

O MAIOR  
EVENTO DE  
SANEAMENTO  
DA AMÉRICA  
LATINA



18 A 20  
SETEMBRO 2018  
EXPO CENTER  
NORTE  
SÃO PAULO - SP

## **(9538) SUGESTÃO DE DIVISÃO HIDROGRÁFICA NA UNIDADE DE NEGÓCIO OESTE SABESP USANDO SOFTWARE LIVRE DE GEOPROCESSAMENTO**

**Bruno Pereira Toniolo**  
**SABESP MOED – tel.: 3838-6151**

# OBJETIVO

- Este trabalho tem o objetivo de fazer a delimitação das microbacias hidrográficas da Unidade de Negócio Oeste (MO) da SABESP, pelo uso de software livre de geoprocessamento, usando quatro provedores distintos e comparar os mapas obtidos.



# INTRODUÇÃO

- O estudo e o conhecimento das bacias hidrográficas são de grande importância, já que a água é um recurso essencial para a sobrevivência na Terra. Assim, a delimitação da bacia hidrográfica se mostra como um instrumento para se estabelecer orientadores na gestão dos recursos hídricos.



# INTRODUÇÃO



- O uso dos recursos naturais, em especial os hídricos, mostram um padrão ascendente por causa do crescimento demográfico e à ocupação antrópica desordenada em áreas verdes. Por causa de sua aplicação diversificada, a gestão dos recursos hídricos tem que ser executada em consonância com a legislação ambiental, focando na bacia hidrográfica, esta que é uma unida física de manejo ambiental (Nicolete et al., 2016).

# INTRODUÇÃO

- As técnicas de delimitação podem ser feitas manualmente ou por ferramentas computacionais como SAGA, GRASS, TauDem e ArcGIS pelo SIG (Sistemas de Informações Geográficas), desenvolvidos por alguns autores como Domingue (1988), Pilesjo e Zhou (1997) e Tarbaton (1997) por exemplo.



# CONCEITOS – BACIA HIDROGRÁFICA

- É um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, gerada nas regiões de maior altitude do relevo por divisores de água, sendo que a água pluvial ou escoamento superficialmente gerando os riachos e rios ou infiltra no solo formando as nascentes e os lençóis freáticos.

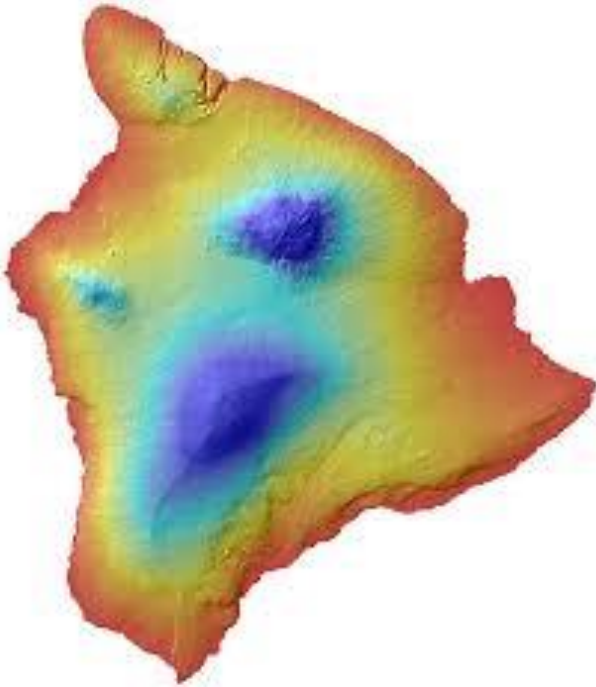


# CONCEITOS – GEOPROCESSAMENTO

- É a disciplina do conhecimento que usa técnicas matemáticas e computacionais para tratar as informações geográficas ou georreferenciadas, baseando-se em três tecnologias: Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS em inglês) e Sistema de Posicionamento Global (GPS em inglês) (Câmara et al., 2001).



# CONCEITOS – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

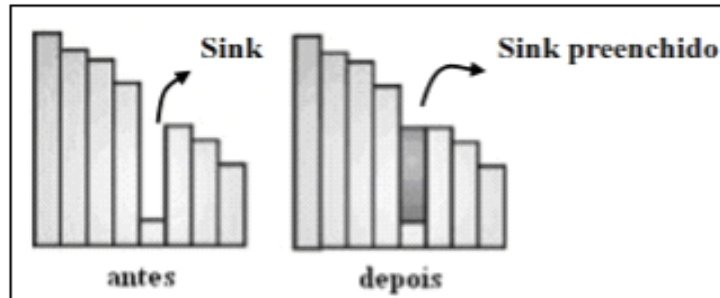


- Um modelo digital de elevação (MDE) é um arquivo de imagem, tipo *raster*, formado por pixels, sendo que cada pixel tem um par de coordenada geográfica (x, y) e um valor altimétrico (z), possibilitando a representação do relevo.
- O MDE é necessário para se delimitar bacias hidrográficas.



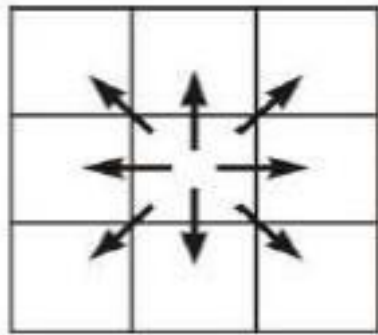
# CONCEITOS - MDEHC

- O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) é um refinamento do MDE, representando com precisão o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real. Não possui depressões espúrias. Valida que o fluxo de água nascido de qualquer ponto dentro da bacia convergirá aos córregos e rios e estes para a respectiva foz (Poletto et al., 2008).

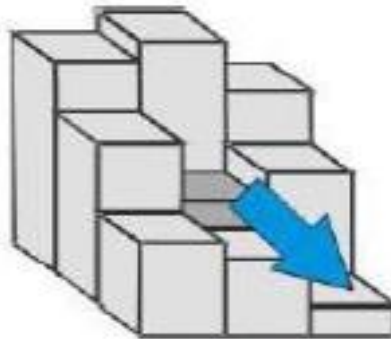


# CONCEITOS – MÉTODO D8

- Simulação do caminhamento preferencial do escoamento superficial da água sobre o MDEHC. A água contida no pixel central escorrerá para um dos oitos pixels vizinhos, equivalente aos oito pontos, sempre do ponto mais alto para o mais baixo (maior inclinação).



( a )



( b )

32 (NO)	64 (N)	128 (NE)
16 (O)		1 (E)
8 (SO)	4 (S)	2 (SE)

( c )

# CONCEITOS – MÉTODO D8

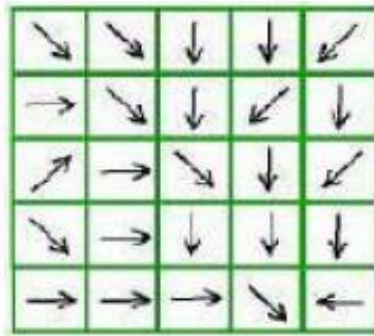
67	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

(a)

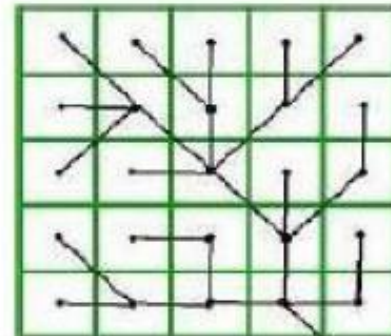


2	2	4	4	8
1	2	4	8	4
128	1	2	4	8
2	1	4	4	4
1	1	1	2	16

(b)



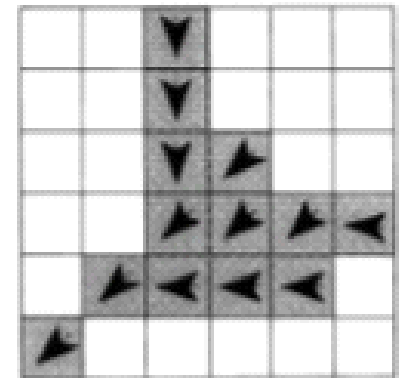
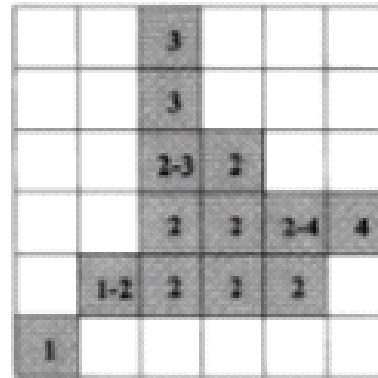
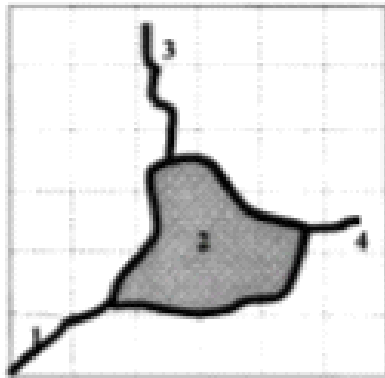
(c)



(d)

# CONCEITOS – FLUXO ACUMULADO

- Mostra o nível de convergência do escoamento relacionado à conexão com os divisores de água a montante, isto é, quando a área de captação é delimitada os corpos hídricos mostram-se visíveis, pois a quantidade de células vai se somando na direção do fluxo

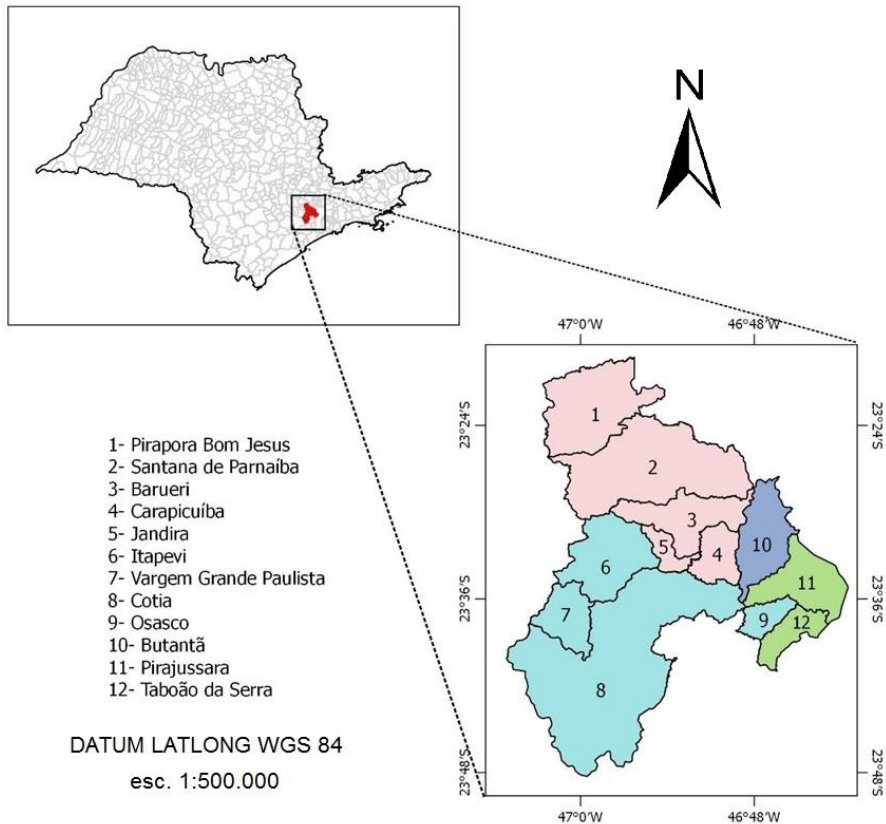


# ÁREA DE ESTUDO

- A Unidade de Negócio Oeste (MO) foi criada em 1996 e atende cerca de 3,5 milhões de pessoas.
- É uma das 16 Unidades de Negócio da SABESP e faz parte da Diretoria Metropolitana (M).
- Possui uma área de 1035,84 km<sup>2</sup>.
- Está situada nas sub-bacias 6 Tietê-Sorocaba e 10 Alto do Tietê.



# ÁREA DE ESTUDO



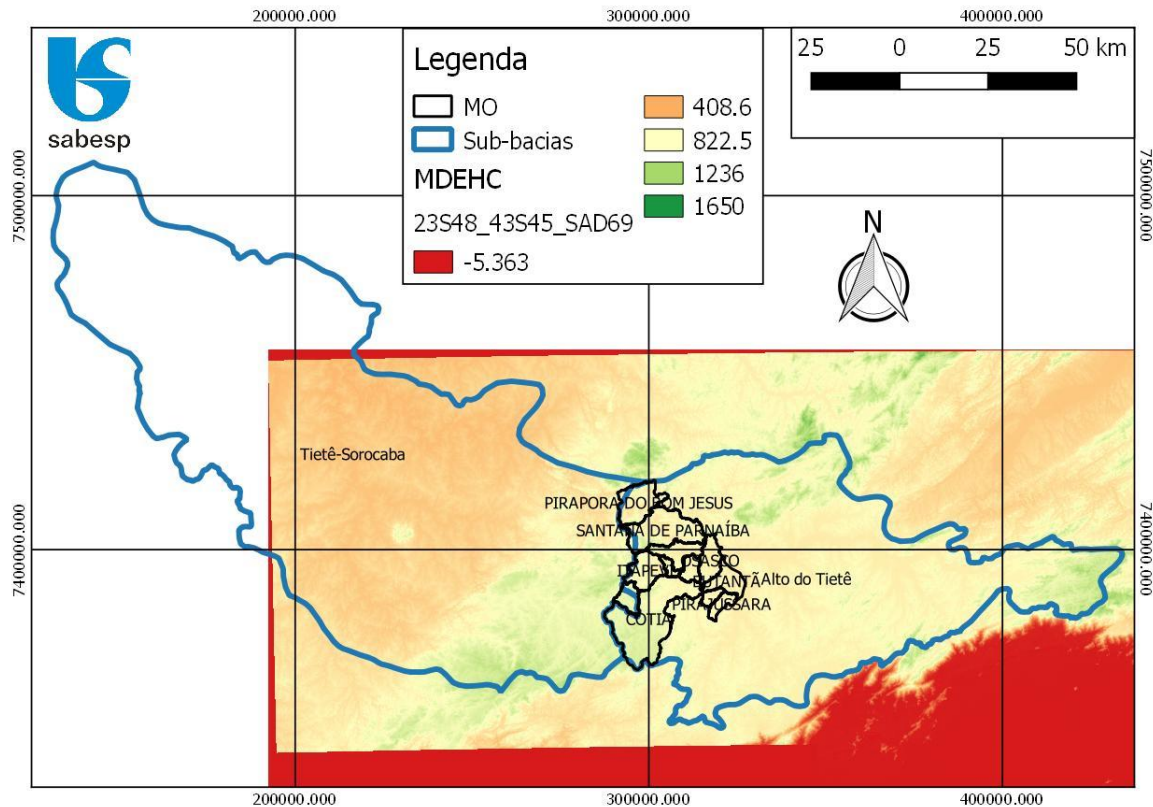
- Caracterizada como um dos locais de maior crescimento demográfico e expansão imobiliária da RMSP.

# ÁREA DE ESTUDO

- 11,7 mil km de redes de distribuição de água.
- 7,1 mil km de rede coletora de esgoto.
- 916 mil ligações de água.
- 611 mil ligações de esgoto.

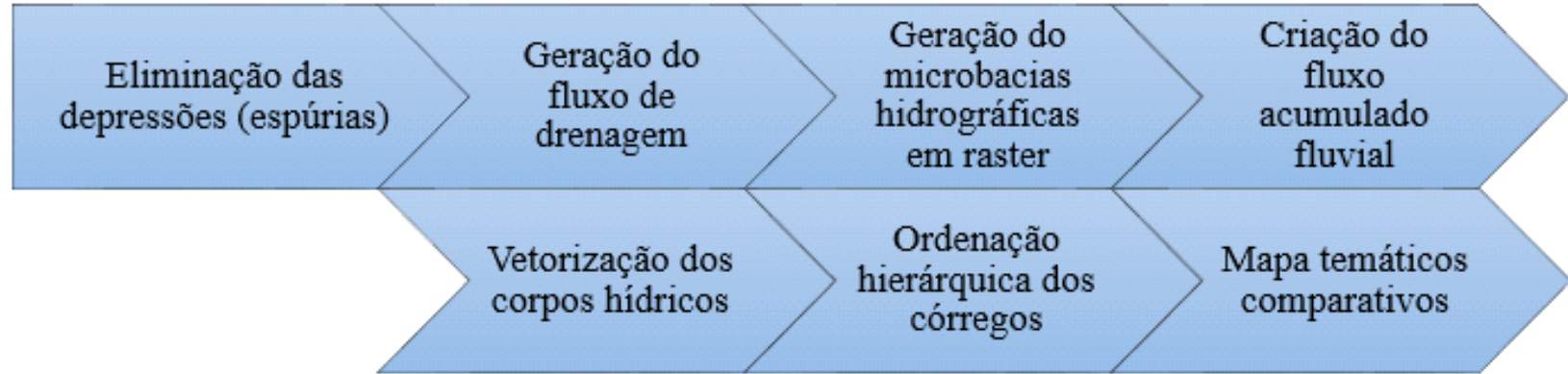
Fonte: SABESP SIGNOS (2017).

# ÁREA DE ESTUDO





# METODOLOGIA

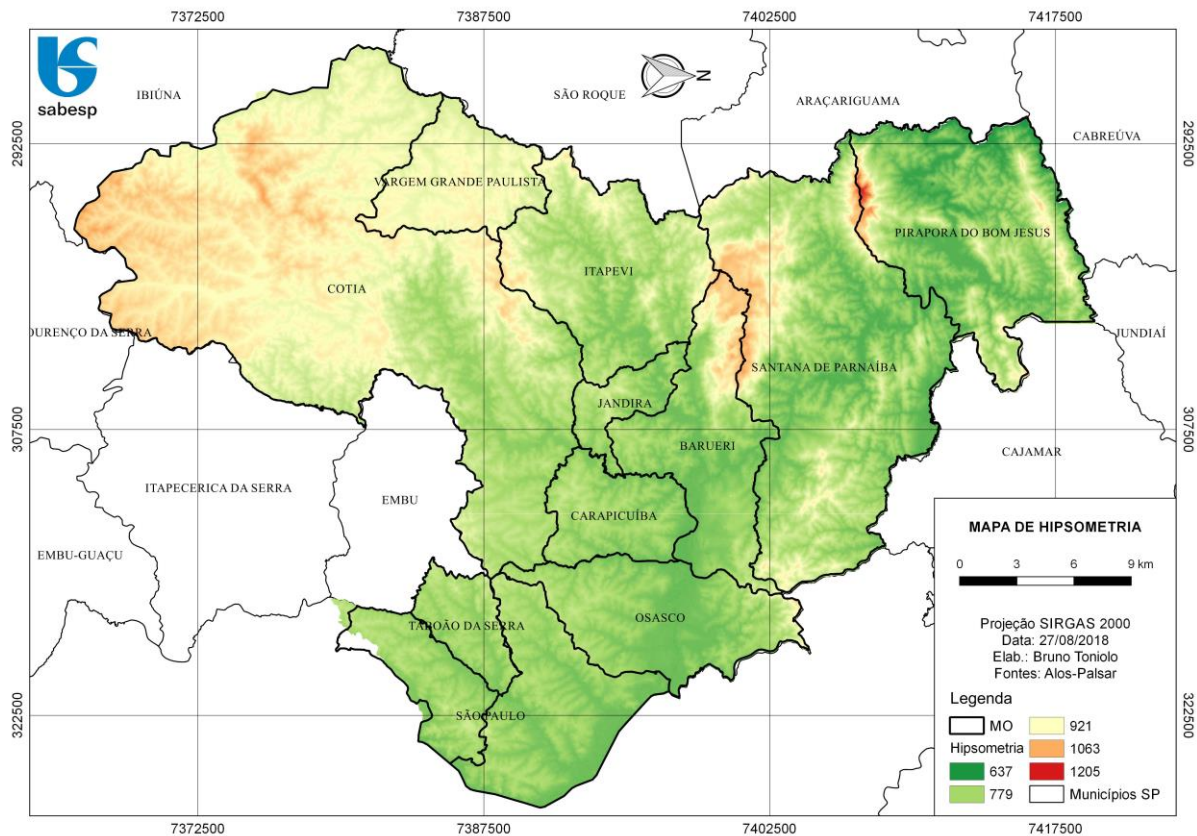


*Fluxograma das etapas para geração de microbacias hidrográficas.*

# METODOLOGIA

- Foi usado como base o provedor SAGA.
- Comando *Terrain Analysis – Hydrology – Fill Sinks (wang e Liu)* para gerar o MDEHC.
- Comando *Channel Network and Drainage Basins*, gerando:
  - ✓ *raster e shapefile* das microbacias;
  - ✓ *raster do fluxo de escoamento (flow direction)*;
  - ✓ *shapefile* das nascentes, nó e interseção dos córregos (*junctions*);
  - ✓ *shapefile* dos corpos hídricos (*channels*) e
  - ✓ *raster do fluxo acumulado (strahler order)*.

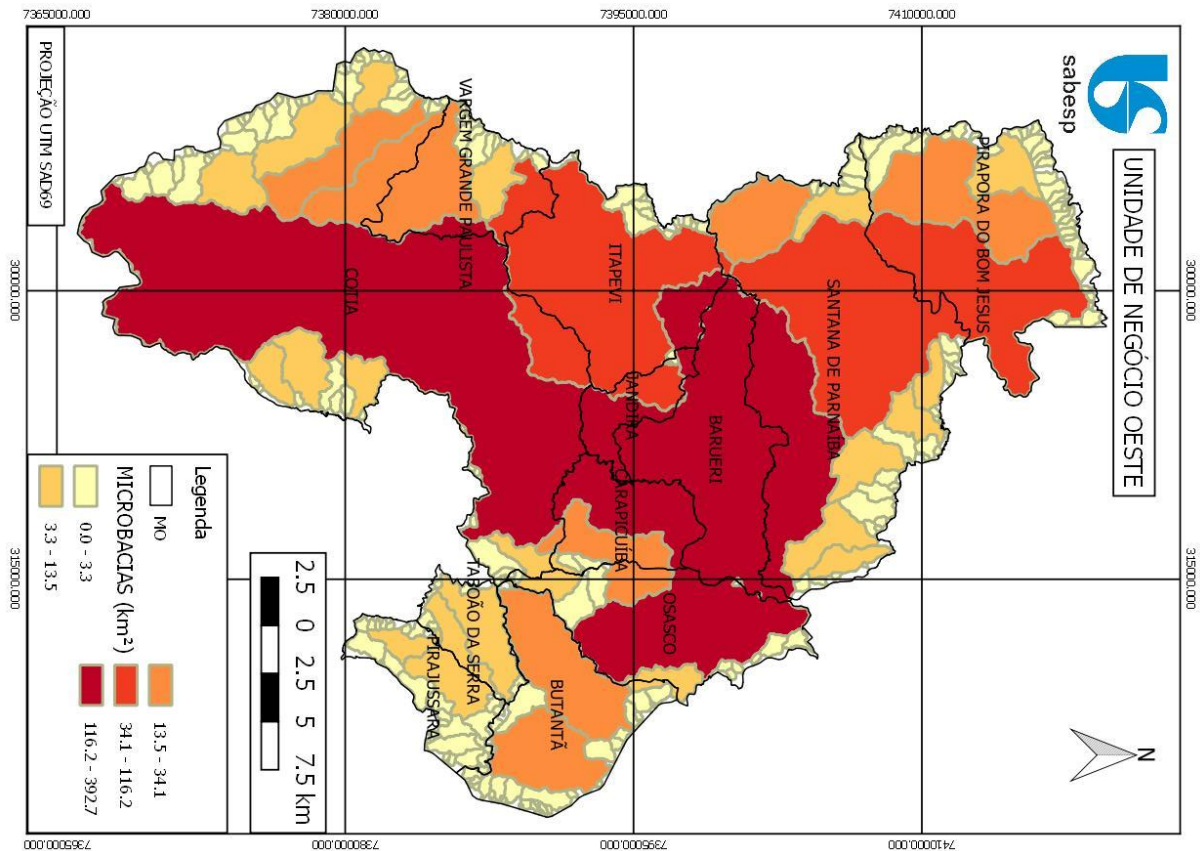
# METODOLOGIA



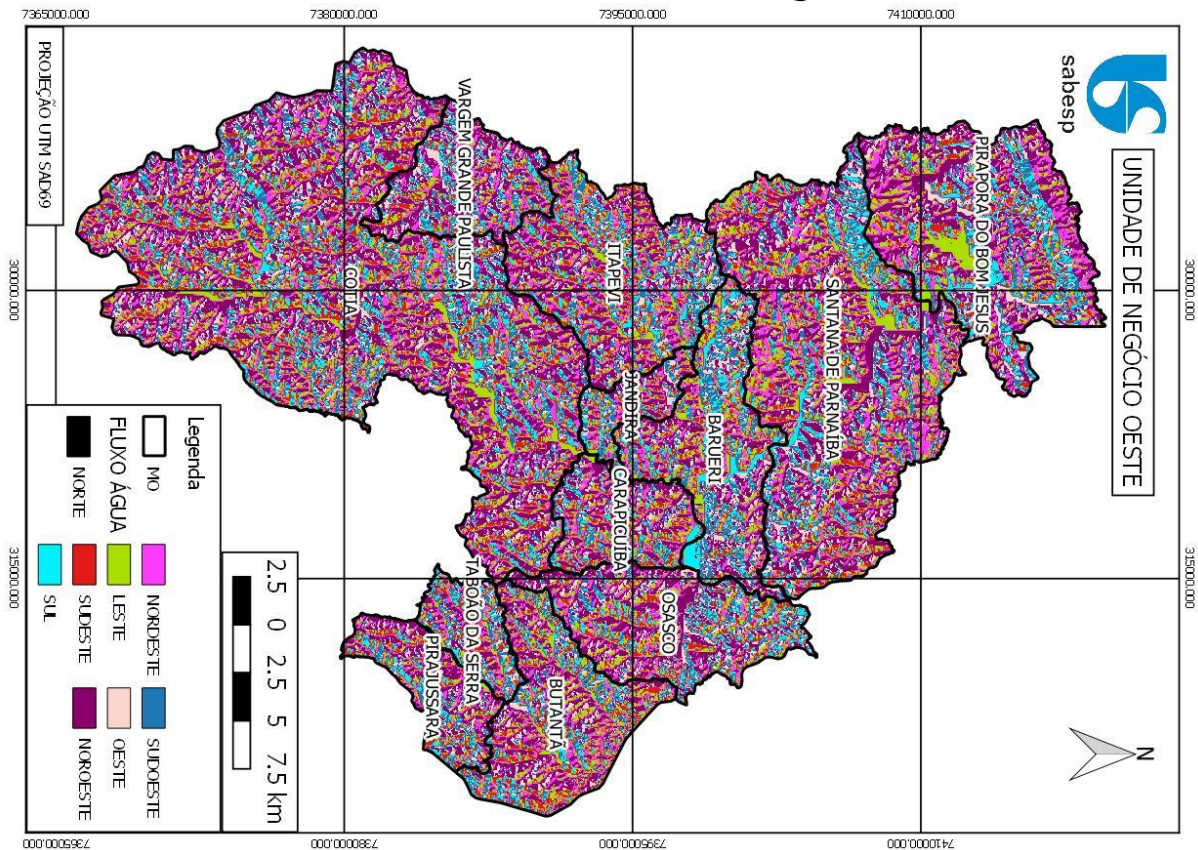
# RESULTADOS – PROVEDOR SAGA

- Foram geradas na MO um total de 238 microbacias.
- Mudada opção de ordenação hídrica de 4 para 5.
- Total de 2873 nascentes.
- Total de 2192,72 km de córregos.
- Tamanho mínimo da área de microbacia foi de 10 hectares, equivalente à 111 pixels (cada pixel possui 900m<sup>2</sup>).

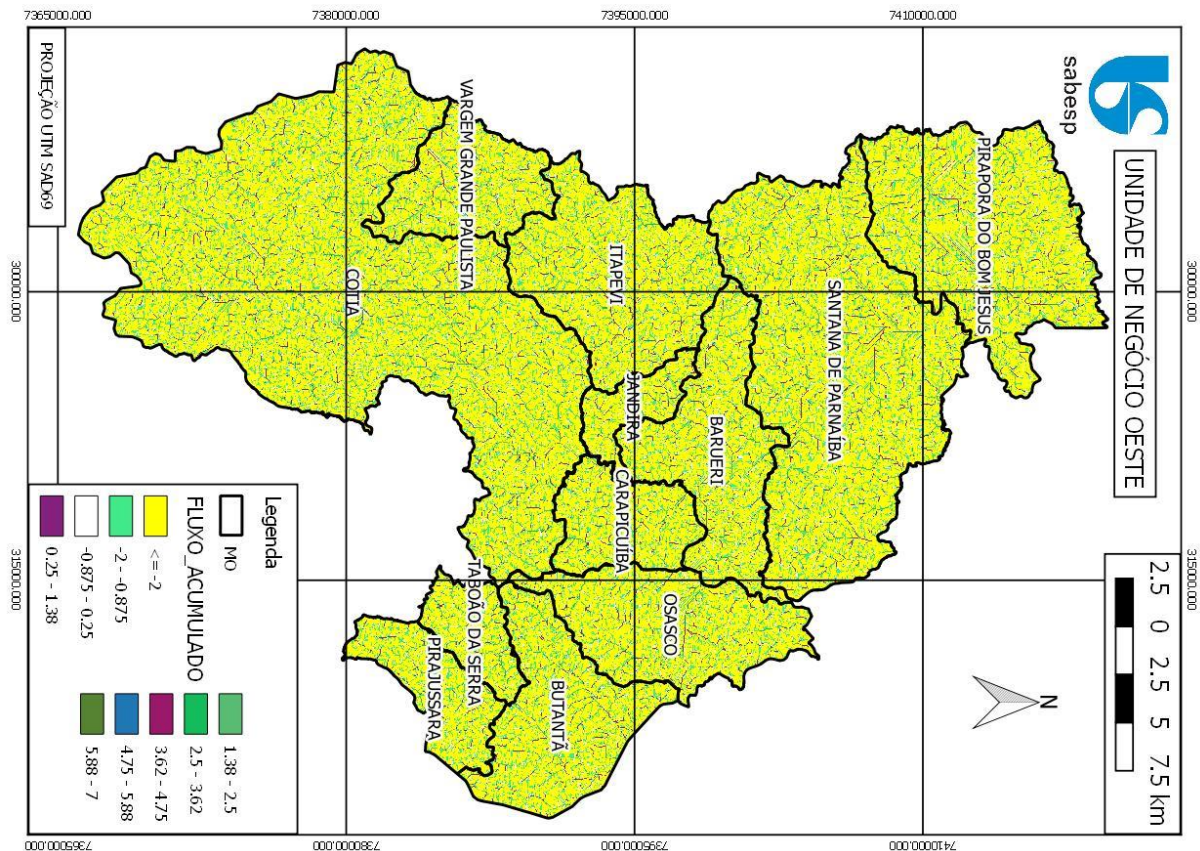
# RESULTADOS – MAPA DE MICROBACIAS



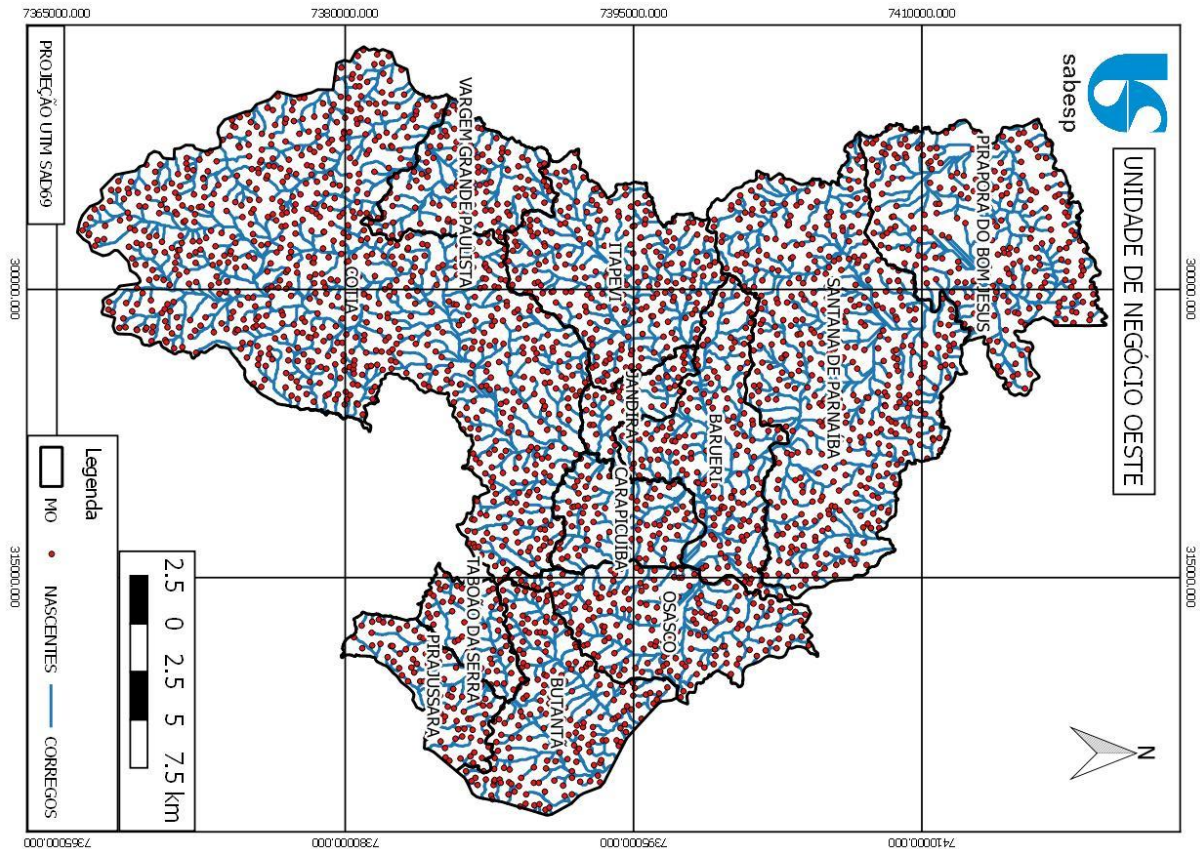
# RESULTADOS – MAPA DE DIREÇÃO DE FLUXO



# RESULTADOS – MAPA DE FLUXO ACUMULADO

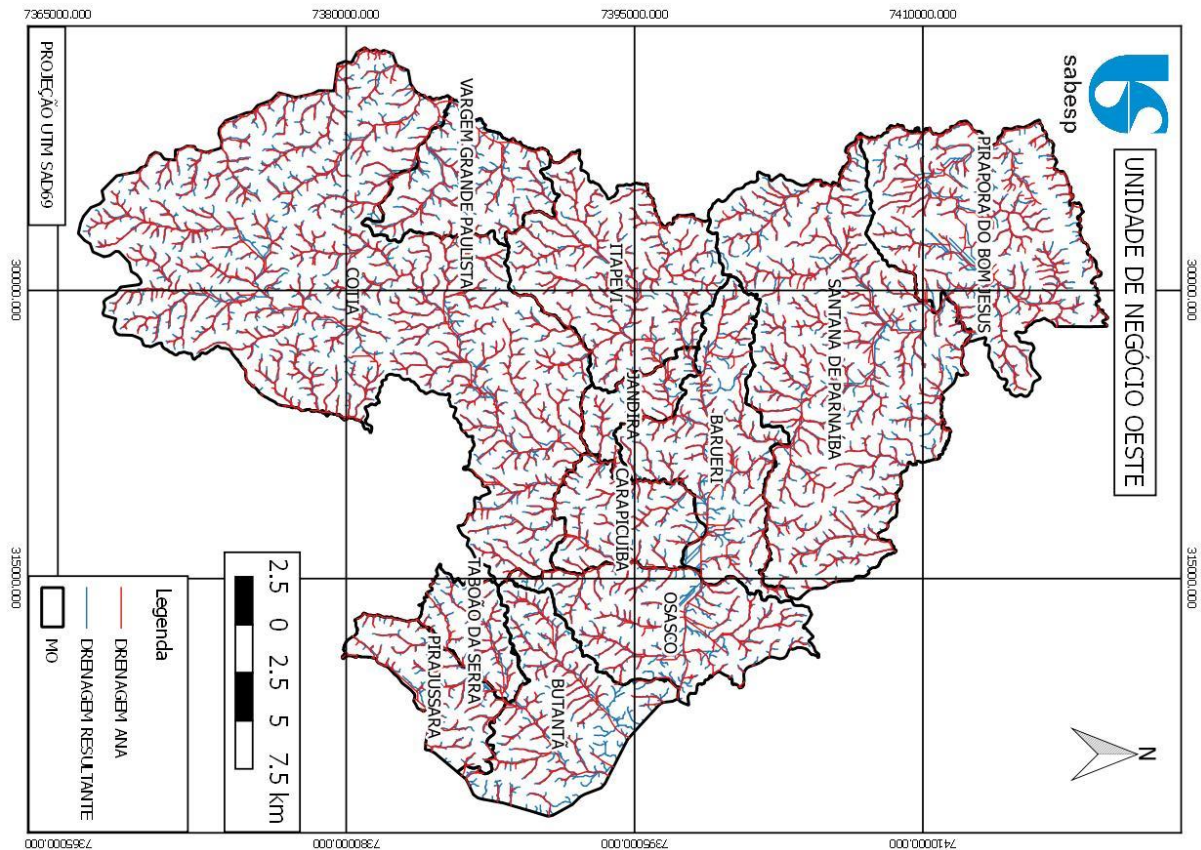


# RESULTADOS – MAPA DE CÓRREGOS E NASCENTES





# RESULTADOS – COMPARATIVO SAGA X ANA



# RESULTADOS – COMPARATIVO MICROBACIAS



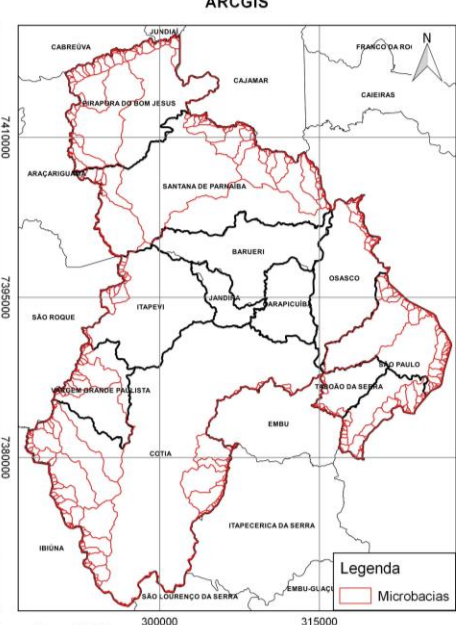
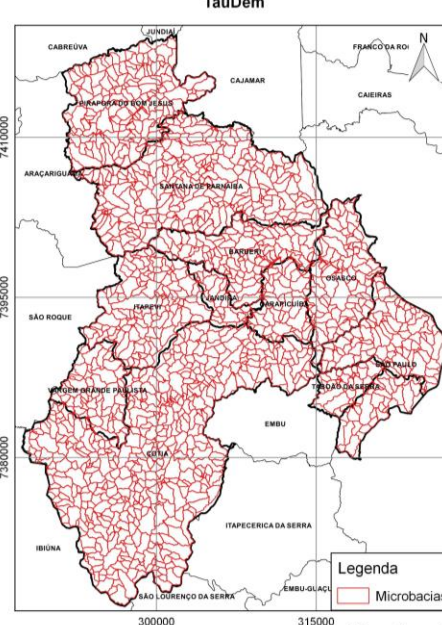
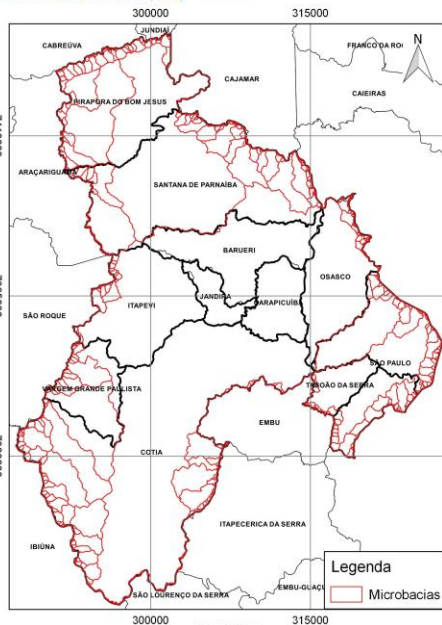
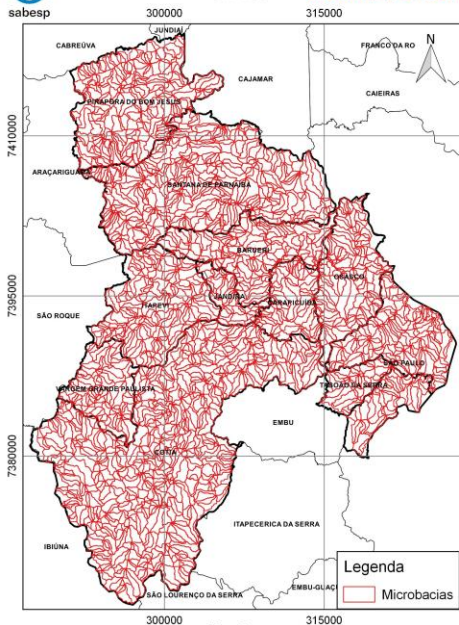
GRASS

MAPA COMPARATIVO DE ALGORÍTMOS  
PARA MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS (MO)

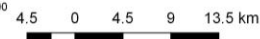
SAGA

IauDem

ARCGIS



PROJEÇÃO UTM SAD69



DATA: 21/02/18

# RESULTADOS – COMPARATIVO MICROBACIAS

- Forte coincidência geométrica, porém maior similaridade entre os pares GRASS-TauDem e SAGA-ArcGIS.
- Quantidade de microbacias geradas:
  - ✓ 2709 (GRASS), 2060 (Taudem), 1261 (SAGA) e 975 (ArcGIS).
- Quantidade de córregos gerados:
  - ✓ 1064 (GRASS), 1541 (TauDem), 957 (SAGA) e 619 (ArcGis).

# RESULTADOS – COMPARATIVO MICROBACIAS

- Método a partir de iterações (subjetivo): quanto maior o limiar – quantidade mínima de pixels para área da microbacia e ordenação mínima de Strahler para rede de drenagem – maior será o grau de divisão das bacias e maior a densidade fluvial.

# RESULTADOS – COMPARATIVO CORPOS HÍDRICOS



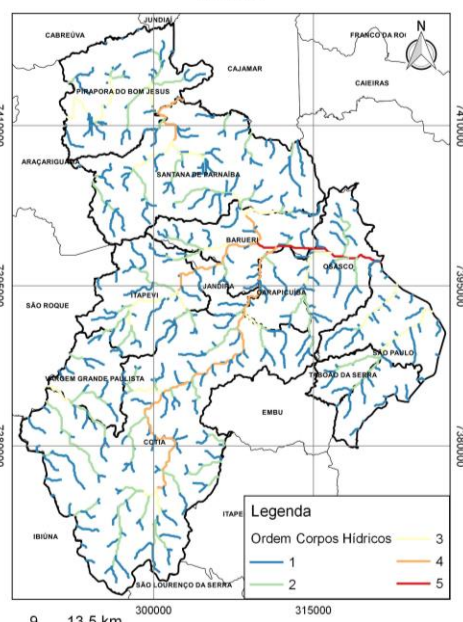
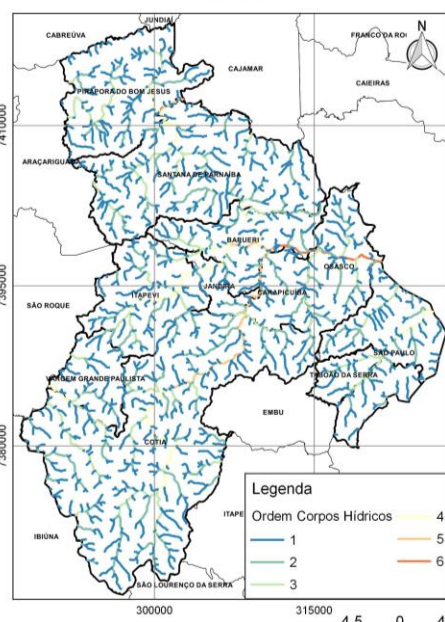
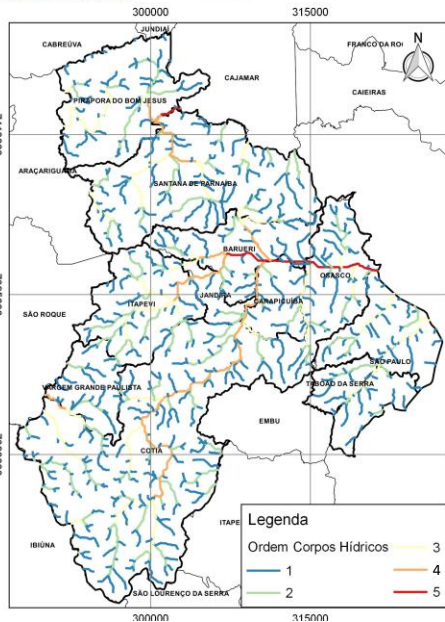
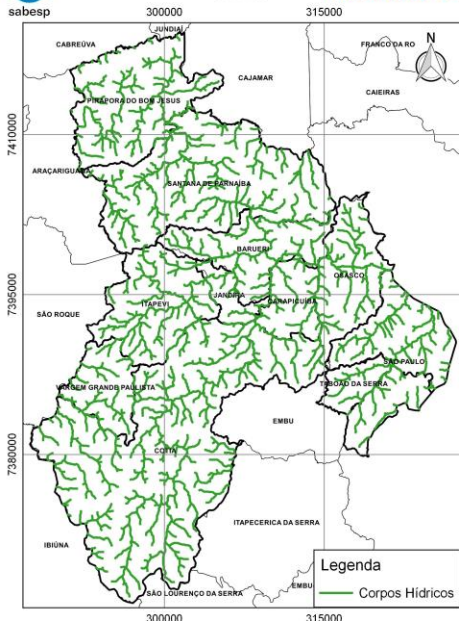
GRASS

