.794	1.794
Residencial Alta Densidade	52.913	52.913
Residencial Média/Alta Densidade	0	0.299
Residencial Média/Baixa Densidade	0.299	13.047
Residencial Baixa Densidade	13.047	4.789
Água/Açudes/Lagoas	0.054	0.054
Áreas alagáveis	1.724	1.724
Total	100	100

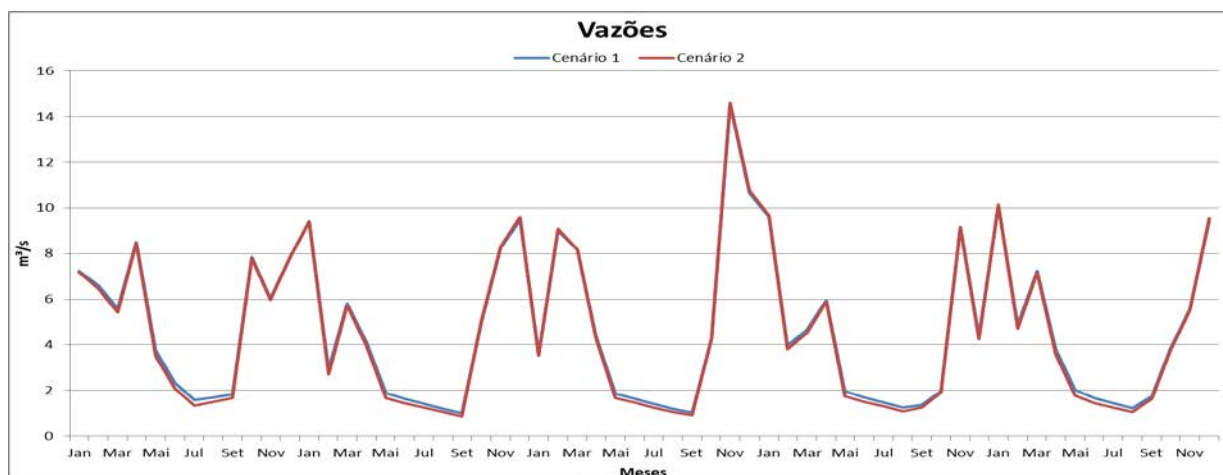


Figura 5 – Vazões cenários 1 e 2 – SWAT

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo SWAT teve um bom desempenho na conversão de chuva em vazão apresentando valores simulados condizentes com a realidade. A calibração através do parâmetro *alpha_bf* se mostrou satisfatória e ao ser realizada a comparação entre dado de saída do modelo e dado observado, os gráficos e valores dos coeficientes estatísticos mostraram a eficiência da modelagem com o SWAT.

A urbanização interfere na fase terrestre do ciclo hidrológico, simplificadamente, reduz a área de infiltração, aumenta o escoamento superficial e o coeficiente de escoamento. Por se tratar de uma bacia bastante urbanizada, maior parte do solo já é classificado como classe urbana elevada ou média, as alterações do uso do solo no cenário 2, permitiu verificar que mesmo considerando o adensamento nas áreas de menor densidade, essa alteração não ocasionou em maiores oscilações nos níveis de vazão no período de cheia e já nos períodos de seca os níveis de vazão apresentaram-se inferiores.

Visando melhorar a eficácia e representatividade do modelo SWAT recomenda-se que seja realizada uma análise de consistência nos dados climáticos de entrada e na curva-chave da estação fluviométrica que será utilizada, para comparação dos dados simulados com os observados, adotando a curva-chave que melhor representar a realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FERRIGO, S. (2011). Utilização do modelo SWAT na estimativa de produção de sedimentos na bacia do Córrego Capão Comprido no Distrito Federal. Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Graduação em Agronomia.
2. FERRIGO, S. (2014). Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática - Estudo de caso da bacia do lago Descoberto - DF. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-159/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 164p.
3. REATTO, A., MARTINS, E. S., CARDOSO, E. A., SPERA, S. T., CARVALHO JR., O. A. C., SILVA, A. V. E FARIAS, M. F. R. (2004). Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal.