



# **SISTEMA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO NA SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO DO SUBTERRÂNEO SEPHIDRO**

**Antônio Calazans Reis Miranda, DSc.**

**Apresentação 99<sup>a</sup> Reunião CTAS/CNRH  
Brasília**

**01/08/2017**



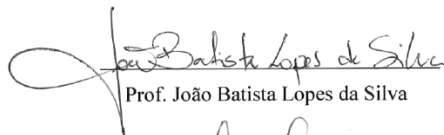
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

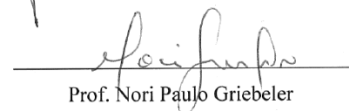
ANTÔNIO CALAZANS REIS MIRANDA

**MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS SUPERFICIAL DIRETO E  
SUBTERRÂNEO: ESTUDO DE CASO PARA A BACIA DO RIO DAS VELHAS**

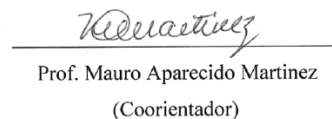
Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, para obtenção do título  
de *Magister Scientiae*.

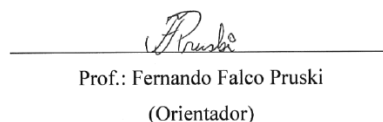
APROVADA: 13 de fevereiro de 2012.

  
Prof. João Batista Lopes da Silva

  
Prof. Nori Paulo Griebeler

  
Prof.<sup>a</sup> Juliana Cristina Braga

  
Prof. Mauro Aparecido Martinez  
(Coorientador)

  
Prof.: Fernando Falco Pruski  
(Orientador)

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2012

## Métodos de Separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: Estudo de Caso para a Bacia do Rio das Velhas

Antônio Calazans Reis Miranda\*, Falco Pruski\*, Mauro Aparecido Martinez\*, Paulo Roberto Cecon\*

antonio.calazans.mma@gmail.com; fpruski@ufv.br; mmauro@ufv.br; cecon@ufv.br

Recebido: 05/09/12 - revisado: 13/06/13 - aceito: 09/12/13

### RESUMO

A separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo permite a compreensão da magnitude e da dinâmica das águas subterrâneas e do escoamento superficial direto em bacias hidrográficas. Diante da importância dos estudos sobre o escoamento superficial direto e o escoamento subterrâneo, este trabalho teve como objetivos: analisar métodos de separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo, e desenvolver um aplicativo computacional para a aplicação de métodos automáticos de separação. A análise dos métodos de separação foi feita com base na comparação entre os volumes de escoamento superficial direto, obtidos para duas sub-bacias da região do Alto Rio das Velhas, considerando os valores diários e os totais anuais estimados pelos métodos de separação: intervalo fixo, intervalo móvel e mínimo local. Foi desenvolvido um aplicativo computacional em linguagem VBA, para viabilizar a aplicação dos métodos automáticos de separação considerando o formato padrão da base de dados do sistema HidroWeb, da ANA. Os resultados indicam que os métodos de separação analisados produzem resultados semelhantes entre si com relação à estimativa do escoamento superficial direto diário e total anual; e o aplicativo computacional permite a aplicação dos métodos de separação – intervalo fixo, intervalo móvel e mínimo local – para as bases de dados do sistema HidroWeb.

**Palavras-chave:** vazão, hidrograma, recursos hídricos, bacia hidrográfica, análise estatística.



**Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Adequação socioeconômica e ambiental de propriedades rurais

## Manejo do solo e da água nas propriedades rurais

Fernando Falco Pruski<sup>1</sup>  
Antônio Calazans Reis Miranda<sup>2</sup>  
Aline de Araújo Nunes<sup>3</sup>

**Resumo** - Solo e água são recursos essenciais à manutenção da vida e garantia da sustentabilidade ambiental do Planeta. As áreas rurais têm papel essencial na produção de água, pois é nas áreas ainda não impermeabilizadas que se potencializa a produção de água com regularidade e qualidade. O adequado manejo do solo e da água nas propriedades rurais é essencial para garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes, não só para o suprimento das necessidades básicas, mas também para utilização econômica e em outras atividades. A adequada conservação do solo e da água permite, além da redução do processo erosivo e das consequências associadas às perdas de solo, o melhor aproveitamento dos recursos hídricos. Outras medidas importantes, a fim de atender às demandas das propriedades rurais, são: o uso de cisternas, a otimização do uso da água pela irrigação e a regularização de vazões.

**Palavras-chave:** Planejamento conservacionista. Conservação do solo. Conservação da água. Cisterna. Água de irrigação. Vazão. Escassez hídrica. Controle da erosão.

# SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

## ▣ Importância

### ■ Prática

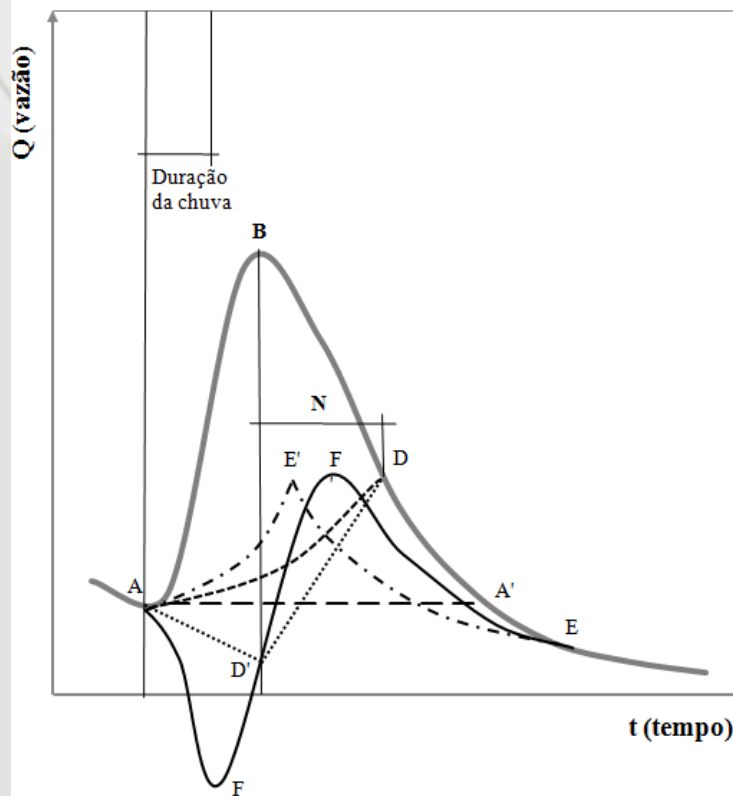
- ▣ Projetos de estruturas para o controle da erosão e de inundações
- ▣ Estimativa do Índice de Escoamento de Base (BFI) - importante variável explicativa em equações de regionalização de vazões mínimas
- ▣ Gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas

### ■ Científica

- ▣ Estudos sobre a variabilidade espacial e temporal dos processos de escoamento superficial direto em bacias hidrográficas
- ▣ Verificar o impacto do uso de práticas conservacionistas e do uso e ocupação do solo no escoamento superficial direto e no escoamento subterrâneo

# MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

- ▣ Traçadores
- ▣ Filtros digitais de base física
- ▣ Análise gráfica
  - métodos aplicados manualmente
  - filtros digitais recursivos



## LEGENDA

— Vazão total

— A F F' E - Suposição válida para caso em que predominam aquíferos confinados.

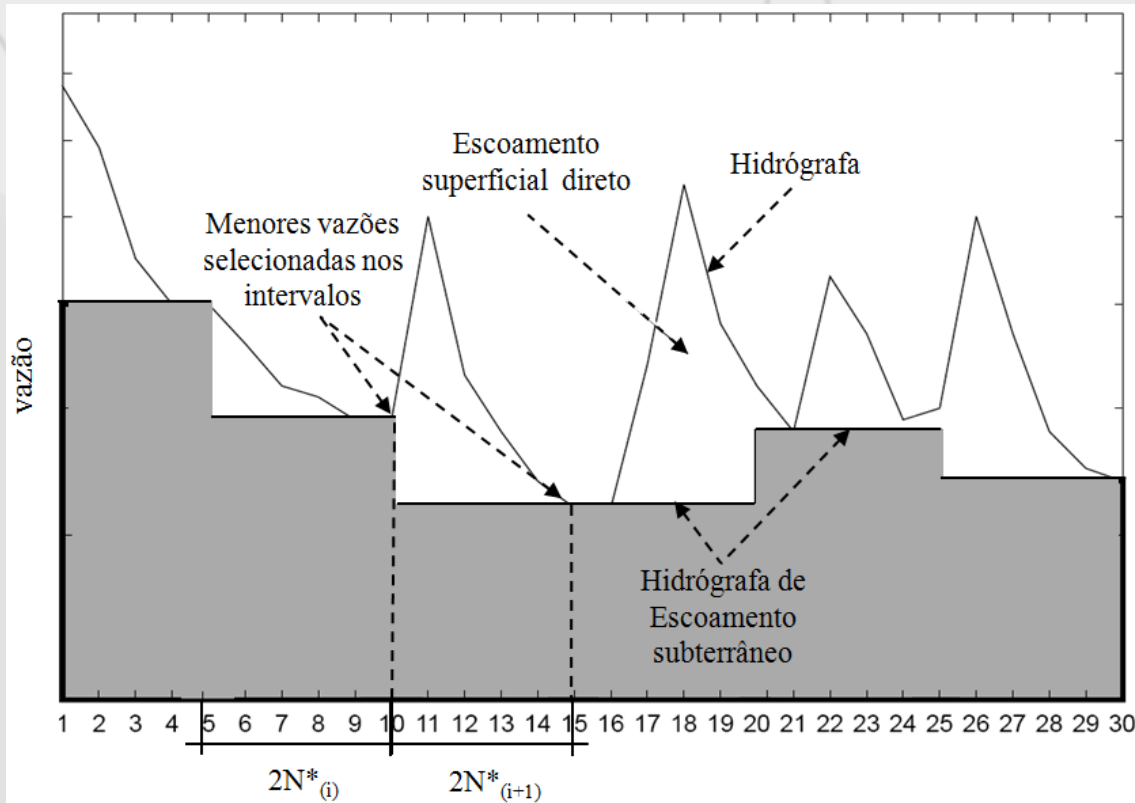
..... A D' D - Prolongamento da recessão anterior ao pico de escoamento até o ponto  $D'$ , abaixo do pico, e prolonga até o ponto  $D$ , situado  $N$  dias após o pico

----- A D - Alguns autores utilizam este método como uma simplificação do anterior.

- . - . - A E' E - Prolongamento da recessão após o pico de escoamento, do ponto  $E$  até o ponto  $E'$ , e unir com o ponto  $A$ .

- - - A A' - Supõe o escoamento de base constante durante o evento de cheia.

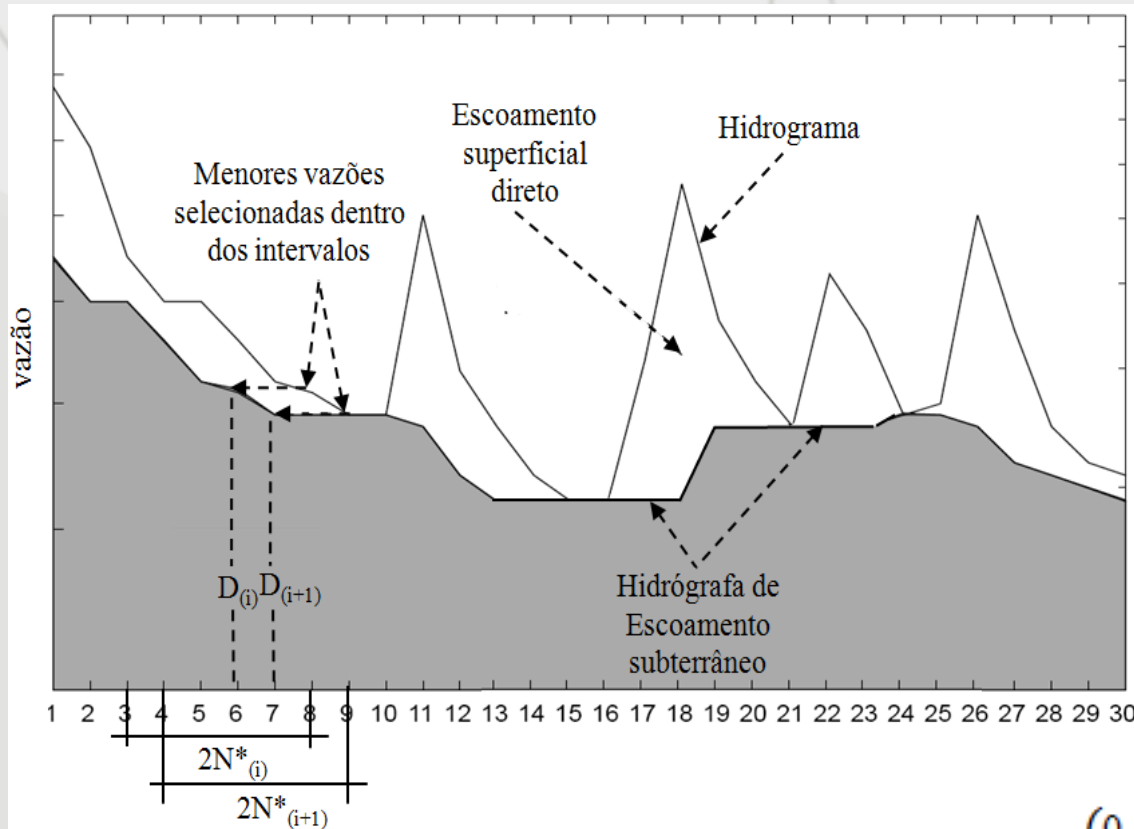
## MÉTODOS DE SEPARAÇÃO



## Intervalo Fixo - IF (fixed-interval method)

$$N = 0,827 A^{0,2}$$

# MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

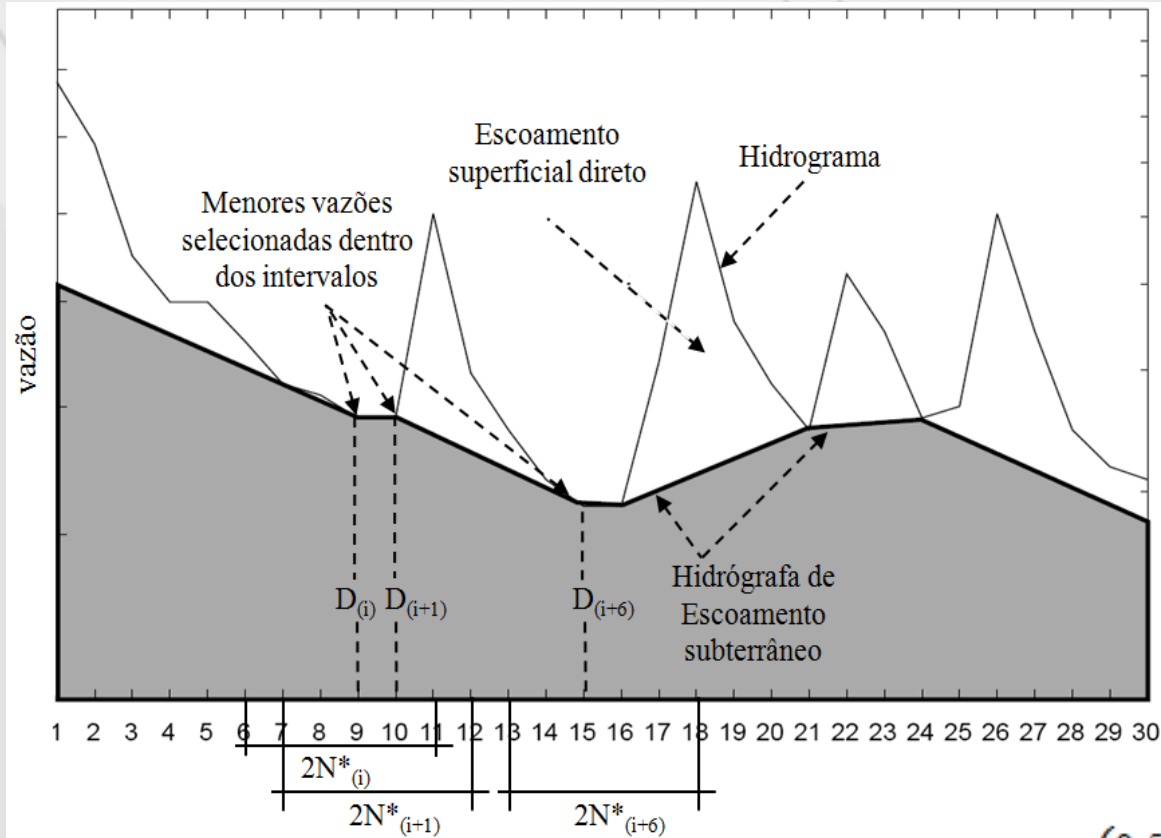


Intervalo Móvel - IM  
(sliding-interval method)

$$N = 0,827 A^{0,2}$$

$$D_{(i)} = \begin{cases} 0,5 (2N^* - 1) & \rightarrow 2N^* \text{ é um número ímpar} \\ N^* & \rightarrow 2N^* \text{ é um número par} \end{cases}$$

# MÉTODOS DE SEPARAÇÃO



Mínimo Local - ML  
(local-minimum  
method)

$$N = 0,827 A^{0,2}$$

$$D_{(i)} = \begin{cases} 0,5 (2N^* - 1) & \rightarrow 2N^* \text{ é um número ímpar} \\ N^* & \rightarrow 2N^* \text{ é um número par} \end{cases}$$



# SOFTWARES EXISTENTE PARA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

Pettyjohn e Henning (1979)

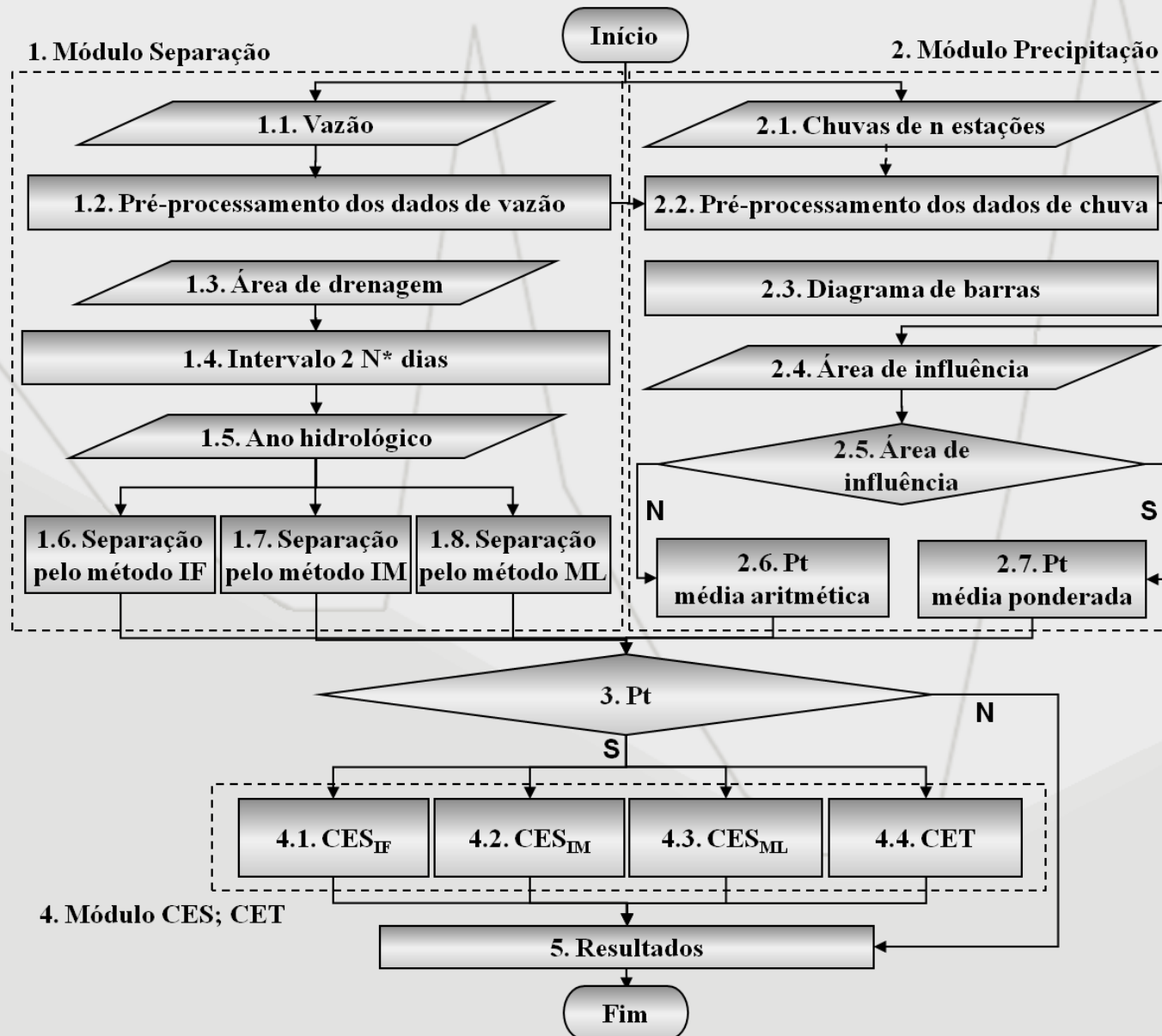


*Software* HYSEP  
*U. S. Geological Survey (USGS)*  
Sloto e Crouse (1996)



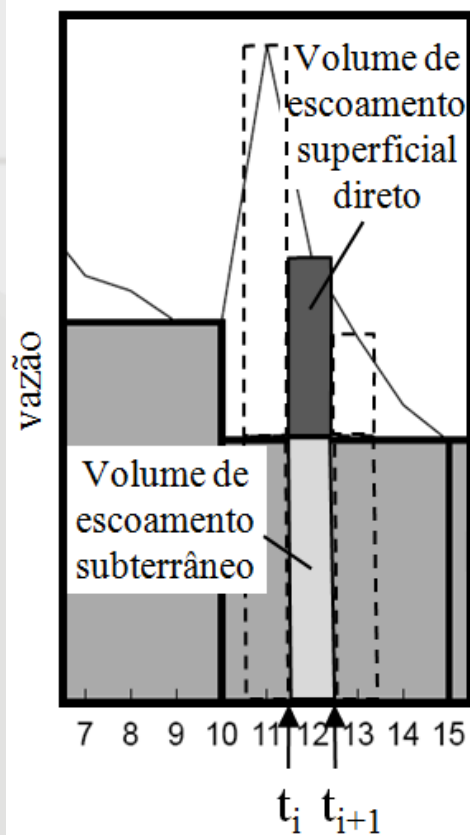
- ✗ Formatos: ASCII - WATSTORE ou WDM
- ✗ Interface em DOS pouco “amigável”

# DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA COMPUTACIONAL PARA A APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO

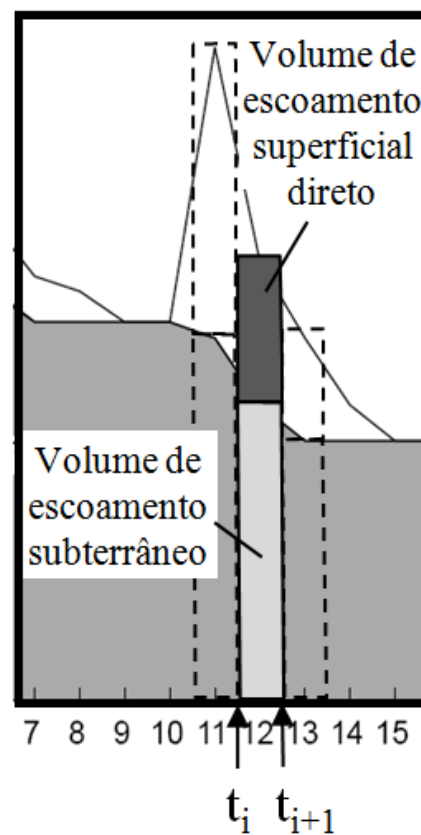


# QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

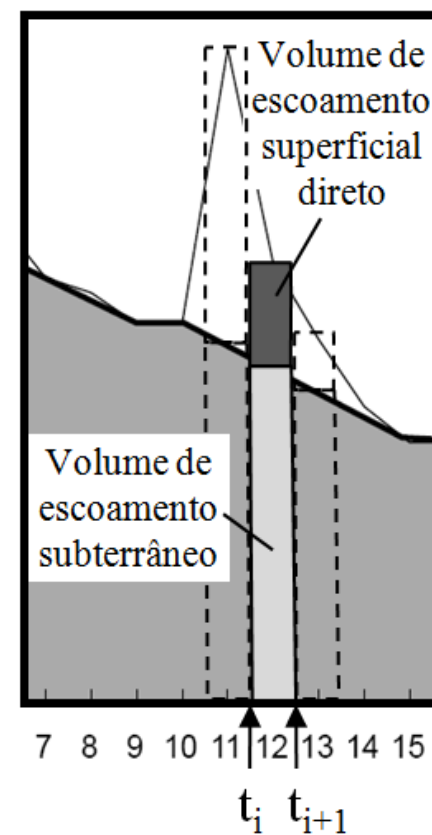
IF



IM



ML





# QUANTIFICAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

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

$$V_{\text{ESub}(i)} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_{\text{ESub}(i)} dt = \frac{(Q_{\text{ESub}(i+1)} + Q_{\text{ESub}(i)})}{2} \Delta t$$

$$V_{\text{ES}(i)} = V_{(i)} - V_{\text{ESub}(i)}$$

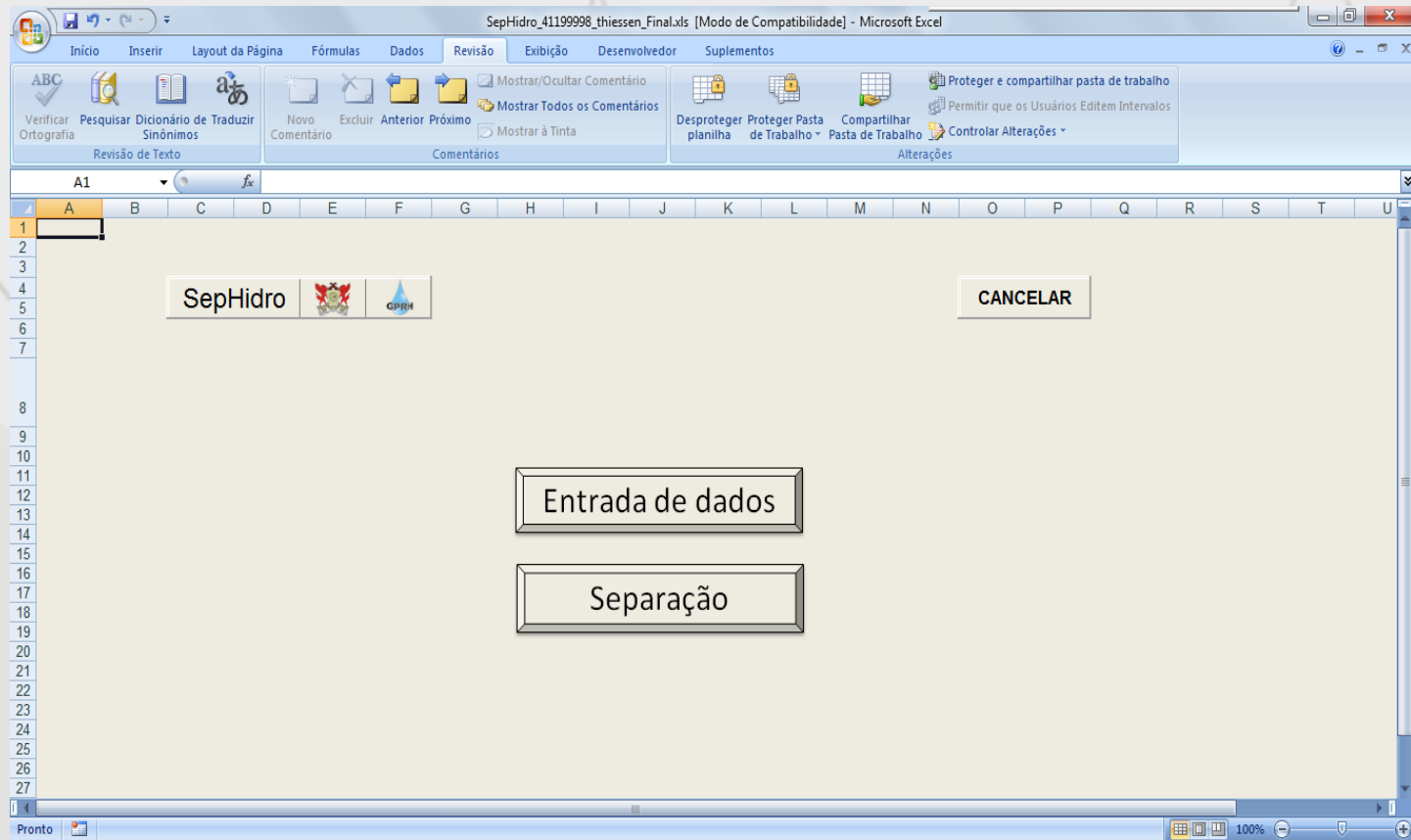

$$V_{\text{ESa}} = \sum_{i=1}^{ud} V_{\text{ES}(i)}$$


$$V_{\text{ESub\_a}} = \sum_{i=1}^{ud} V_{\text{ESub}(i)}$$

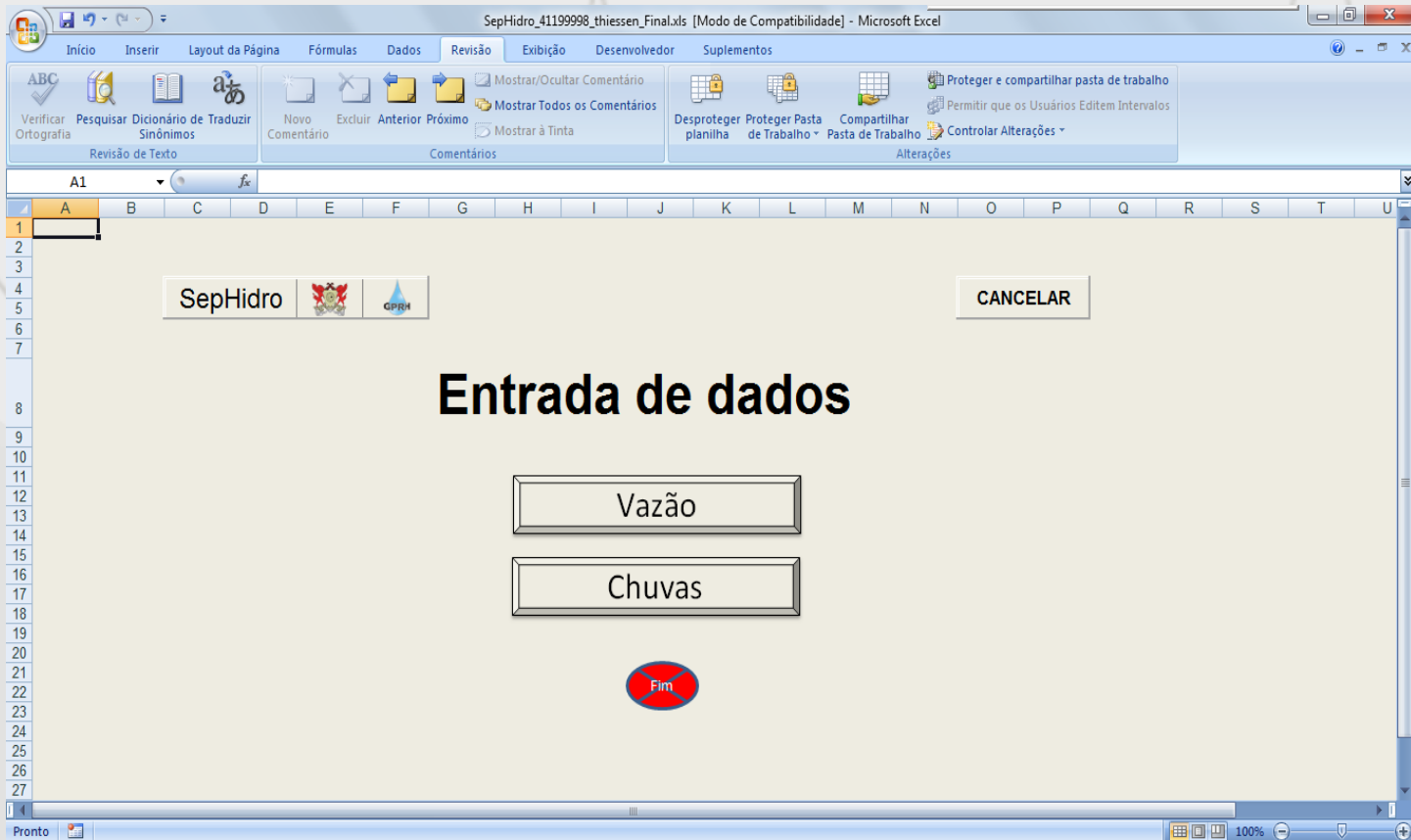
# SEPHIDRO



# SEPHIDRO



# SEPHIDRO



## Séries Históricas

Consultando o banco de dados... ▼ Nova Consulta

1 registro selecionado.

### Resultado da Consulta

Código	Nome	Sub-bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora
41260000	PINHÕES	41	RIO DAS VELHAS	MINAS GERAIS	SANTA LUZIA	ANA	CPRM

Escolha as estações para consulta às re...  
descarga líquida, perfil transversal, sed...

### Formulário de Consulta

Código (8 dígitos): 41260000  
 po de Estação:   
 ome:   
 o:   
 Sub-bacia (código):   
 Sub-bacia:   
 Rio:   
 Município:   
 Estado:   
 Responsável (sigla):   
 Operadora (sigla):   
 Estação telemétrica:   
 Altitude (m):   
 Área de drenagem (km2):

\* A consulta pode ser feita por qua...

HidroWeb - Estação - Google Chrome

hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=41260000

### Dados da Estação

Código	41260000
Nome	PINHÕES
Código Adicional	ANA
Bacia	RIO SÃO FRANCISCO (4)
Sub-bacia	RIOS SÃO FRANCISCO,DAS VELHAS (41)
Rio	RIO DAS VELHAS
Estado	MINAS GERAIS
Município	SANTA LUZIA
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-19:42:18
Longitude	-43:48:53
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	3730

Consultar série de:

**Arquivo Access** **Arquivo Texto**

# Tabela do Access Dados de vazão do HidroWeb/ANA

Ferramentas de Tabela

Modo de Exibição: ☐ Área de Transferência

Fonte: Rich Text

Aviso de Segurança: Certos itens do conteúdo do banco de dados foram desabilitados

Todos os Objetos do Banco de Dados

Município

PerfilTransversal

PerfilTransversalVert

PlanTrab

PlanTrabPonto

QualAgu

QualAguStatus

ResumoDescarga

Rio

RioEstado0101

Sedimentos

SubBacia

Temp

TEMP2

TEMP3

Usuario

Vazoes

Vazoes24

Versao

Consultas

Modo folha de dados

Vazoes

Registro	Importado	Temporario	Removido	Importador	EstacaoCodi	NivelConsis	Data	Hora	MediaDiaria	MetodoObt	Maxi
1	0	0	0	0	41199998	1	01/01/2006			1	1
2	0	0	0	0	41199998	1	01/06/2006				
3	0	0	0	0	41199998	1	01/07/2006				
4	0	0	0	0	41199998	1	01/08/2006				
5	0	0	0	0	41199998	1	01/09/2006				
6	0	0	0	0	41199998	1	01/10/2006				
7	0	0	0	0	41199998	1	01/11/2006				
8	0	0	0	0	41199998	1	01/12/2006				
9	0	0	0	0	41199998	1	01/01/2007				
10	0	0	0	0	41199998	1	01/02/2007				
11	0	0	0	0	41199998	1	01/03/2007				
12	0	0	0	0	41199998	1	01/04/2007				
13	0	0	0	0	41199998	1	01/05/2007				
14	0	0	0	0	41199998	1	01/06/2007				
15	0	0	0	0	41199998	1	01/07/2007				
16	0	0	0	0	41199998	1	01/08/2007				
17	0	0	0	0	41199998	1	01/09/2007				
18	0	0	0	0	41199998	1	01/10/2007				
19	0	0	0	0	41199998	1	01/11/2007				
20	0	0	0	0	41199998	1	01/12/2007				

SepHidro

SepHidro\_10\_chuvas\_modif.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

Exibição: Desenvolvedor

Comentários

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Registro														
2	0	60635000	1	01/01/2007			1	1	24,6	5,01	9,7	12	9	1	1
3	0	60635000	1	01/02/2007			1	1	36,4	9,3	18	9	25	1	1
4	0	60635000	1	01/03/2007			1	1	20,4	6,73	9,92	1	31	1	1
5	0	60635000	1	01/04/2007			1	1	8,64	3,64	6,24	9	8	1	1
6	0	60635000	1	01/05/2007			1	1	6,23	3,81	4,62	1	28	1	1
7	0	60635000	1	01/06/2007			1	1	5,14	3,03	3,68	30	23	1	1
8	0	60635000	1	01/07/2007			1	1	5,41	2,36	2,94	1	18	1	1
9	0	60635000	1	01/08/2007			1	1	2,78	2,03	2,26	2	27	1	1
10	0	60635000	1	01/09/2007			1	1	2,11	1,46	1,69	1	27	1	1
11	0	60635000	1	01/10/2007			1	1	2,19	1,34	1,78	3	11	1	1
12	0	60635000	1	01/11/2007			1	1	5,32	2,07	3,09	6	25	1	1
13	0	60635000	1	01/12/2007			1	1	3,64	1,74	2,69	27	4	1	1
14	0	60635000	2	01/11/1947			1	1	9,26884			30		1	0
15	0	60635000	2	01/12/1947			1	1	12,96721	3,713028	5,866829	28	15	1	1
16	0	60635000	2	01/01/1948			1	1	8,706575	4,368844	6,061525	8	31	1	1
17	0	60635000	2	01/02/1948			1	1	8,892254	4,368844	6,877271	19	1	1	1
18	0	60635000	2	01/03/1948			1	1	19,00074	5,365967	9,236718	11	3	1	1
19	0	60635000	2	01/04/1948			1	1	10,04282	3,713028	5,413898	1	16	1	1
20	0	60635000	2	01/05/1948			1	1	8,706575	4,100819	4,662353	6	10	1	1
21	0	60635000	2	01/06/1948			1	1	7,804493	3,464079	4,831503	26	22	1	1
22	0	60635000	2	01/07/1948			1	1	5,144629	3,713028	4,573072	22	13	1	1
23	0	60635000	2	01/08/1948			1	1	4,999383	3,904778	4,595464	5	29	1	1
24	0	60635000	2	01/09/1948			1	1	5,976422	3,464079	4,186956	15	14	1	1



# SEPHIDRO

SepHidro\_41199998\_thiessen\_Final.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel

Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Desenvolvedor Suplementos

Verificar Ortografia Pesquisar Dicionário de Traduzir Sinônimos Revisão de Texto Novo Comentário Excluir Anterior Próximo Mostrar Todos os Comentários Mostrar à Tinta Comentários Desproteger planilha Proteger Pasta de Trabalho Compartilhar Pasta de Trabalho Permitir que os Usuários Editem Intervalos Controlar Alterações Alterações Proteger e compartilhar pasta de trabalho

A1

Separação					Precipitação
Entrada de Dados					
CANCELAR					
NOVO					
Pré-processamento de dados de vazão					Pré-processamento de dados de chuvas
Diagrama de Barras					Precipitação média
Definição de parâmetros					id. Estação Área de influência
Área da Bacia (km²)	N dias	2N dias	2N* dias	Ano Hidrológico (nº do mês)	
1544,6	5,25	10,51	11,0	10	1 1943000 58,58
Separação por Intervalos Fixos Separação por Intervalos Móveis Separação por Mínimos Locais					2 1943010 0,45
					3 2043002 83,16
					4 2043004 161,29
					5 2043013 37,07
					6 2043042 129,2
					7 2043043 134,81
					8 2043059 166,13
					9 2043060 771,54
					10 2044012 2,26
					1
					1
					1
					1
					1
					1
					1
					1
Resultados					

Pronto

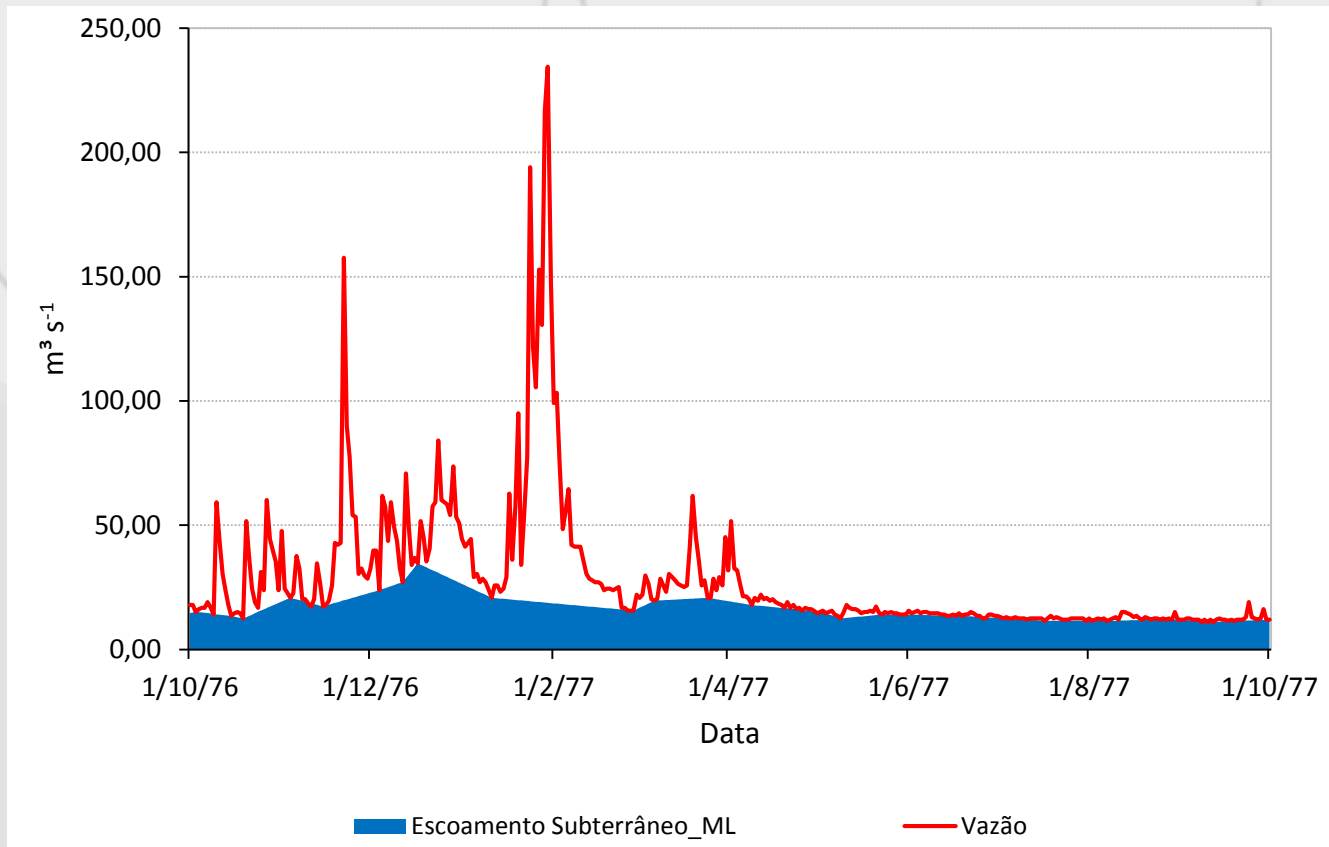
# RESULTADOS

- ▣ Diagrama de Barras
  - Disponibilidade de dados

1	Voltar	Código	tipo de Estação	Nível de consist.	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
2	1	41260000	Fluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1943000	Pluviométrica	2	100	100	100	100	100	100	100	100	83,8	100	100	100	100	100	91,5	100	100	100	100	92,3	100	100
4	3	1943004	Pluviométrica	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	4	1943006	Pluviométrica	2	100	100	92,3	100	100	100	91,8	100	91,8	100	100	71,5	83	100	100	93,7	34,8	67,1	51,8	100	91,8	83,3
6	5	1943007	Pluviométrica	1	100	99,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	6	1943009	Pluviométrica	2	91,8	100	83	100	100	75,1	91,8	83	67,1	100	100	100	100	100	91,5	100	95,1	100	100	91,8	100	91,5
8	7	1943010	Pluviométrica	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	8	1943011	Pluviométrica	2	91,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	9	1943012	Pluviométrica	2	100	100	100	100	0	100	100	100	100	100	100	100	91,5	91,5	100	100	100	100	91,5	83,3	100	91,8
11	10	1943013	Pluviométrica	2	100	91,5	100	100	100	100	100	100	91,5	67,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11	1943014	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	1943021	Pluviométrica	2	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	71,5
14	13	1943022	Pluviométrica	2	67,1	66,6	4,11	66,8	75,6	41,4	75,3	74,5	83,6	91,8	75,3	8,49	0	83,8	100	83,3	100	54,5	67,1	67,1	66,8	0
15	14	1943023	Pluviométrica	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,2	100	97,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	15	1943028	Pluviométrica	2	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	71,5
17	16	2044040	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	1943029	Pluviométrica	2	0	100	100	91,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	71,5
19	18	1943030	Pluviométrica	2	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	51,8
20	19	1943031	Pluviométrica	2	0	100	78,9	37,8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	78,9	0
21	20	1943034	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	63
22	21	1943038	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,4	83	91,5	91,5	52,3	0	0	0	0	0	0	0
23	22	1943039	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87,9	89,9	100	100	100
24	23	1943049	Pluviométrica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- Nenhum dado disponível no ano
- Menos de 90% dos dados diários disponíveis no ano
- 90 a 100% dos dados diários disponíveis no ano
- 100% dos dados diários disponíveis no ano

# RESULTADOS



# MÓDULOS PRECIPITAÇÃO E COEFICIENTES DE ESCOAMENTO

$$Pt = \sum_{i=1}^{ud} \left( \frac{\sum_{n=1}^p A_n P_n}{\sum_{n=1}^p A_n} \right)_i$$

$$CET = \frac{\sum_{i=1}^{ud} V_{(i)}}{10 \ A \ Pt}$$

## Coeficiente de Escoamento Total

- Estimativa da evapotranspiração real (ETr)

$$CESub = \frac{V_{ESub\_a}}{10 \ A \ Pt}$$

## Coeficiente de Escoamento Subterrâneo

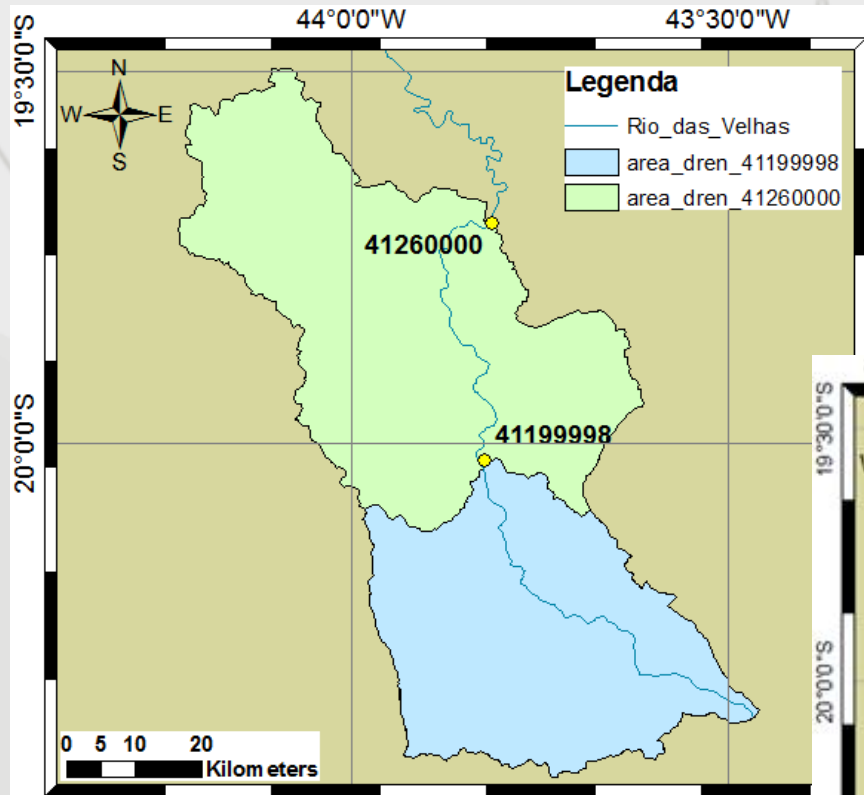
- Estimativa das reservas explotáveis de águas subterrâneas

$$IESub = \frac{V_{ESub\_a}}{\sum_{i=1}^{ud} V_{(i)}} 100$$

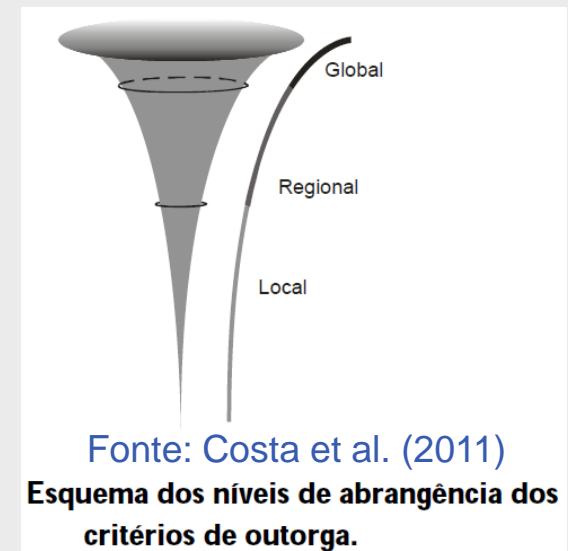
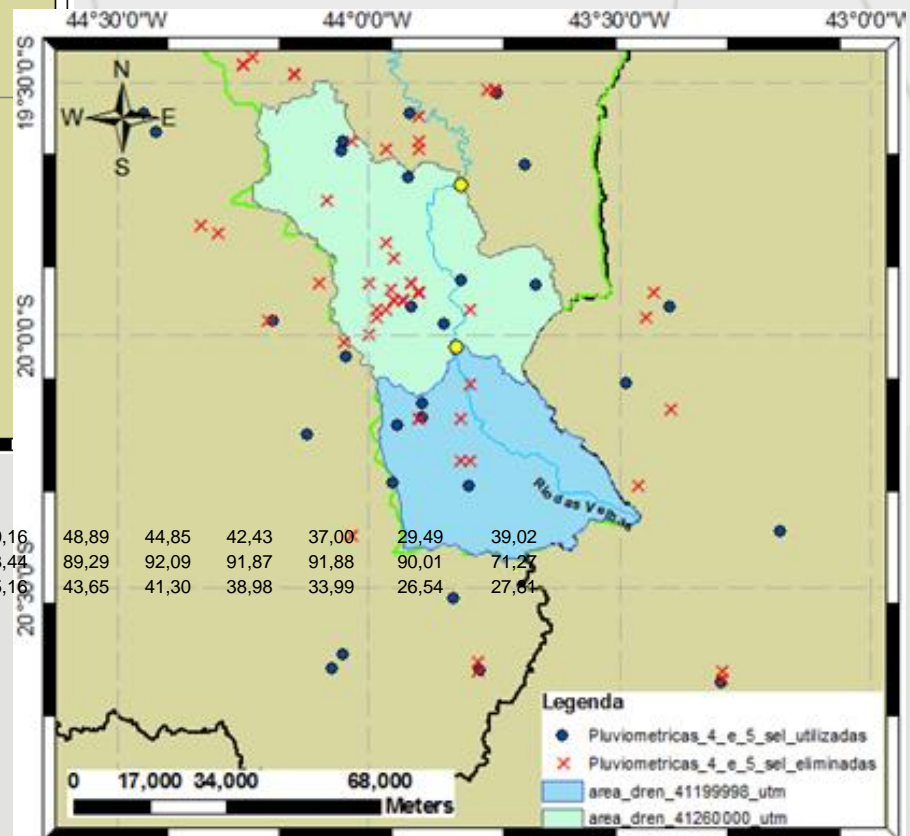
## Índice de Escoamento Subterrâneo

- Indica o quanto a vazão é influenciada pelo escoamento de base (*BaseFlow Index - BFI*)

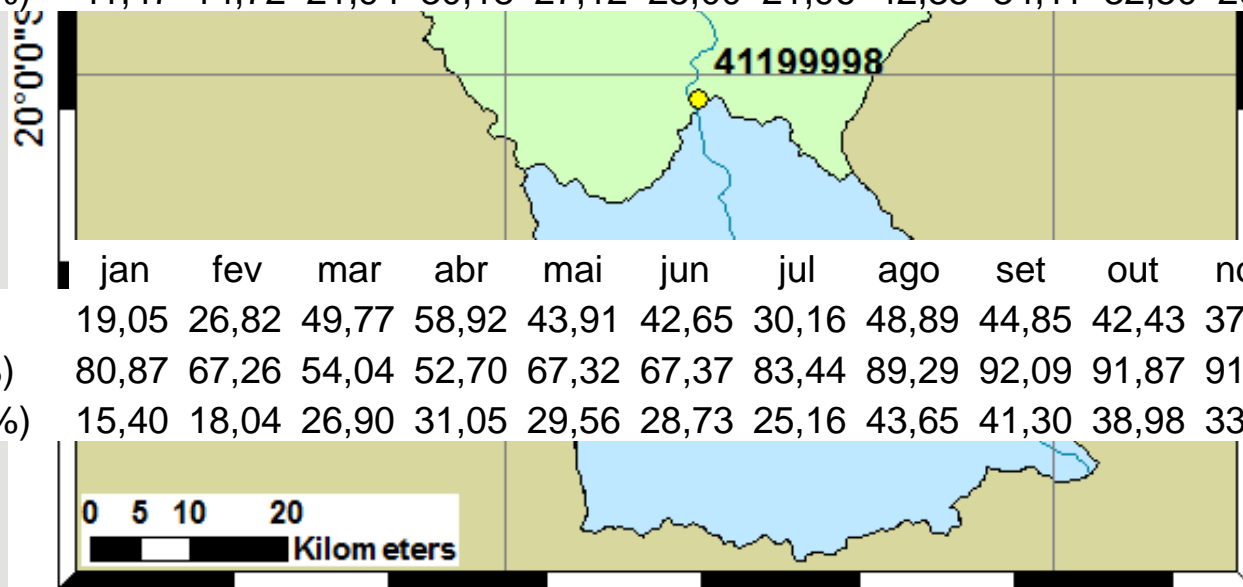
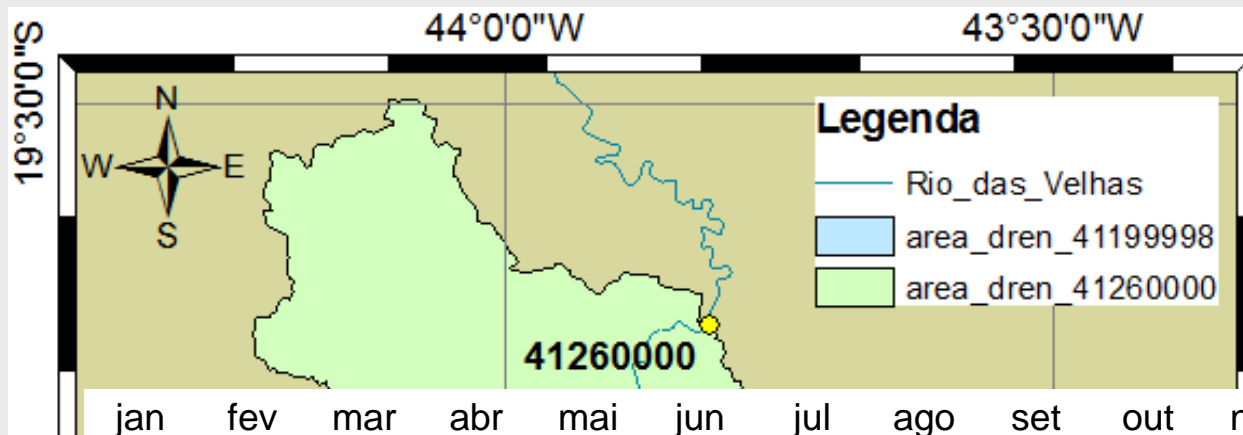
# APLICAÇÃO



CET(%)	19,05	26,82	49,77	58,92	43,91	42,65	30,16
ML_IESub(%)	80,87	67,26	54,04	52,70	67,32	67,37	83,44
ML_CESub(%)	15,40	18,04	26,90	31,05	29,56	28,73	25,16



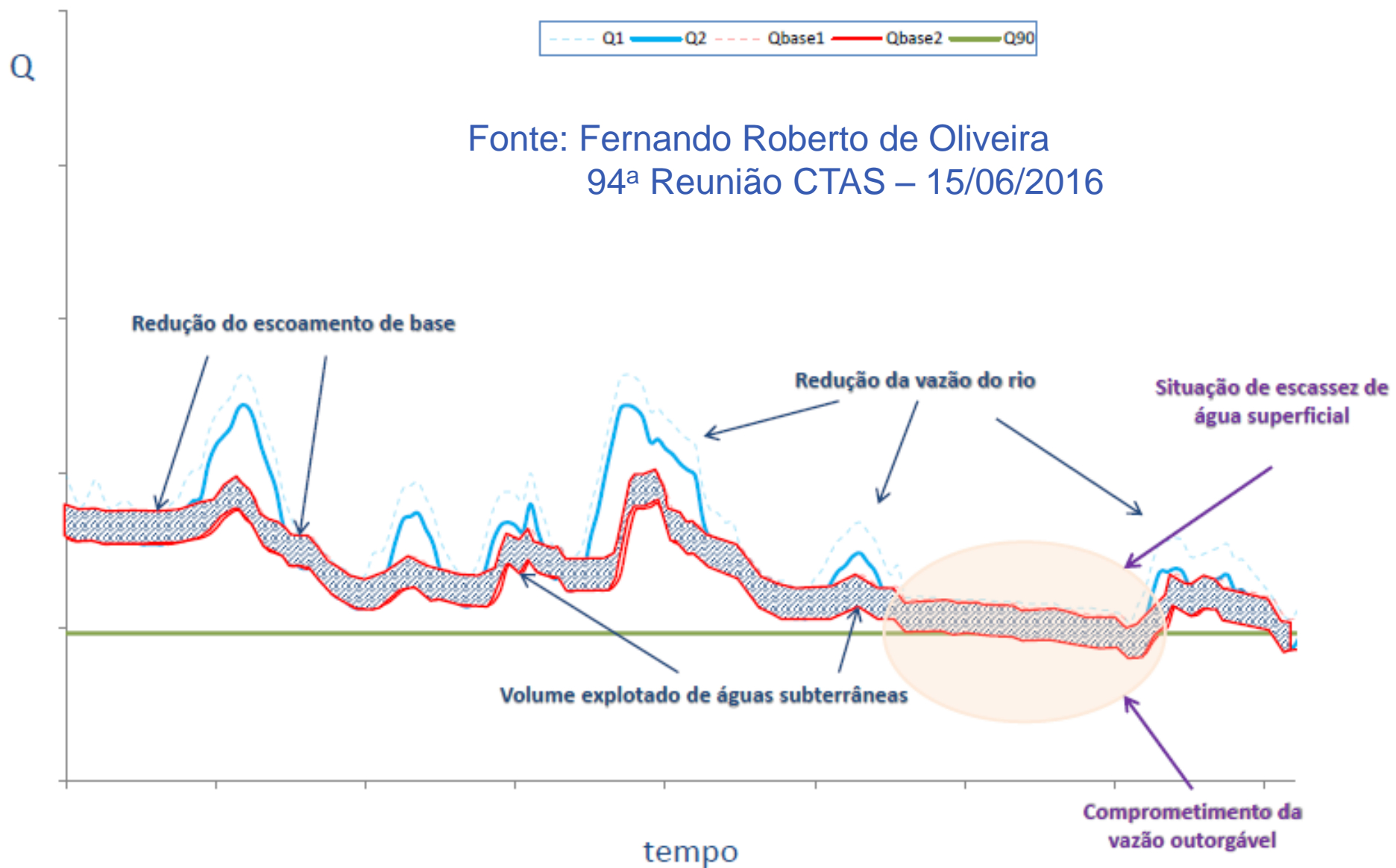
# APLICAÇÃO



Redução do escoamento de base devido à exploração de águas subterrâneas



Redução da vazão natural do rio



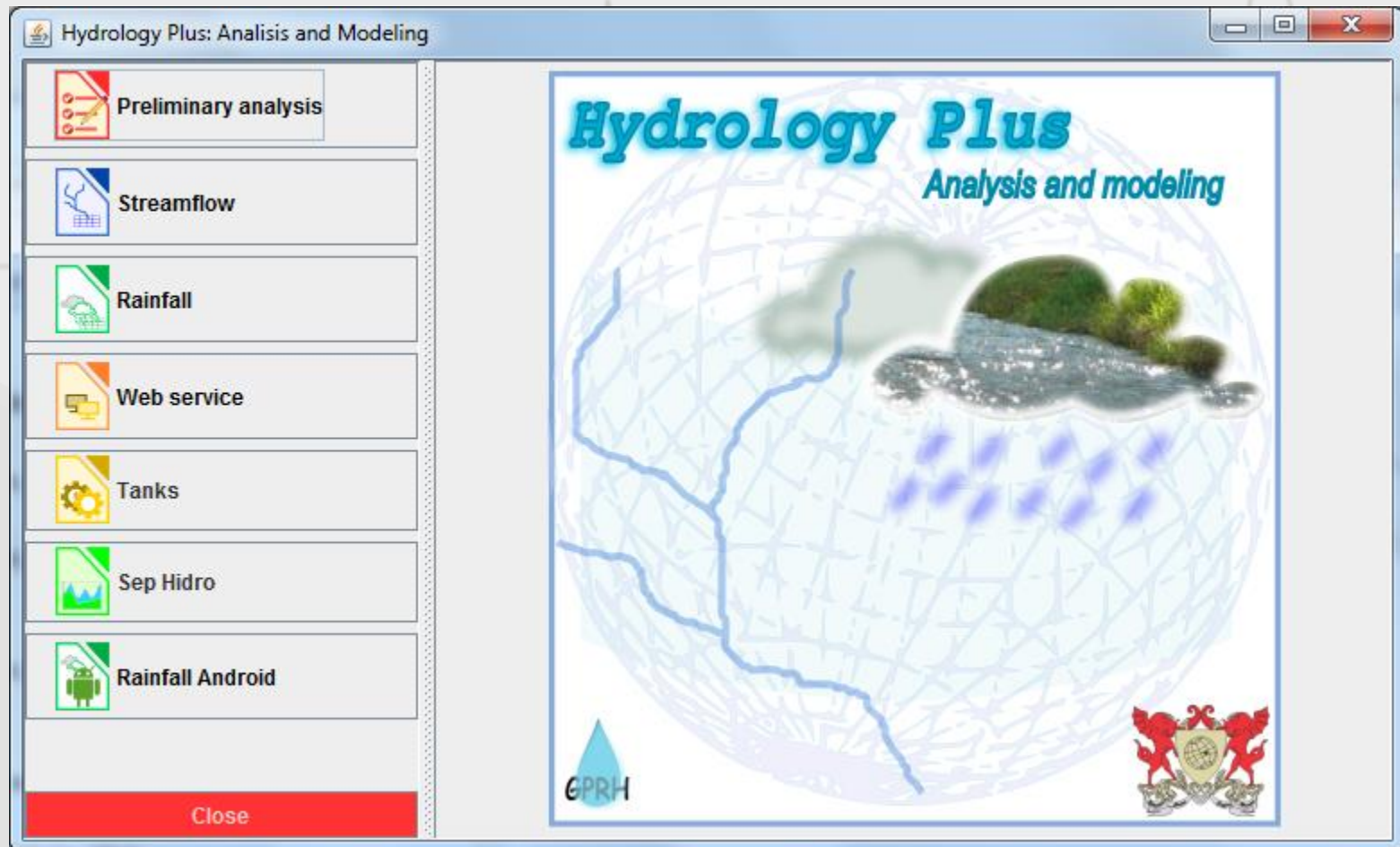
Hidrograma com separação de escoamentos

## CONCLUSÕES

- ▣ Os métodos de separação do Intervalo Fixo (IF), do Intervalo Móvel (IM) e do Mínimo Local (ML) produzem resultados semelhantes entre si.
- ▣ O sistema computacional desenvolvido (SepHidro) permite a aplicação dos três métodos de separação desenvolvidos por Pettyjohn e Hennring (1979) e a obtenção dos valores de  $QESub$ ,  $V$ ,  $V_{ES}$ ,  $V_{ESub}$ ,  $CET$ ,  $CESub$ , e de  $IESub$  considerando os dados das estações fluviométricas e pluviométricas disponibilizados no sistema *HidroWeb* da ANA.



# EM BREVE...



# OBRIGADO!

**Antônio Calazans Reis Miranda, DSc.**  
Analista Ambiental - DRH/SRHQ/MMA

[antonio.miranda@mma.gov.br](mailto:antonio.miranda@mma.gov.br)

(61) 2028-2628