MAPA COMPARATIVO DE ALGORÍTMOS PARA REDES DE DRENAGEM (MO)

SAGA

TauDem

ARCGIS



PROJEÇÃO UTM SAD69



DATA: 21/02/18

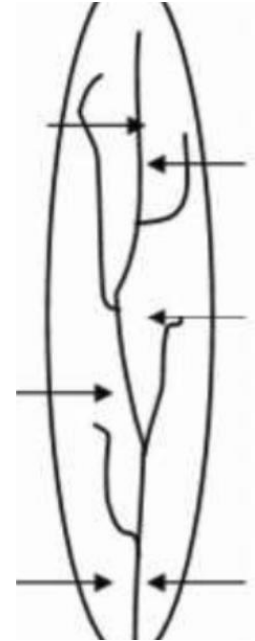
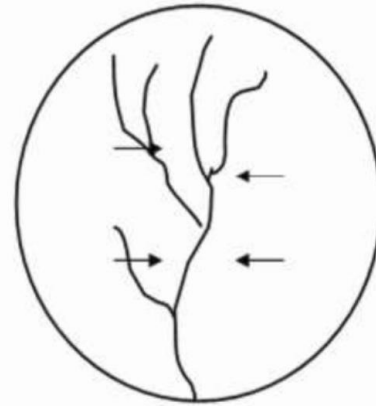


# RESULTADOS – Tabela de dados morfométricos

Variável				
	GRASS	SAGA	TauDem	ArcGis
Área Total (At) (he)	99.929,37	103.585,42	98.792,50	103.577,57
Perímetro Total (Pt) (km)	295,82	258,56	288,98	247,32
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,62	2,25	2,57	2,15
Fator de Forma (Kf)	0,35	0,36	0,35	0,36
Índice de Conformação (Ic)	0,73	0,74	0,73	0,07
Comprimento do curso de água principal (C) (m)	58.875,34	48.197,73	51.925,95	48.031,46
Comprimento total dos cursos de água (Ct) (m)	1.036.750,00	956.217,00	1.175.990,00	749.882,00
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	1,0375	0,9231	1,1904	0,724
Frequência de Rios (Fr) (km <sup>-2</sup> )	1,61	0,92	1,56	0,94
Ordem dos Cursos de Água (h)	1	5	6	5

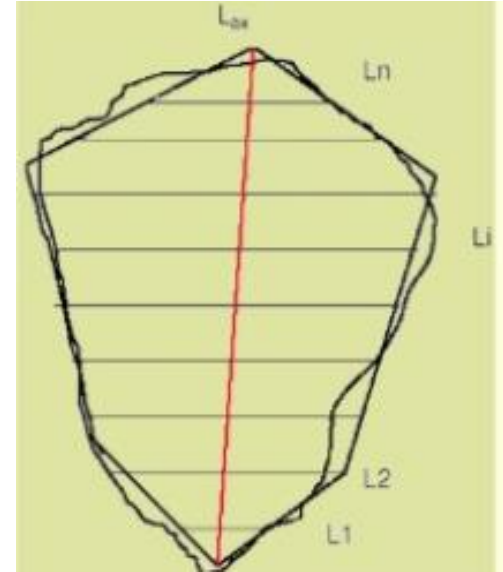
# Relembrando...

- Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ):  
Relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo com a mesma área da bacia.
- $K_c$  é sempre maior ou igual 1.
- Quanto menor o  $K_c$  mais circular é a bacia, menor é o tempo de concentração e maior tendência de enchente.



# Relembrando...

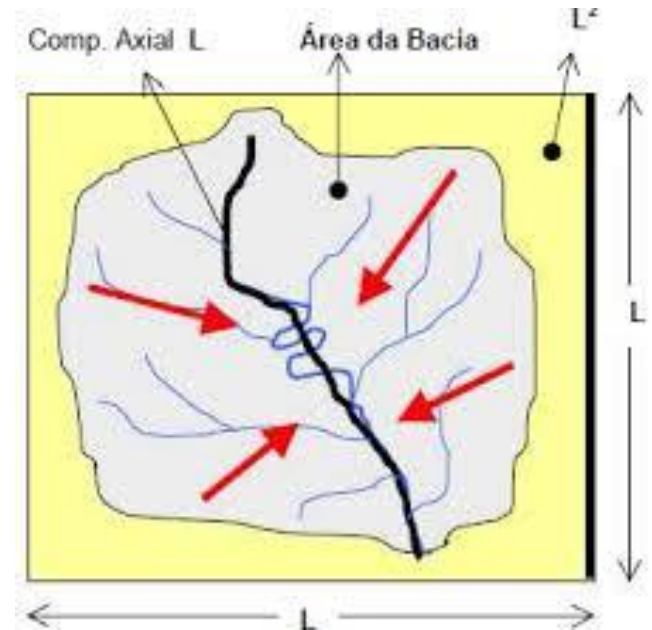
- Fator de Forma(Kf): Relação da largura média pelo comprimento axial.
- Quanto menor o Kf, mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o tempo de concentração é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.





# Relembrando...

- Índice de Conformação ( $I_c$ ): É a relação entre a área da bacia e um quadrado de lado igual ao comprimento axial da bacia.
- Expressa a capacidade da bacia de gerar enchentes.
- Quanto mais próximo de 1, maior a propensão à enchentes, pois a bacia fica cada vez mais próxima de um quadrado.



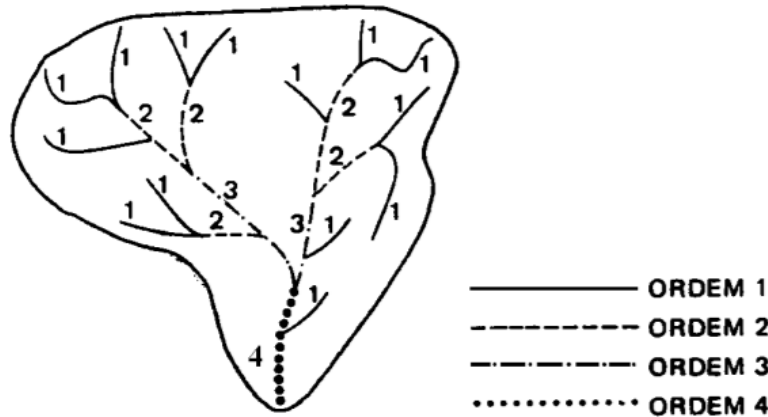
# Relembrando...

- Densidade de Drenagem: Representa o quanto a drenagem natural da bacia hidrográfica é eficiente.
- É a relação entre a soma dos comprimentos dos córregos e a área total da bacia.

Tipo de drenagem da bacia	Valores
Pobre	$Dd < 0,50 \text{ km/km}^2$
Regular	$0,50 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
Boa	$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
Muito	$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
Excepcionalmente bem drenada	$Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

# Relembrando...

- Ordem da bacia: O sistema de drenagem é constituído pelo rio principal e seus tributários.
- Quanto maior o grau de ramificação (afluentes), maior a tendência para pico de cheia.



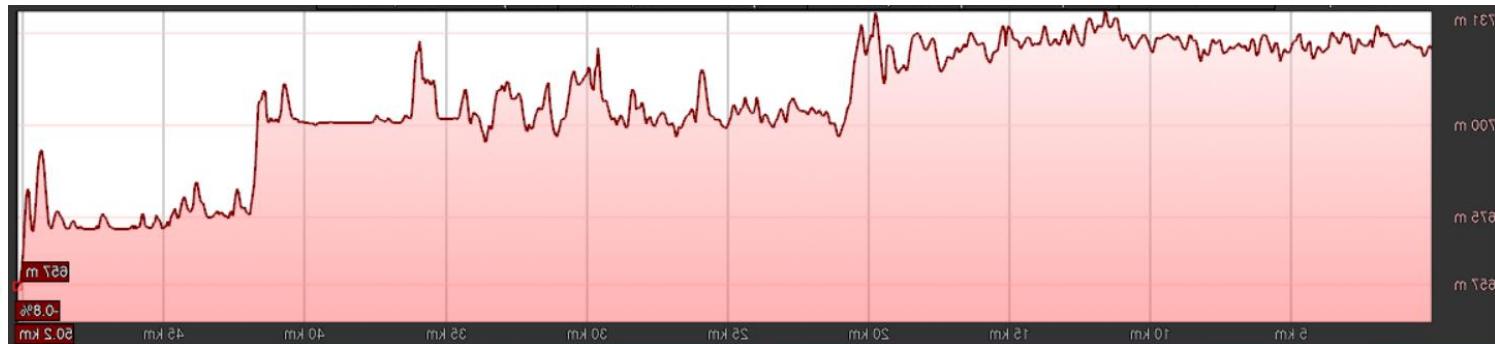
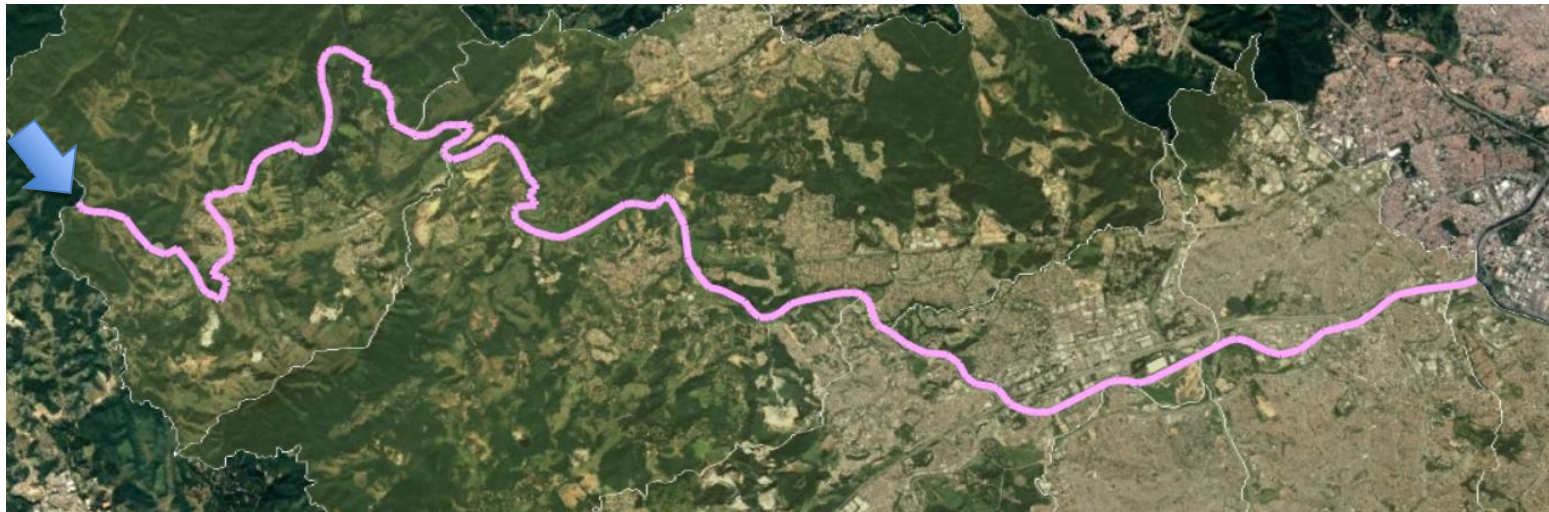
# Resultados

- O rio principal da MO é o rio Tietê que a corta com uma extensão média de quase 51 km, sendo que o valor mais destoante dos quatro algoritmos foi o GRASS com uma extensão de quase 59 km, ou seja, uma diferença aproximada de 8 km.



# Resultados – Planta e Perfil do Tietê na MO

Exutório



# RESULTADOS – Tabela de validação

Variável	Resultado		
	Média	ANA (validação)	Diferença (%)
Área Total (At) (he)	101.471,22	103.535,99	2,03
Perímetro Total (Pt) (km)	272,67	289,05	6,01
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,40	2,52	5,00
Fator de Forma (Kf)	0,35	0,36	2,86
Índice de Conformação (Ic)	0,57	0,74	29,82
Comprimento do curso de água principal (C) (m)	51.757,62	53.749,39	3,85
Comprimento total dos cursos de água (Ct) (m)	979.709,75	2.541.337,18	159,40
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	0,97	2,45	152,58
Frequência de Rios (Fr) (km <sup>-2</sup> )	1,26	5,26	37,46
Ordem dos Cursos de Água (h)	4	7	64,71

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados obtidos servem como subsídio para estudos ambientais e planejamento territorial, especialmente em lugares onde há carência de dados disponíveis ou quando as cartas topográficas estão desatualizadas.
- Os MDEs disponíveis são de qualidade confiável, gratuitos e são um benefício para os usuários da comunidade SIG devido ao seu caráter multivariado de análises (multidisciplinar).



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A extração das microbacias e redes de drenagem pelos complementos mostraram-se rápidas e mantiveram a coerência hídrica dos dados, isto é, hidrologicamente consistentes.
- O provedor TauDem apresentou maior densidade de rios e maior ordenação hídrica, entretanto os resultados foram semelhantes geometricamente.
- É desaconselhável indicar qual algoritmo é mais eficiente, pois limiares geospaciais diferentes sempre existirão.





# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Se feita de forma manual, a delimitação de uma bacia hidrográfica tende a ser subjetiva, pois, cada operador pode interpretar o divisor de água em posição diferente, resultando num formato geométrico também distinto. Logo a delimitação automática diminui essa subjetividade e acelera o processo, já que algoritmos dispartes apresentam resultados semelhantes para uma mesma bacia de drenagem delimitada.



# BIBLIOGRAFIA

- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2001.
- Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. Mapa. São Paulo, 2003. Escala 1:1.000.000.
- Jenson, S. K.; Domingue, J. O. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**. vol. 54, n. 11, p. 1593-1600, nov. 1988.
- Nicolete, D.A.P.; Carvalho, T.M.; Polonio, V.D.; Leda, V.C.; Zimback, C.R.L. **Delimitação automática de uma bacia hidrografia utilizando o MDE Topodata: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu – SP**. Botucatu-SP. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, 2016. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0791.pdf>>. Acesso em Março de 2017.
- Poletto, L.J.C.; Silva, C.H.C.; Júnior, S.R.; Vieira, C.A.O.; Santos, A.P. **Validação de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC)**. Recife – PE, 2008. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Disponível em < [https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII\\_CD/Organizado/cart\\_sig/062.pdf](https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/cart_sig/062.pdf)>. Acesso em Abril de 2017.
- QGIS. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Development Team, 2016. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em:<<http://www.qgis.org/>>. Acesso em Março de 2017.
- SABESP. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**, 2017. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=505>>. Acesso em Março de 2017.
- Silva, J.R.; Moura, A.C.M. **Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG**. Foz do Iguaçu – PR, 2013. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
- Silva, J.S.; Leite, E.P.F.; Gadelha, A.G. **Utilização de software livre na extração de atributos hidrológicos**. Recife – PE, 2010. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.



# AGRADECIMENTOS

- Pessoal da SABESP – equipe MOED, Ney Nobuo, Sandra Stringhini, Luis Simioni, gerentes Tarcísio, Fátima Bragante e Alessandro e todos funcionários que ajudaram na realização técnica desta pesquisa.
- Familiares, minha namorada Bruna e amigos Rogério, André e Lucindo que contribuíram com sugestões e críticas.
- Parceiros:

