

Risco de Erosão Hídrica no âmbito da delimitação da Reserva Ecológica Nacional (REN):

Cálculo do Factor Topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo EUPS

António A. M. Alves da Silva: Geógrafo, investigador – DGT – Direcção-geral do Território

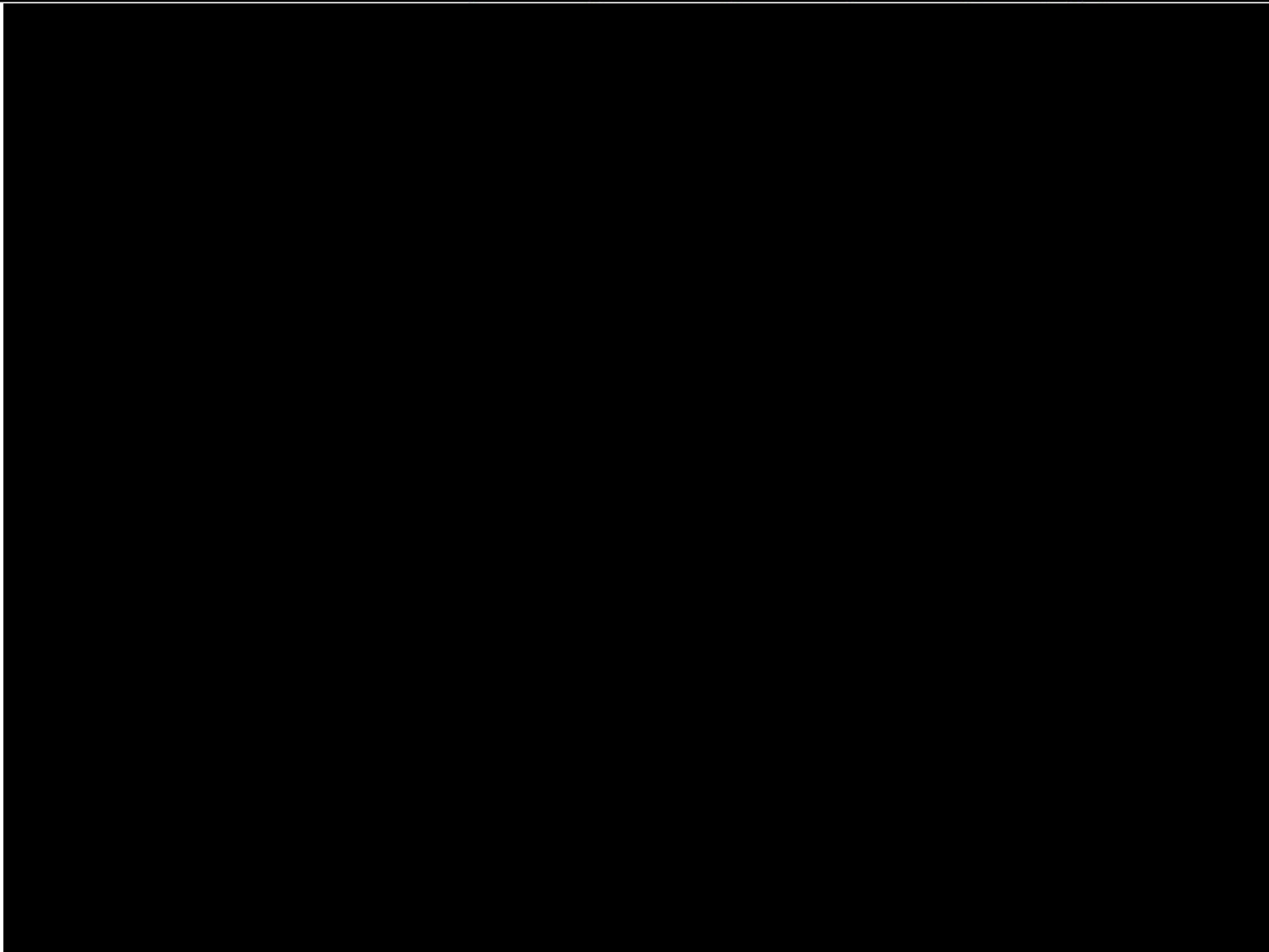


Fernando E. Lagos Costa: Geógrafo, investigador – ISA – Instituto Superior de Agronomia



Comunicação oral 061





Fonte: Mey, Decaudin, Hu (2007), <https://www.youtube.com/watch?v=9kLoZShDr0o>, adaptado

1 – A Legislação e recomendações técnicas

REN
Portaria n.º 336/2019
Reserva Ecológica Nacional
de 26 de setembro
DL 93/90

OBJECTIVO GERAL : Protecção dos solos contra a erosão

OBJECTIVO ESPECÍFICO: Identificar e delimitar as áreas de elevada susceptibilidade erosão hídrica do solo (AEREHS) para serem incluídas na REN



Territórios cuja erosão média anual ultrapassa um determinado limite considerado crítico (actualmente fixado em 25 ton/ha/ano).

EUPS – Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier e Smith, 1978)

$$A = R.K.LS.C.P$$

- A – Massa de solo erodida por área e por ano
- R – Precipitação: Erosividade (factor desencadeante)
- K – Erodibilidade do solo
- LS – Factor topográfico
- C – Tipo de ocupação do solo
- P – Forma de conservação do solo

2 – O significado do LS

L – *Length* – Distância percorrida pelo fluxo hídrico em escoamento desorganizado e em condições morfológicas idênticas.

S – *Slope* – Valor do declive ao longo da distância percorrida pelo fluxo hídrico

$$\text{Factor Topográfico} = L \times S$$

GRAVIDADE – DISTÂNCIA - FORMA

3 – O cálculo do LS

a) pressupostos a ter em consideração

Dados

Densidade geográfica

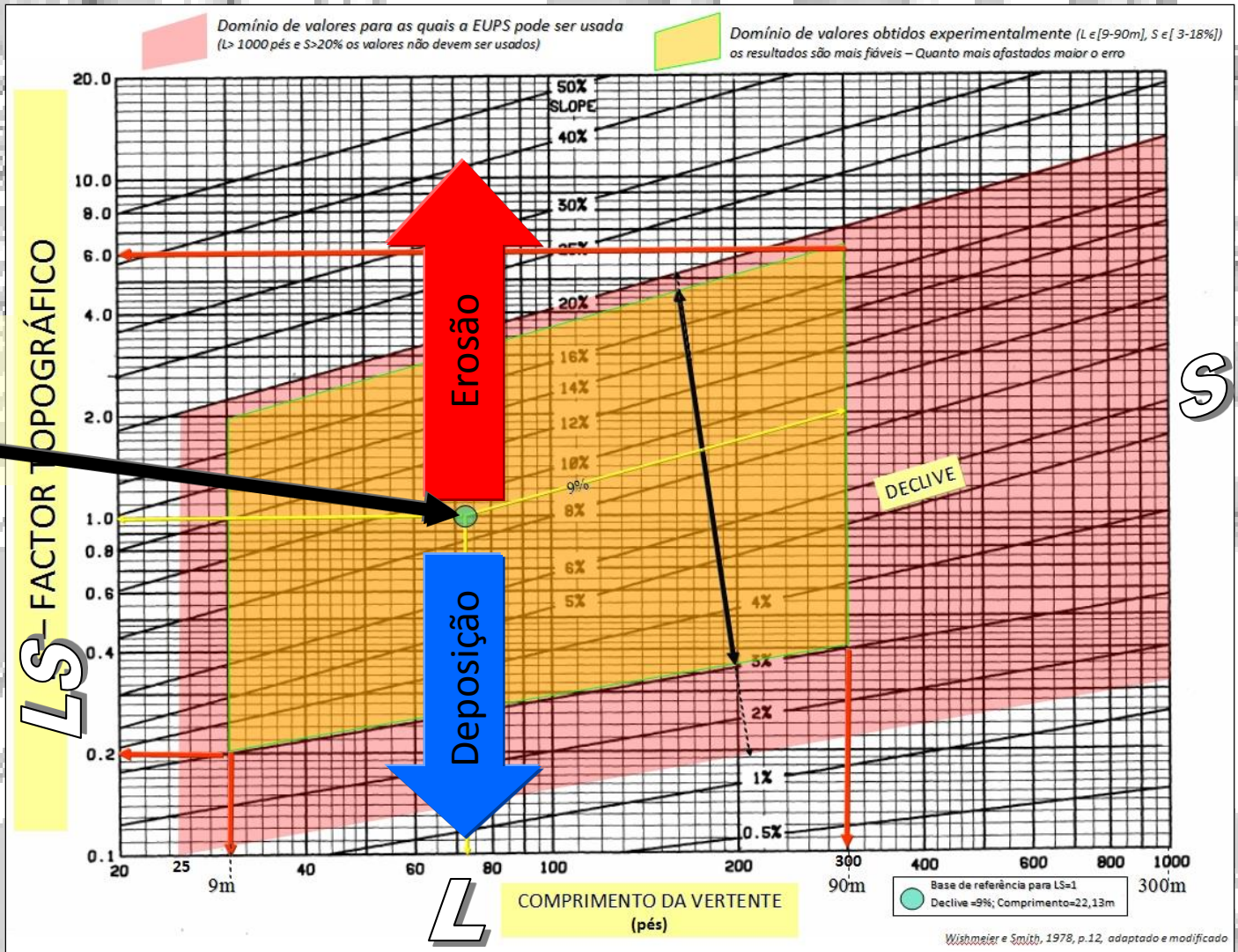
Qualidade

Adequabilidade

Homogeneidade

Dificuldade de cálculo,
processamento,
implementação e
uniformização de critérios

b) Limitações



Relação entre o declive e o comprimento da vertente no escoamento desorganizado e o factor topográfico LS da EUPS segundo Wischmeier e Smith, 1978 (traduzido e modificado).

c) as variantes da EUPS

L =comprimento da vertente de referência

S =declive da vertente

m =expoente relacionado com o declive e a razão entre a erosão hídrica provocada pelo escoamento em toalha (*inter-rill*) ou através de sulcagem (*rill*)

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{sen \theta}{0,0896}$$

λ =Comprimento do percurso do escoamento superficial não organizado ou ao valor, em cada ponto, do fluxo hídrico descendente acumulado

θ = Declive ao longo do percurso da escorrência

~~USLE~~

~~$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \cdot (65,41 sen^2 \theta + 4,56 sen \theta + 0,065)$$~~

RUSLE

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \cdot$$

$$S_1 = 10.8 sen \theta + 0.03$$

$$S_2 = 16.8 sen \theta - 0.50$$

$$S_3 = 21,91 sen \theta - 0,96$$

$$S_2 = (sen \theta / 0,0896)^{0,6}$$

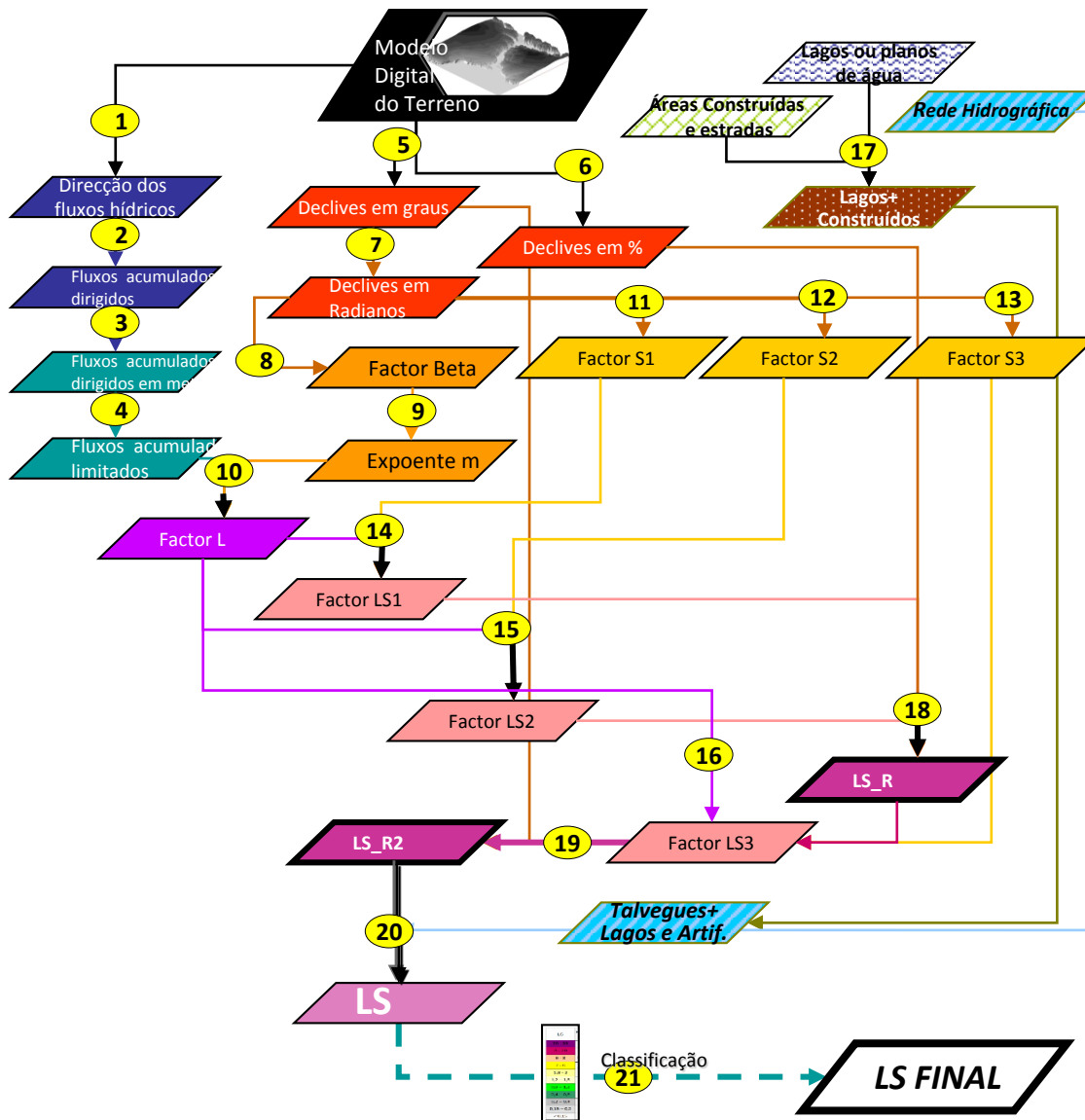
declive < 9%
declive >= 9%

Erosividade eq. n/efectiva

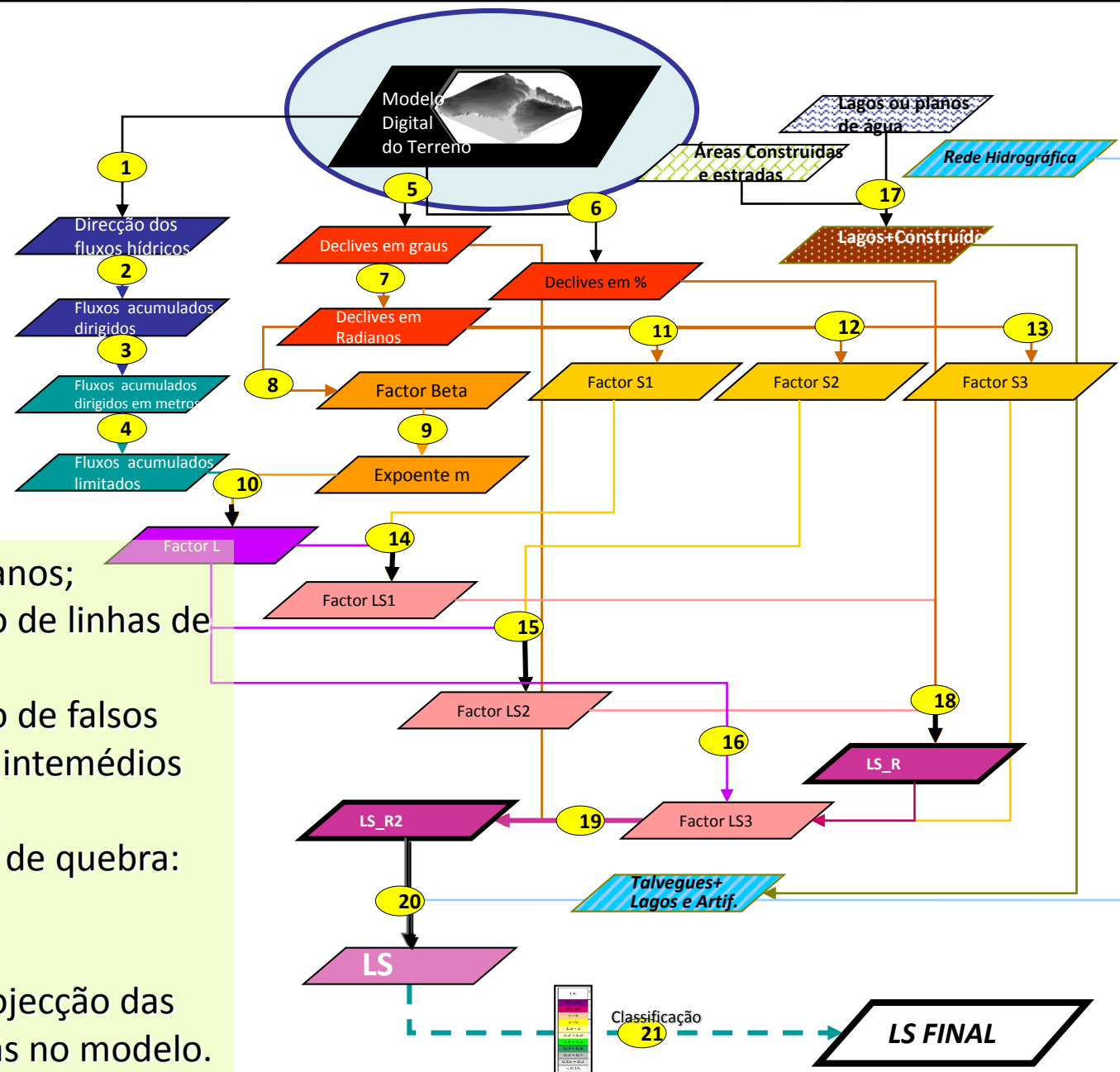
Erosividade eq. efectiva

declive > 10°

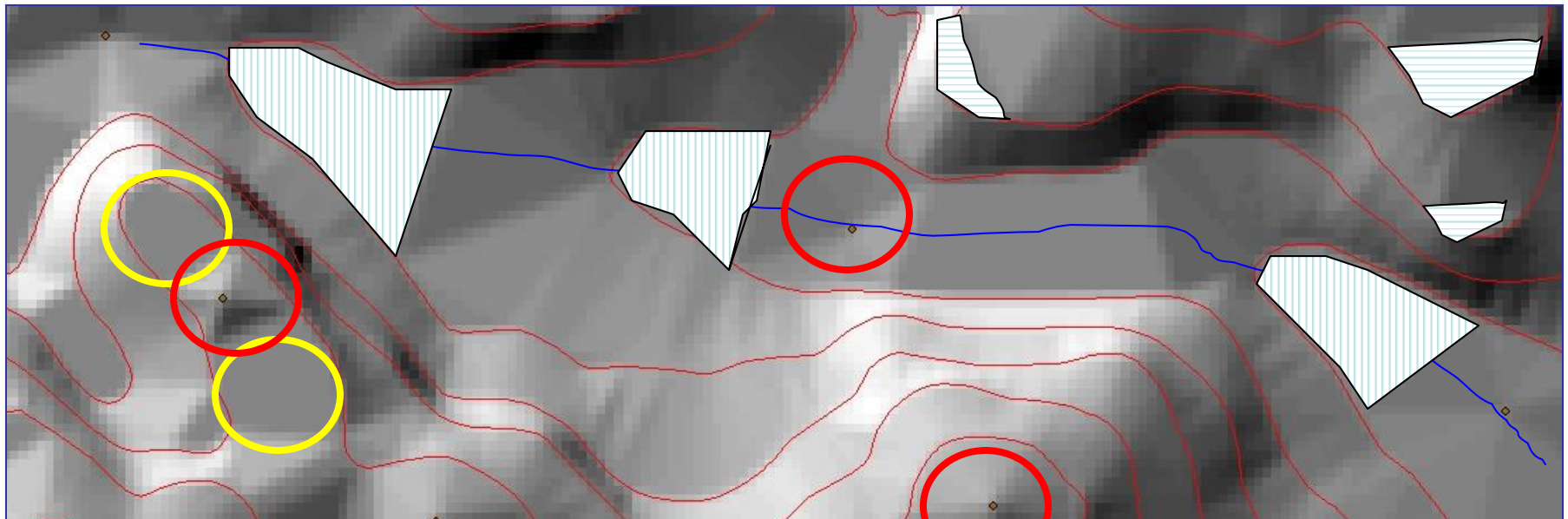
4 – Metodologia







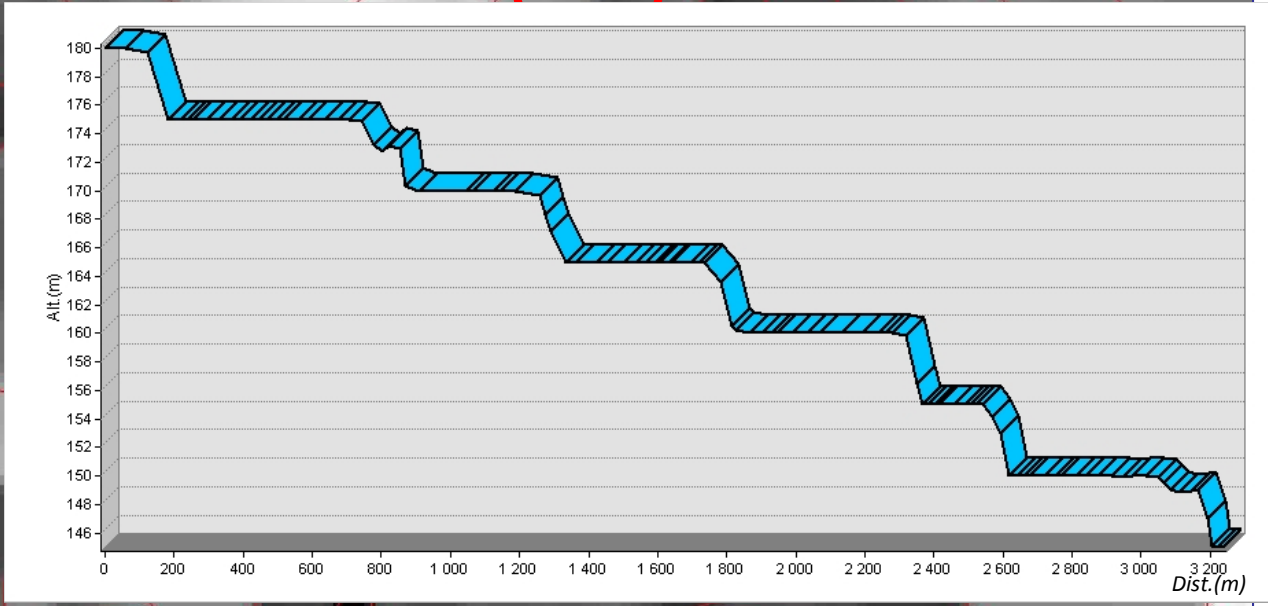
PASSO/ MAP A Nº	DESIGNAÇÃO	Processos
1	CÁLCULO DA DIRECÇÃO DOS FLUXOS HÍDRICOS	Flow Direction
2	FLUXOS ACUMULADOS DIRIGIDOS	a) Flow accumulation; b) substituem-se os valores por 0,01 (CON("Mape2a") = 0, 0,01, "Mape2a")
3	FLUXOS ACUMULADOS: CONVERSÃO DE Nº DE CÉLULAS PARA METROS	"Mape2b" * tamanho de célula em metros
4	LIMITAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS FLUXOS ACUMULADOS	CON("Mape3" < 305, "Mape3", 0) (funciona ao nível de 305 m e converte o m de 305 para 0 para as células por as considerar sua pertença à rede organizada)
5	DECLIVES EM GRAUS	Slope in Degrees, (e depois converter em 0,01 os valores zero)
6	DECLIVES EM %	Slope percent (e depois converter em 0,017 os valores zero)
7	DECLIVES EM RADIANOS	"Mape5" * 0,0174532925
8	β	$\beta = \frac{\ln(1 + \sin^2(\theta))}{\sin(\theta)}$ $\sin("Mape7") / 0,0896 / (0,8 + 4 * \text{Power}(\sin("Mape7"), 0,6))$
9	EXPOENTE m	"Mape8" / (1 + "Mape8")
10	FACTOR L	$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m$ $\text{Power}("Mape4" / 22,13, "Mape8")$
11	S_1 (declive <= 9%)	$S = 10,8 \cdot \sin^2 \theta + 0,03$ $10,8 * \sin("Mape7") + 0,03$
12	S_2 (declive > 9%)	$S = (22,13 \theta / 0,0896)^{0,6}$ $\text{Power}(\sin("Mape7") / 0,0896, 0,6)$ <i>(zero em declives > 100% - erro de arredondamento no sistema)</i>
13	S_3 (declive > 10°)	$S = 21,9 \cdot \sin^2 \theta - 0,96$ $21,9 * \sin("Mape7") - 0,96$
14	LS ₁	"Mape10" * "Mape11"
15	LS ₂	"Mape10" * "Mape12"
16	LS ₃	"Mape10" * "Mape13"
17	ÁREAS A ELIMINAR (CONVERSÃO EM ZERO)	Agrupação de polígonos de áreas construídas e planos de água, conversão para raster atribuindo ao valor 0 aos polígonos resultantes; conversão para 0 das células correspondentes à rede organizada, união dos mapas
18	LS ₁₂	CON("Mape15" > 9, "Mape15", "Mape14")
19	LS ₁₂₃	CON("Mape16" < 10, "Mape18", "Mape16")
20	LS FINAL - EXCLUSÃO DE ÁREAS SEM EROSIÃO LAMINAR DE SOLO	"Mape19" * "Mape17"
21	LS FINAL Classificado	



- Correção de falsos planos;
- Verificação e correcção de linhas de água;
- Verificação e correcção de falsos topos planos e socalcos intemédios em cumeadas e arestas;
- Identificação de linhas de quebra:
 - estradas;
 - rede hidrográfica;
- Reprocessamento e projecção das linhas de água e estradas no modelo.



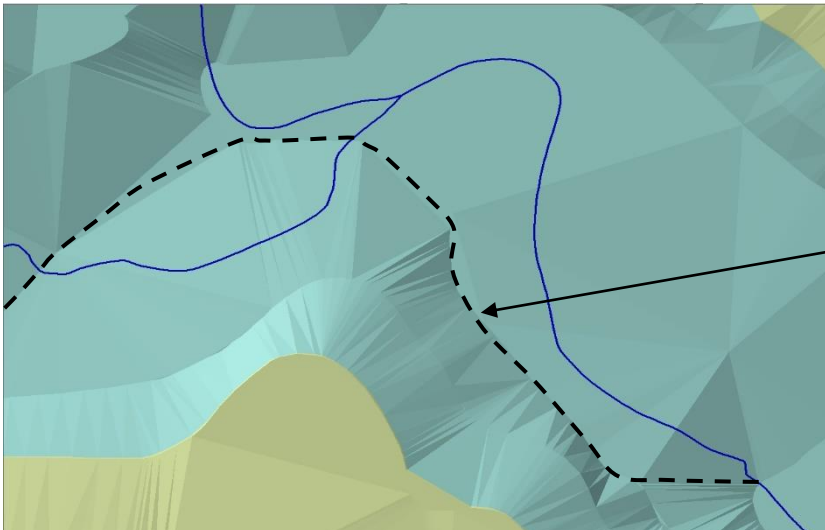
-  Falso topo plano
-  Falso pico
-  Falsa rechã/socalco
-  Falso patamar fluvial



100 m

Eq.5m

1



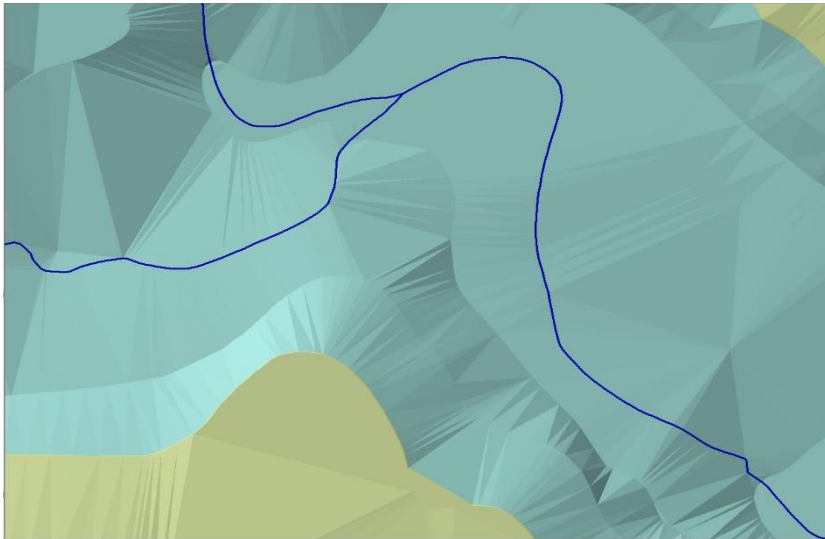
Talvegue
sem considerar
as linha de água
(posição errada)

1- Linhas de água fora do mdt (Os triângulos atravessam as linhas)

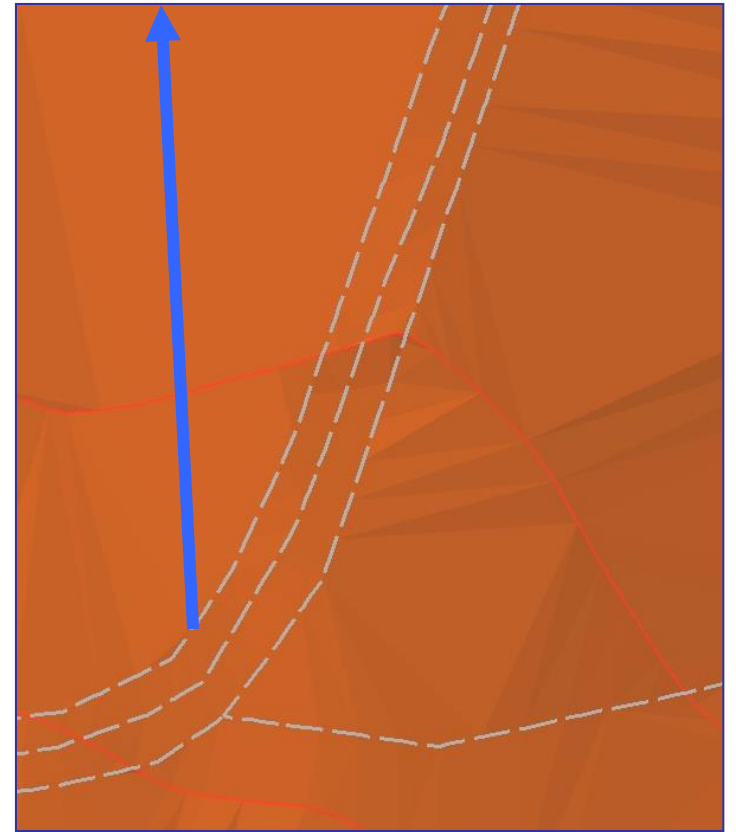
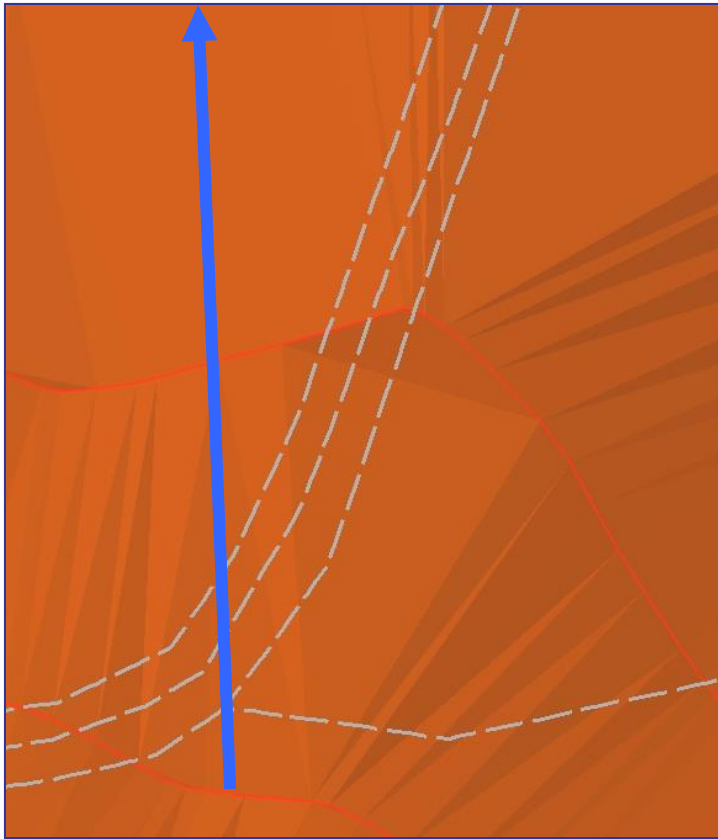
2- Linhas de água incluídas no mdt como linhas de quebra

(Os triângulos não atravessam as linhas)

2



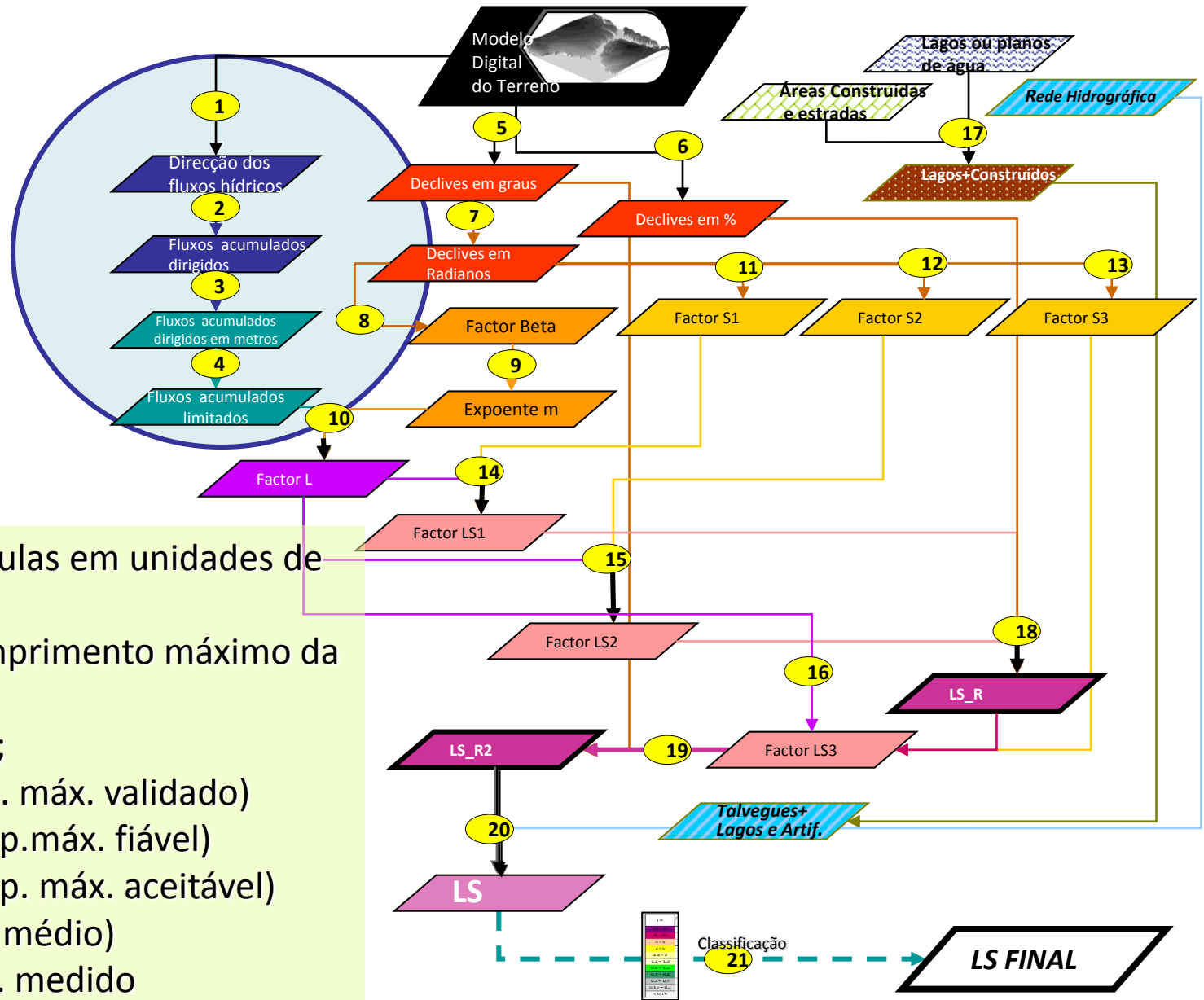
Talvegue
considerando
as linha de água
(posição 2D certa)



20 m

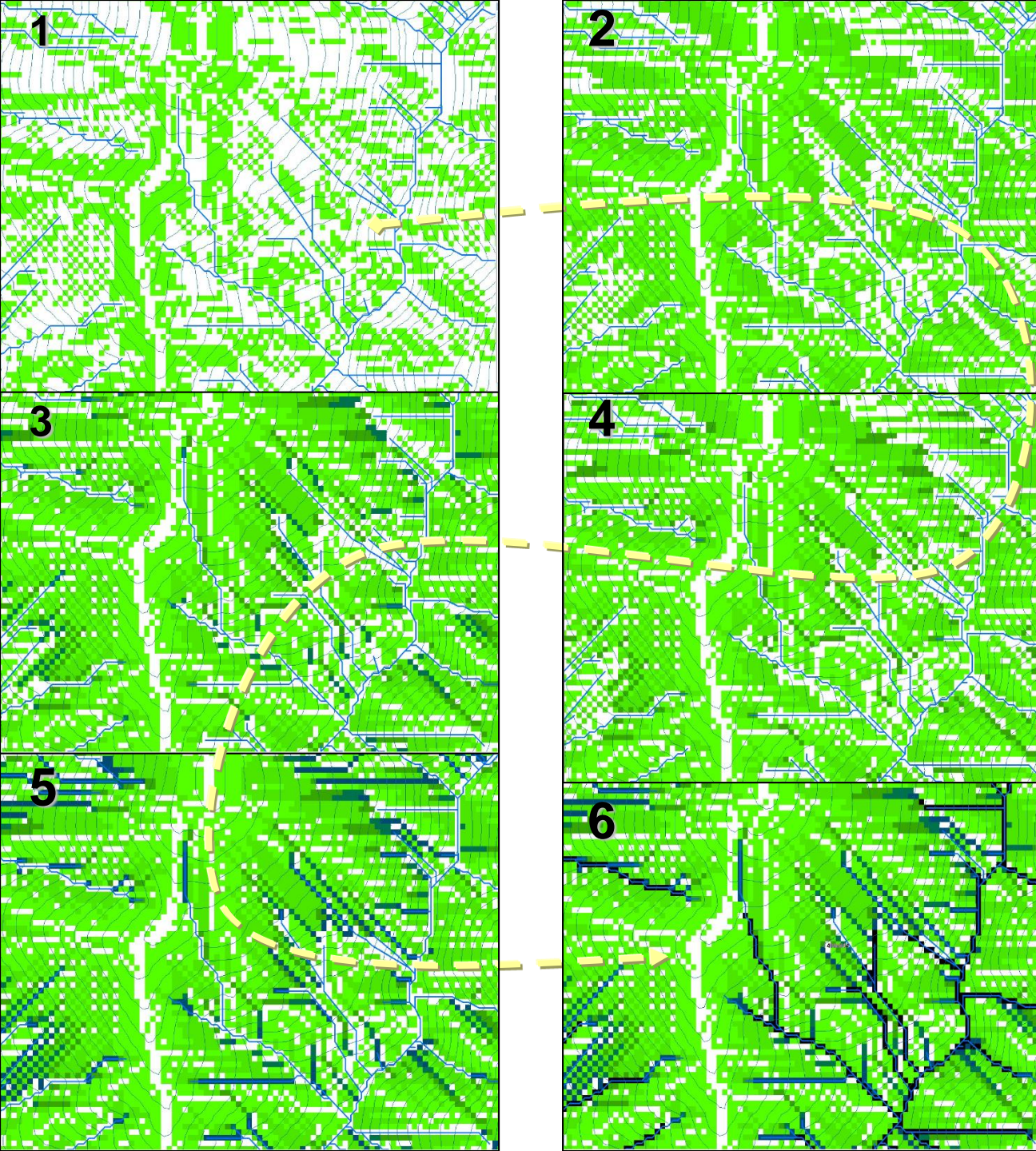
----- estrada

~~~~~ curva de nível



- Conversão de células em unidades de comprimento;  
 - Limitação do comprimento máximo da escorrência:







- sem limites;
- 90m (Comp. máx. validado)
- 122m (Comp.máx. fiável)
- 305m (Comp. máx. aceitável)
- Eps (Comp. médio)
- Comp. Máx. medido




Limitação de comprimentos máximos dos fluxos hídricos acumulados.

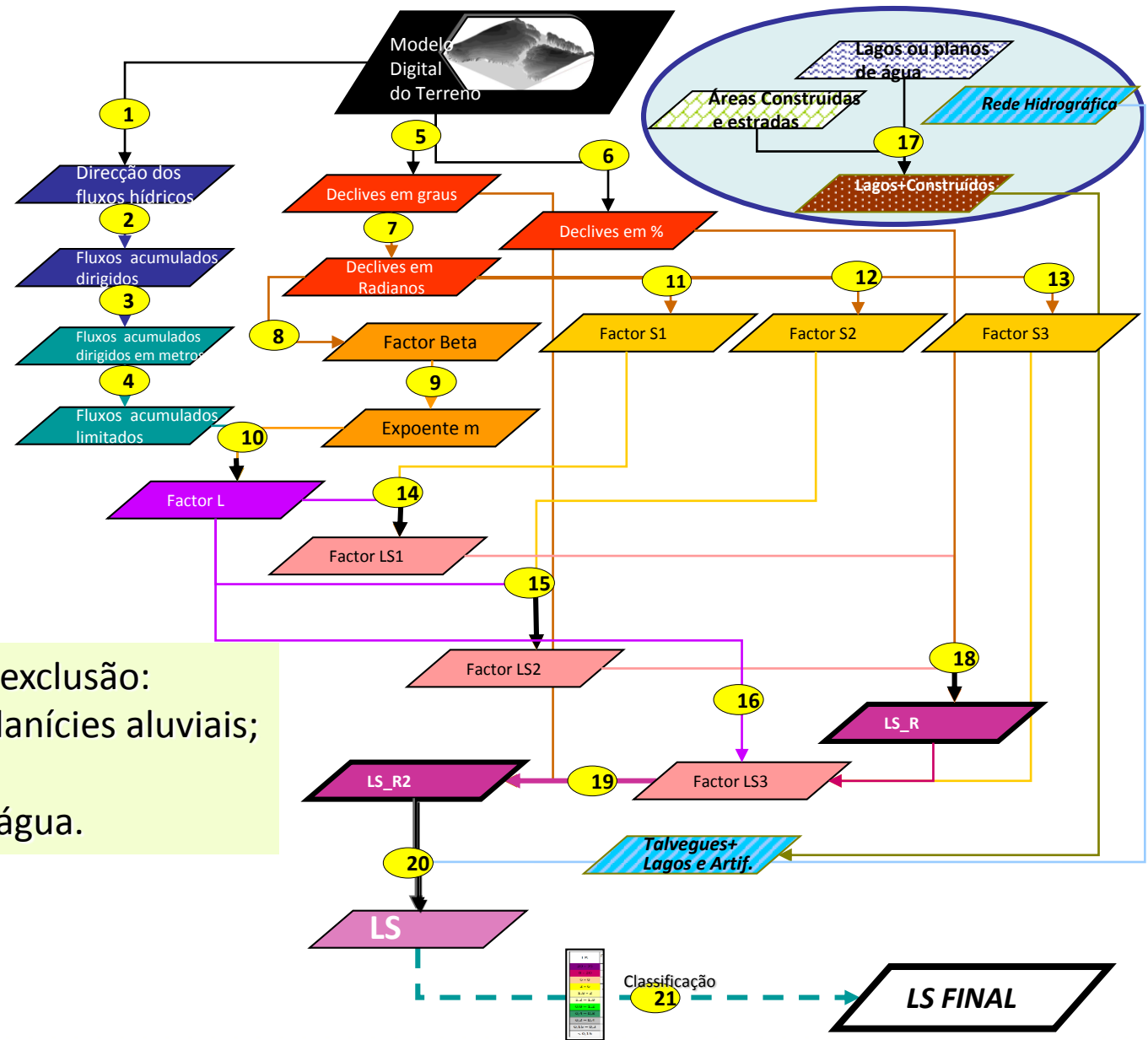
(Comp. da escorrência)

Diferentes  
**comprimentos máximos**  
experimentados  
(área amostra)

-  1- MÁX.26m (EPS)
-  2- MÁX.90m
-  3- MÁX.122m
-  4- MÁX.146m (*MÁX.MEDIDO*)
-  5- MÁX.305m
-  6- SEM MÁXIMO

 Áreas sem escorrência,  
ou com escoam. organizado

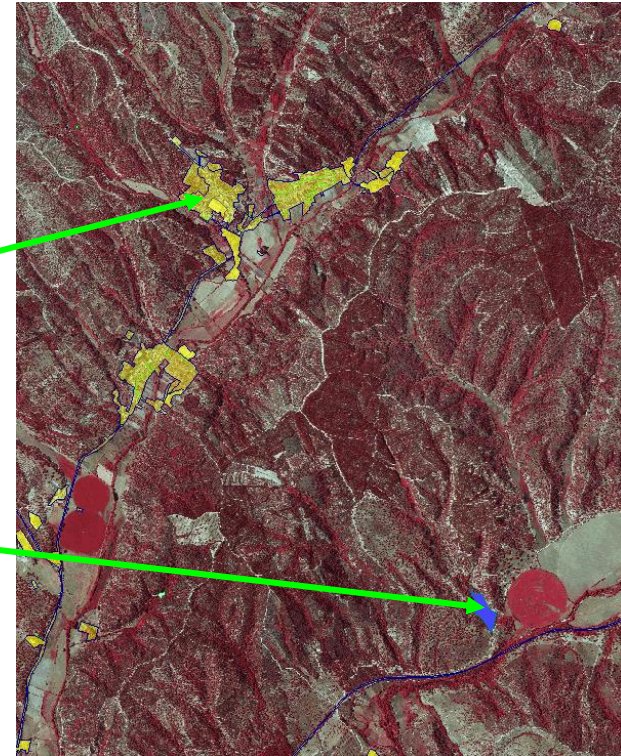
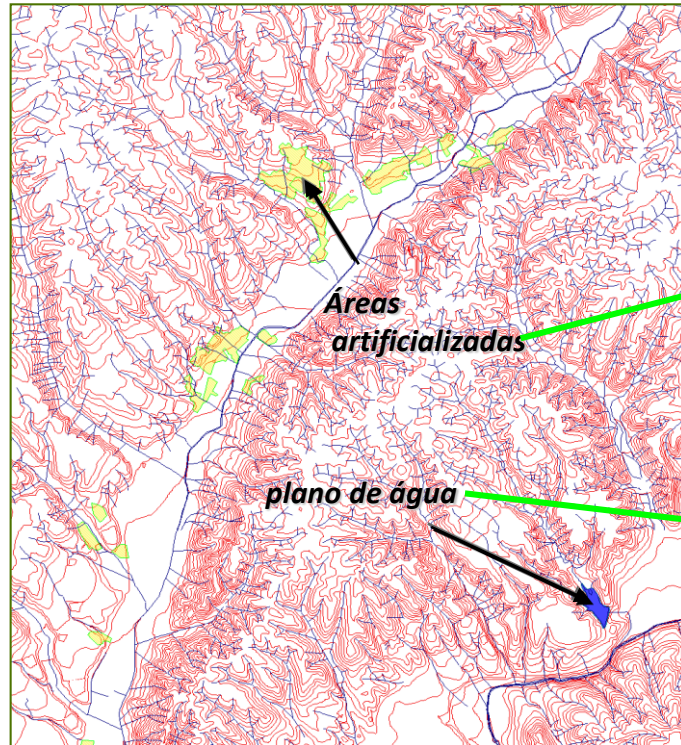
100 m



Identificação de áreas de exclusão:

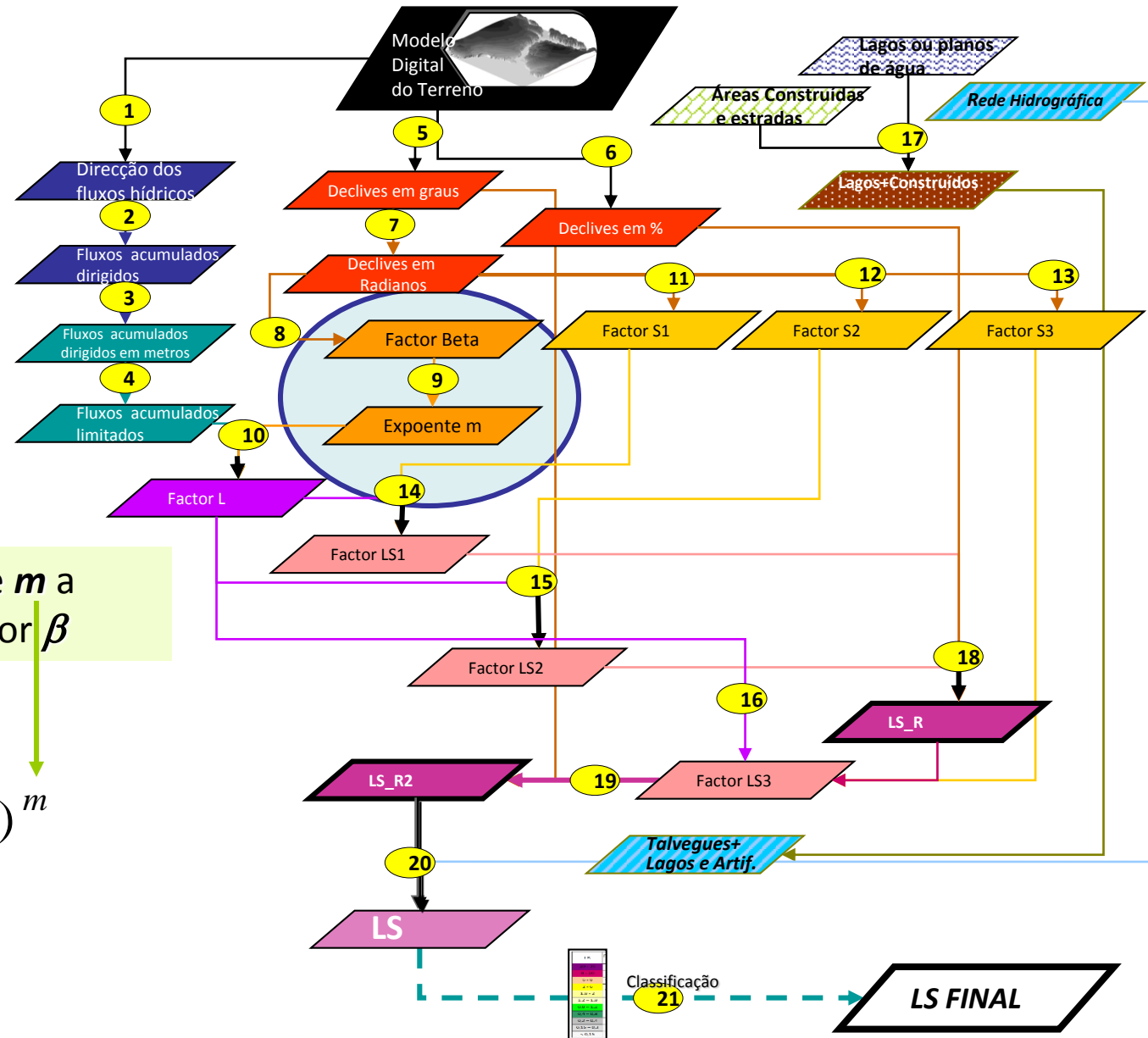
- fundos de vale e planícies aluviais;
- áreas construídas;
- cursos e planos de água.

Identificação e delimitação de:  
*planos de água,*  
*áreas artificializadas*  
com recurso à COS 2015 e Ortofotos de alta resolução



500 m





- Obtenção do expoente  $m$  a partir do cálculo do factor  $\beta$

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

***m*** = expoente para o cálculo do comprimento do percurso da escorrência, relacionado com o declive e a razão entre a erosão hídrica provocada pelo escoamento em toalha (*inter-rill*) ou através de sulcagem (*rill*)

| Dedive em % | <i>m</i> |
|-------------|----------|
| 5           | 0,54     |
| 4,5         | 0,40     |
| 3,5         | 0,30     |
| 3           | 0,20     |

Forma tradicional de obtenção do *m*  
(USLE Wischmeier e Smith, 1978)

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

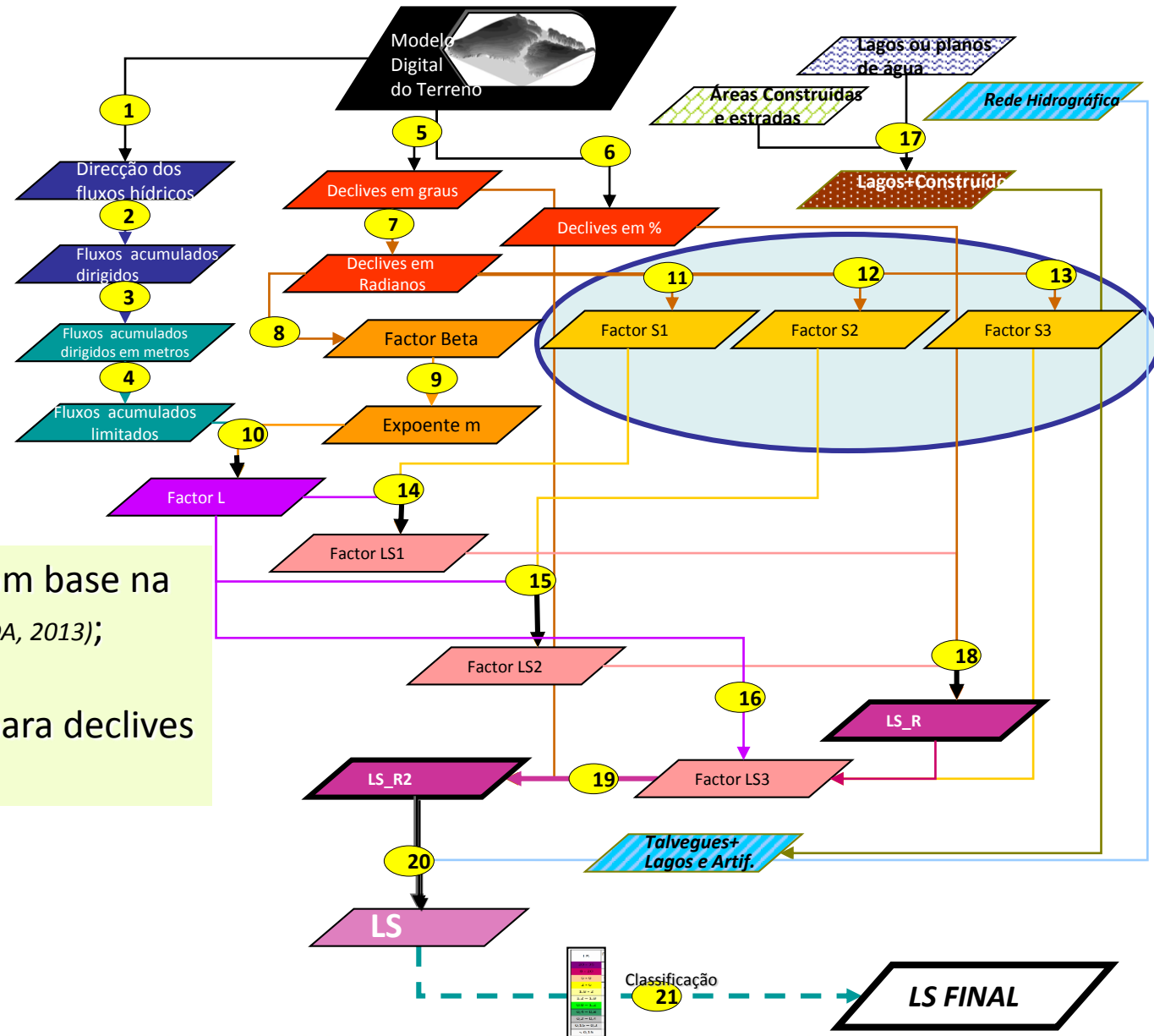
Forma de obtenção através da RUSLE (McCool, et al, in Renard ed.,1997)

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\frac{\text{sen } \theta}{0,0896}}{0,56 + 3 * (\text{sen } \theta)^{0,8}}$$

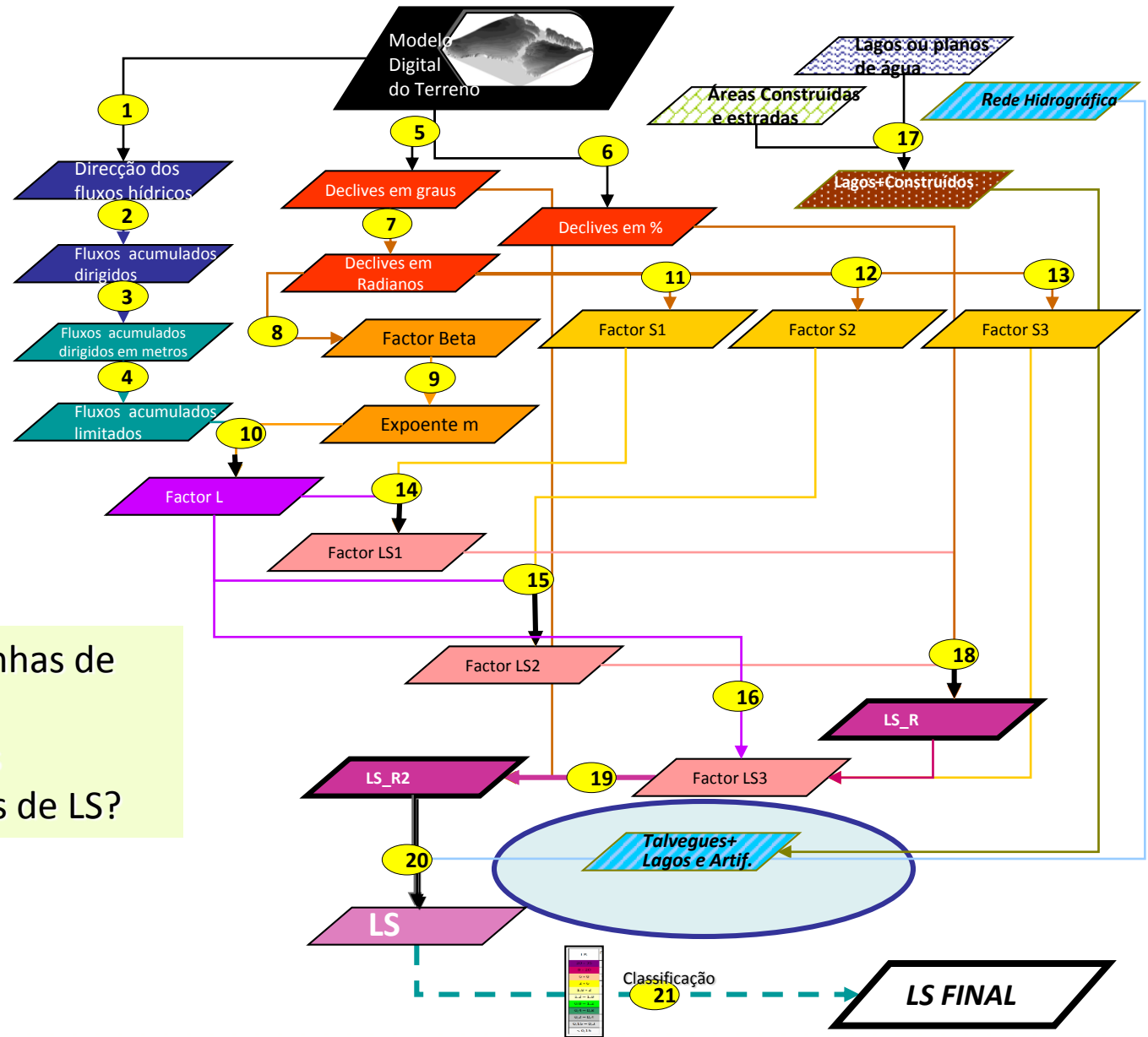
→ Eq. Erosão inter-rill

→ Eq. Erosão rill

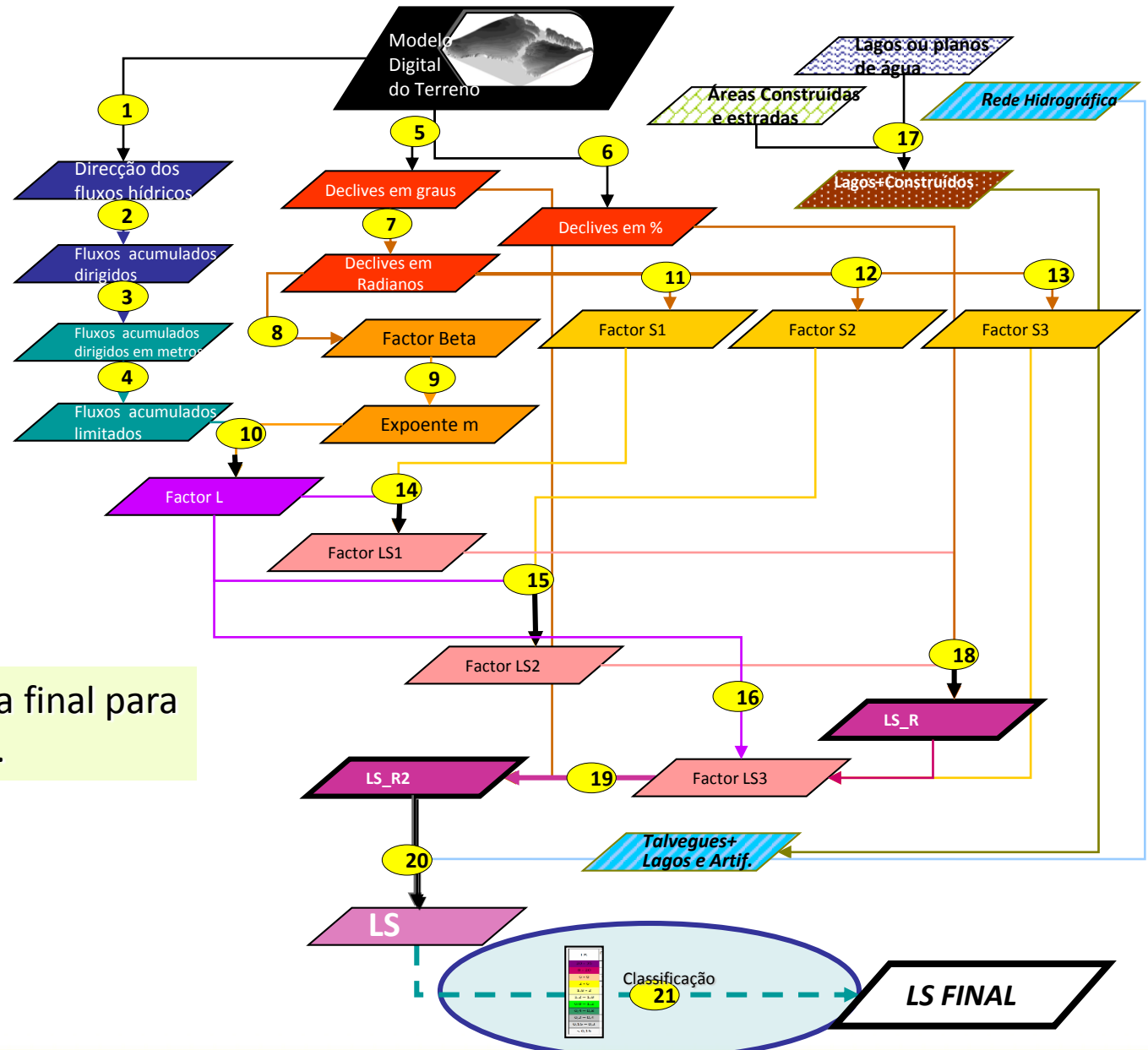


- Factor S2, calculado com base na  
 RUSLE 2 - Zonas Req (USDA, 2013);

- Inclusão do factor S3 para declives  
 superiores a 10° (Liu, 2009)



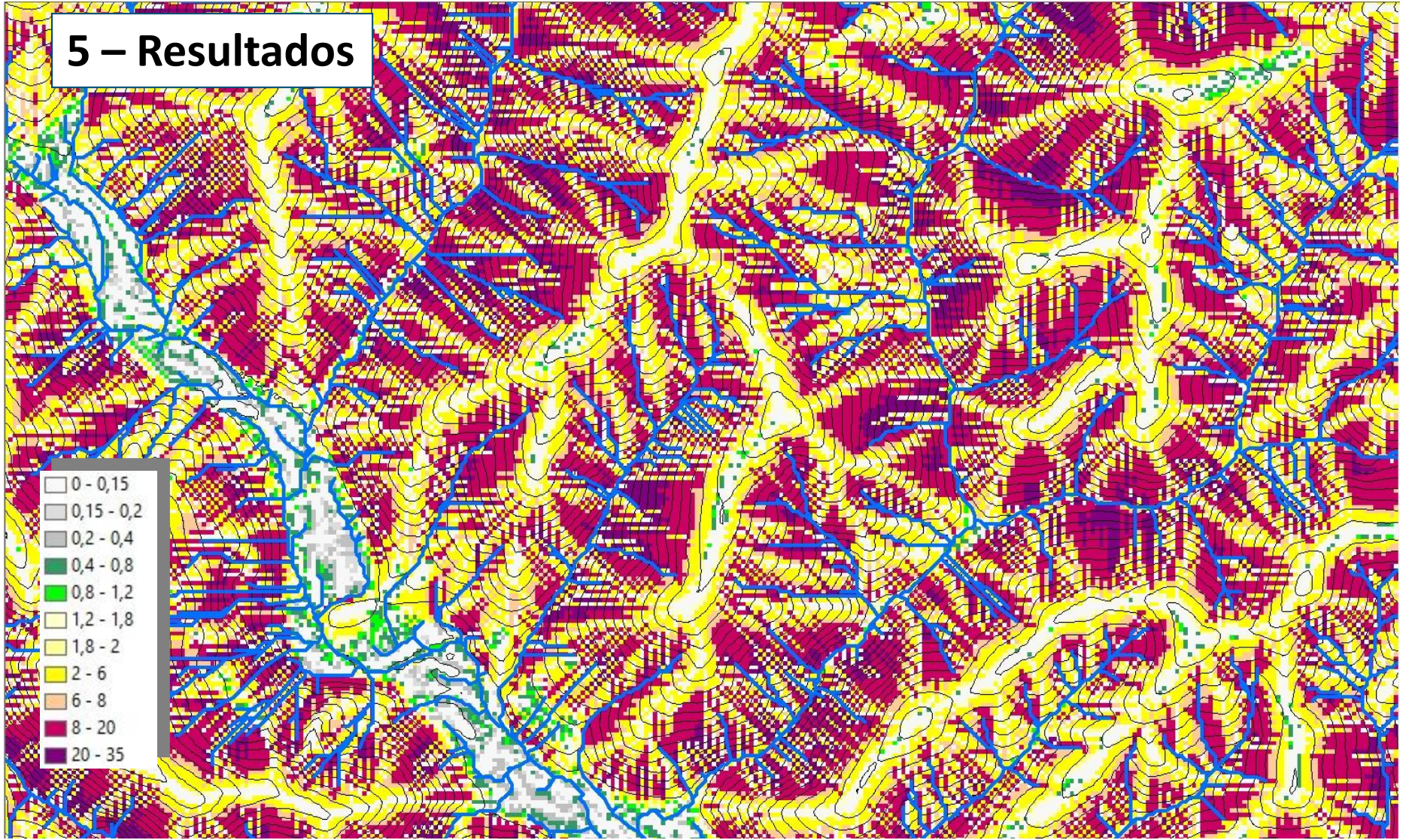
- Exclusão de áreas e linhas de água;  
 - Como classificar essas áreas/linhas em termos de LS?



- Classificação do mapa final para visualização orientada.

| LS         | FIABILIDADE DA EUPS                     | CONTEXTO DA EROÇÃO HÍDRICA                                                                                             | RISCO                                                                                    | EROSÃO HÍDRICA                                                                                             |                          |
|------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 20 - 35    | MUITO FRACA A NULA                      | MUITO POUCAS CONDIÇÕES DINÂMICAS PARA A EXISTÊNCIA E SUSTENTAÇÃO DE SOLOS: MUITO FAVORÁVEL À EROÇÃO CASO EXISTAM SOLOS | RISCO DE EROÇÃO MUITO FORTE                                                              | MOVIMENTOS DE GRAVIDADE DOMINANTES                                                                         | EROSÃO LINEAR DOMINANTE  |
| 8 - 20     | MUITO FRACA                             |                                                                                                                        | RISCO DE EROÇÃO FORTE                                                                    | ESCOAMENTO CONCENTRADO E MOVIMENTOS DE MASSA DOMINANTES                                                    |                          |
| 6 - 8      | FIÁVEL SÓ ATÉ 20% DE DECLIVE            |                                                                                                                        | RISCO DE EROÇÃO MODERADO A FORTE                                                         | ESCOAMENTO CONCENTRADO, ABARRANCAMENTOS, MOVIMENTOS DE CALHAUS E MOVIMENTOS DE MASSA EM TERRENOS AGRÍCOLAS |                          |
| 2 - 6      | FIÁVEL SÓ ATÉ 18% DE DECLIVE            | CONDIÇÕES DIFÍCEIS PARA A SUSTENTAÇÃO DE SOLOS: FAVORÁVEL É EROÇÃO                                                     | RISCO DE EROÇÃO MODERADO                                                                 | ESCORRÊNCIA CONCENTRADA E ABARRANCAMENTO DOMINANTE                                                         | EROSÃO LAMINAR DOMINANTE |
| 1,8 - 2    |                                         | EROSÃO VARIÁVEL EM SOLOS AGRÍCOLAS, POUCO FAVORÁVEL NOS RESTANTES                                                      | RISCO DE EROÇÃO BAIXO: EROÇÃO VARIÁVEL EM SOLOS AGRÍCOLAS, POUCO FAVORÁVEL NOS RESTANTES | ESCORRÊNCIA CONCENTRADA COM RAVINAMENTO ACENTUADO E PRINCÍPIO DE ABARRANCAMENTO                            |                          |
| 1,2 - 1,8  | EQUILÍBRIO COM TENDÊNCIA PARA EROÇÃO    | ESCORRÊNCIA CONCENTRADA COM RAVINAMENTO ACENTUADO                                                                      |                                                                                          |                                                                                                            |                          |
| 0,8 - 1,2  | EQUILÍBRIO                              | ESCORRÊNCIA CONCENTRADA COM RAVINAMENTO MODERADO A ACENTUADO                                                           |                                                                                          |                                                                                                            |                          |
| 0,4 - 0,8  | EQUILÍBRIO COM TENDÊNCIA PARA DEPOSIÇÃO | ESCORRÊNCIA DIFUSA A CONCENTRADA COM RAVINAMENTO MODERADO                                                              |                                                                                          |                                                                                                            |                          |
| 0,2 - 0,4  | BOA PARA DECLIVES SUPERIORES A 3%       | MUITO POUCO FAVORÁVEL A EROÇÃO                                                                                         | RISCO DE EROÇÃO MÍNIMO                                                                   | ESCORRÊNCIA DIFUSA COM RAVINAMENTO SUAVE                                                                   |                          |
| 0,15 - 0,2 | BOA PARA DECLIVES SUPERIORES A 2%       |                                                                                                                        |                                                                                          | ESCORRÊNCIA DIFUSA EM TOALHA                                                                               |                          |
| < 0,15     | NÃO APLICÁVEL                           | ACUMULAÇÃO, DEPOSIÇÃO OU DESLOCAÇÃO TÊNUE OU NULA DE PARTÍCULAS DE SOLO                                                |                                                                                          | SEM ESCORRÊNCIA, OU ESCORRÊNCIA DIFUSA EM TOALHA MUITO FRACA                                               |                          |

# 5 – Resultados



- 0 - 0,15
- 0,15 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,8
- 0,8 - 1,2
- 1,2 - 1,8
- 1,8 - 2
- 2 - 6
- 6 - 8
- 8 - 20
- 20 - 35

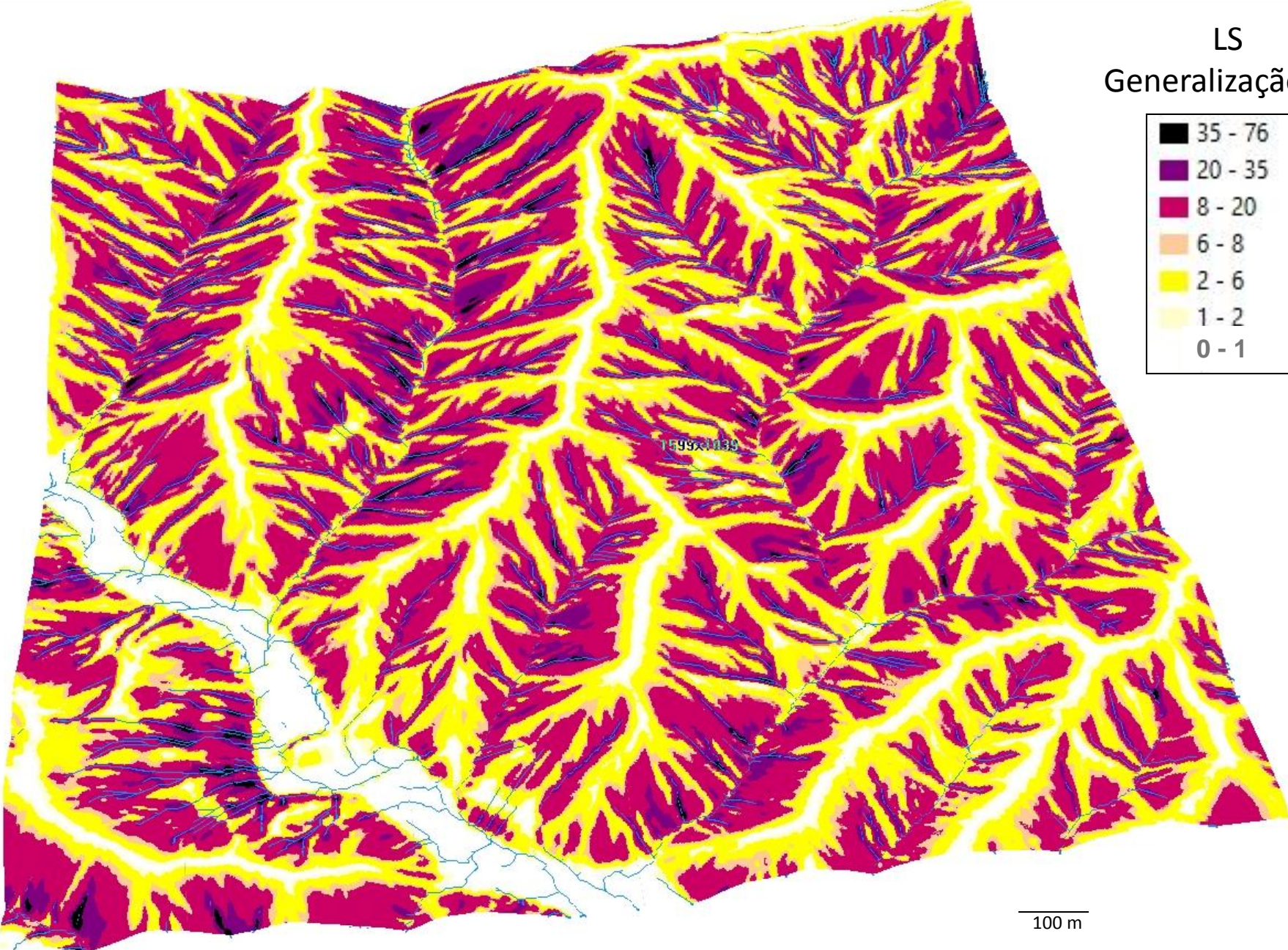
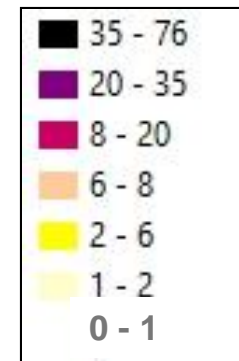
LS

500 m

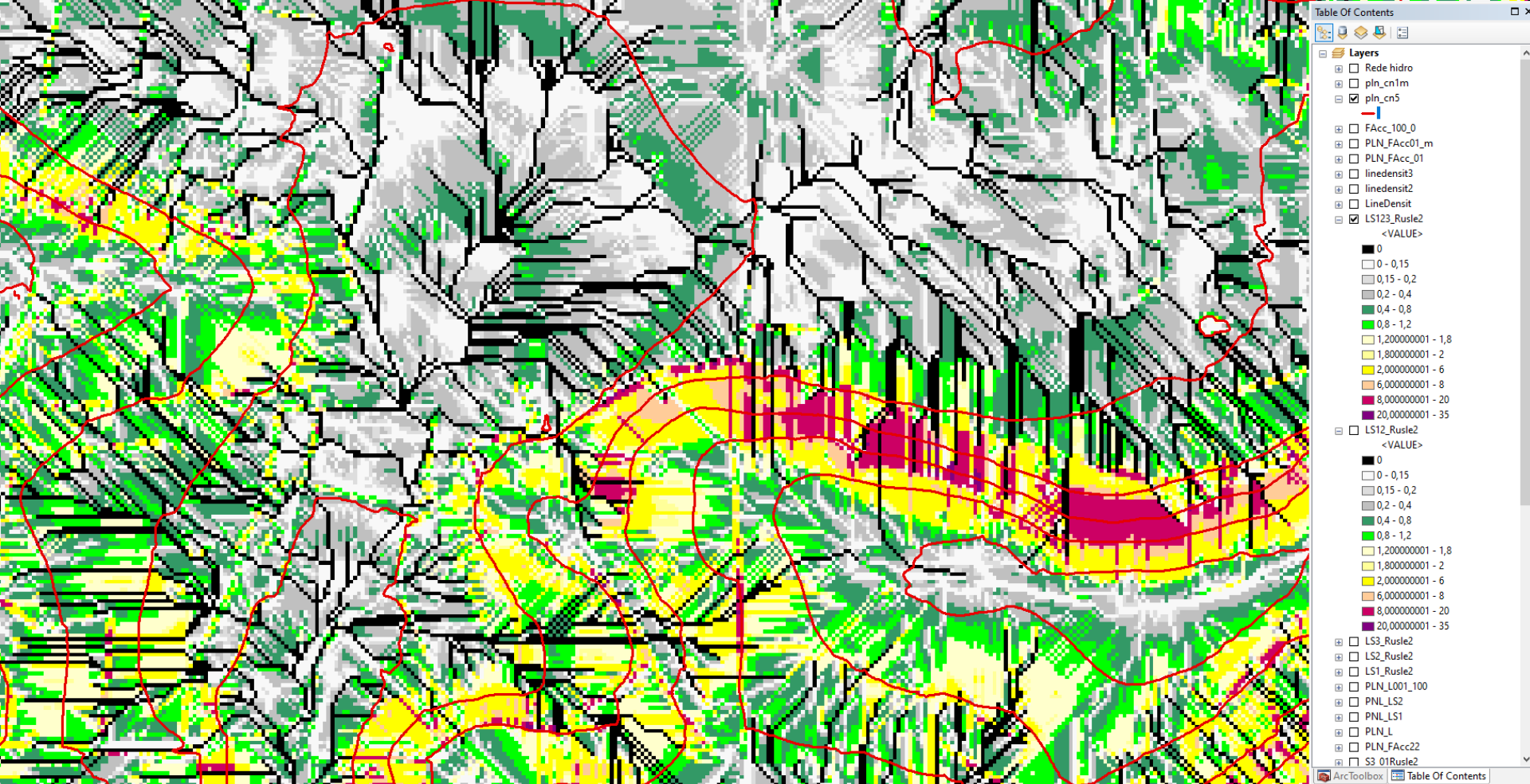
rede hidrográfica  
curvas de nível (eq.5m)

LS



Generalização 3D



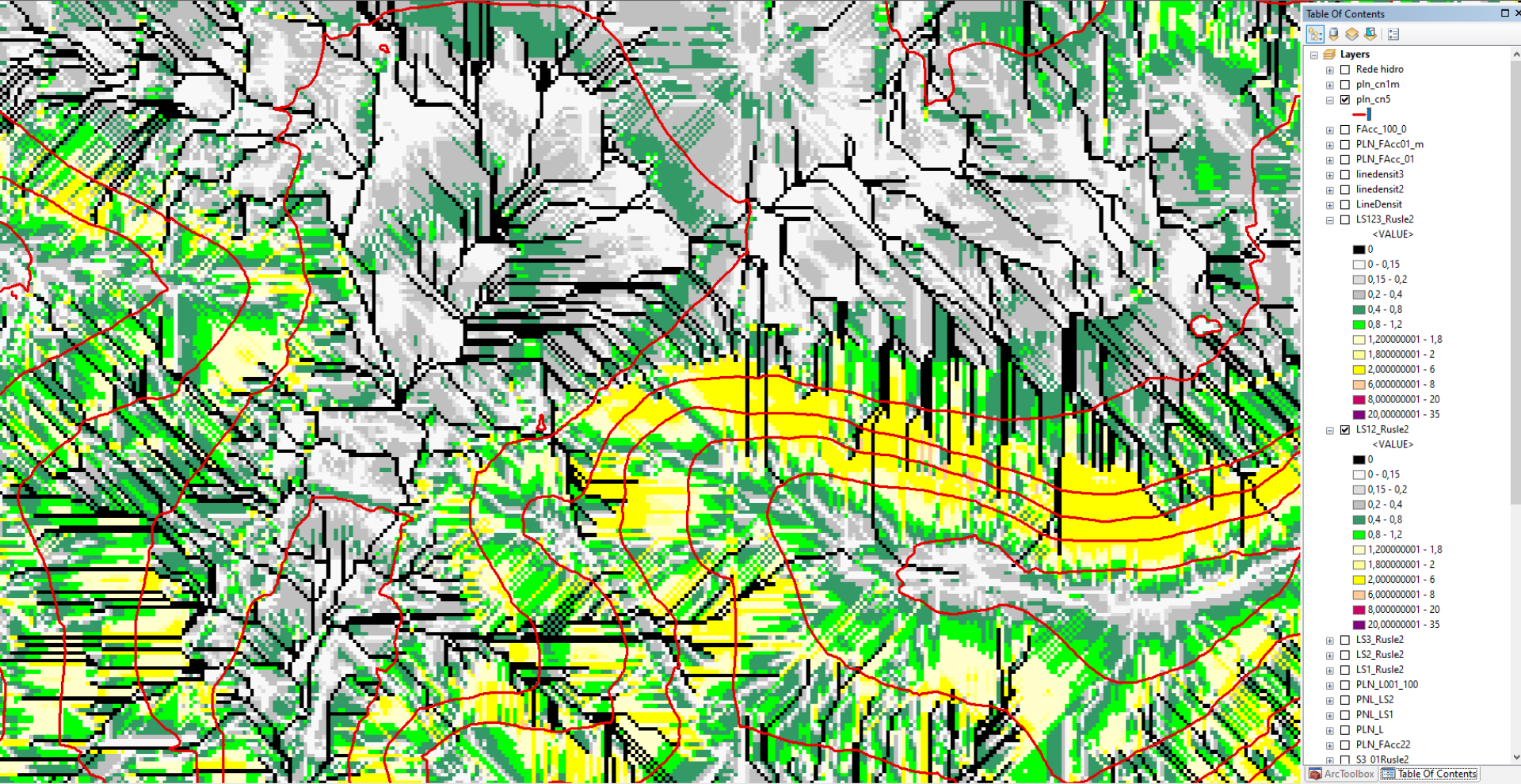




LS com S3 (Liu)

 rede hidrográfica  
 curvas de nível (eq.5m)

100m



LS sem S3

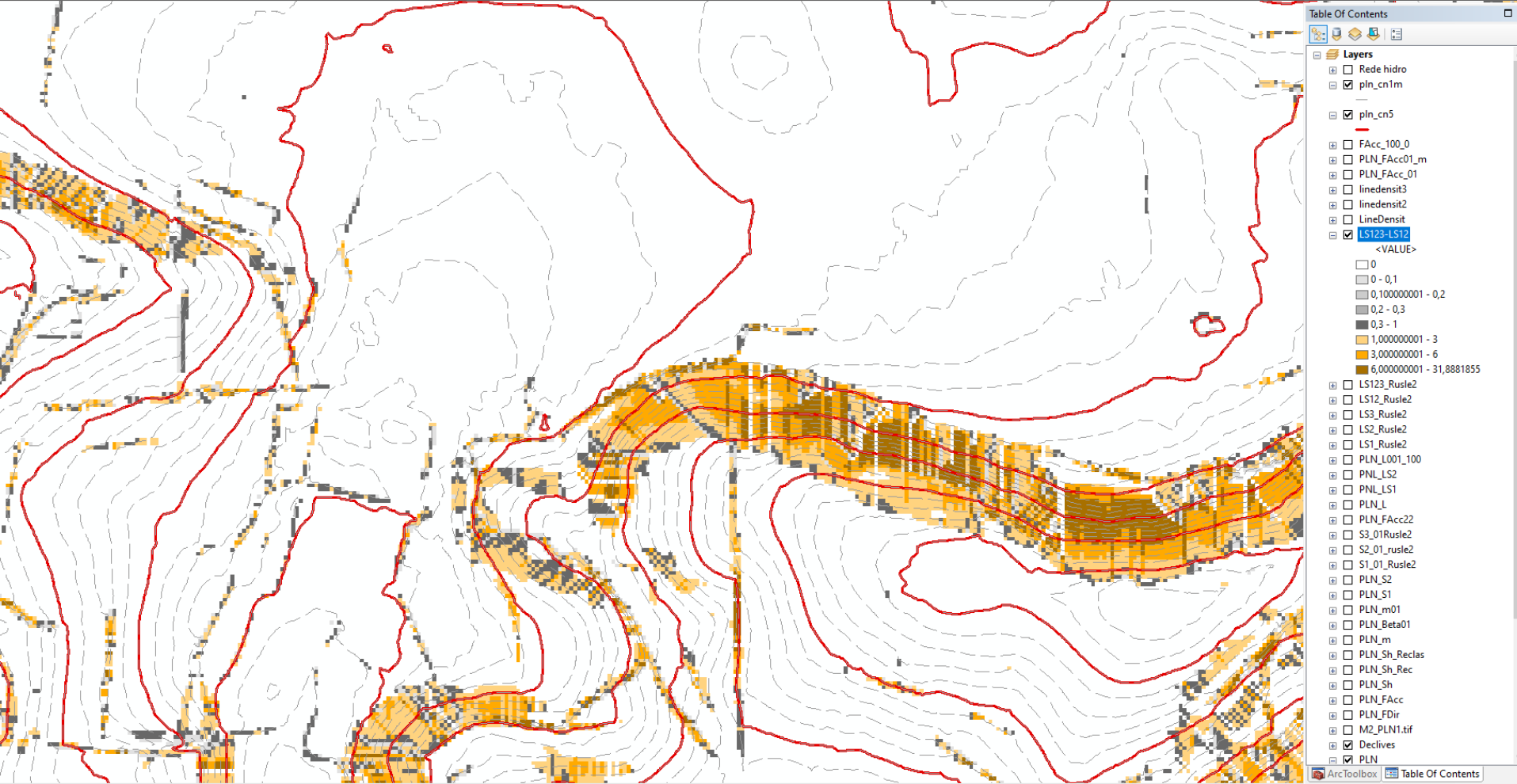


rede hidrográfica



curvas de nível (eq.5m)

100m



100m

Diferenças (Sem S3 – Com S3)

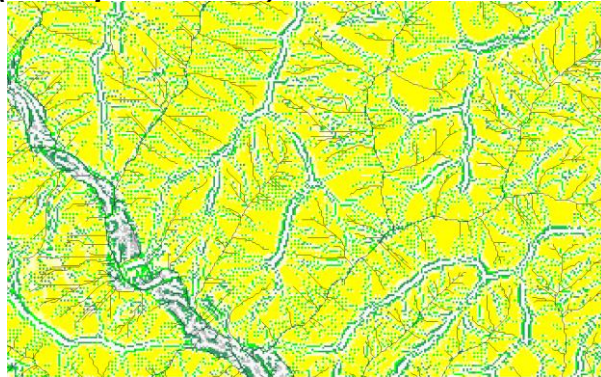
## Diferenças entre o LS<sub>2</sub> (declive > 9%)

a) calculado segundo a fórmula da RUSLE  $S = 16.8 \text{sen} \theta - 0.50$

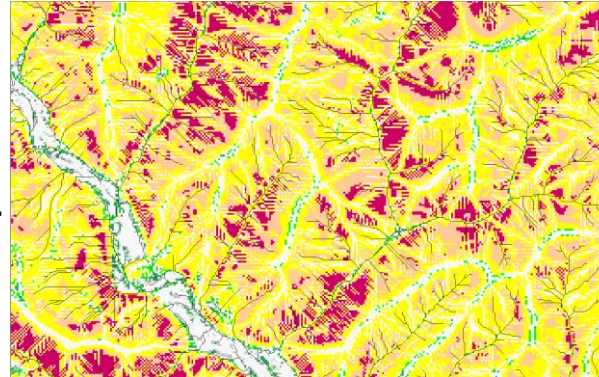
b) calculado segundo a RUSLE2 para locais *Req* (Erosão nitidamente predominante no Inverno)

$$S = (\text{sen} \theta / 0.0896)^{0.6}$$

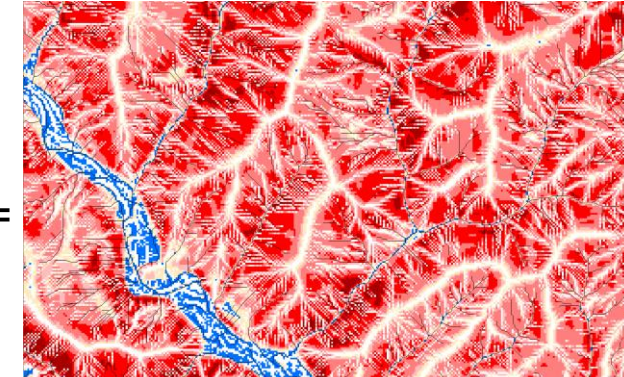
(L=Eps=26m)



a)

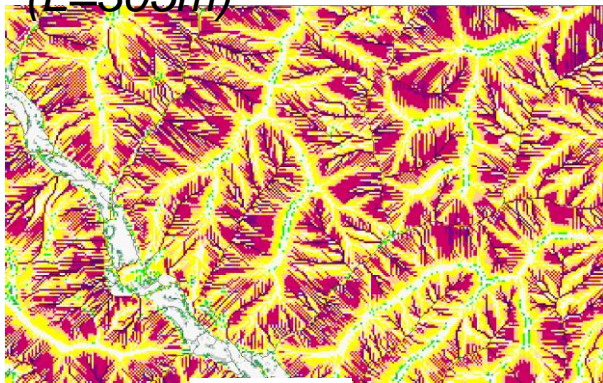


b)

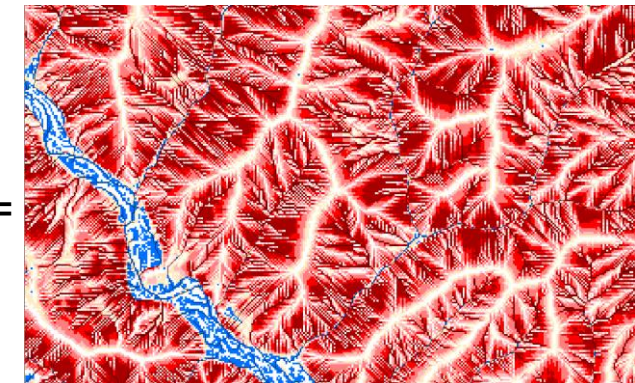
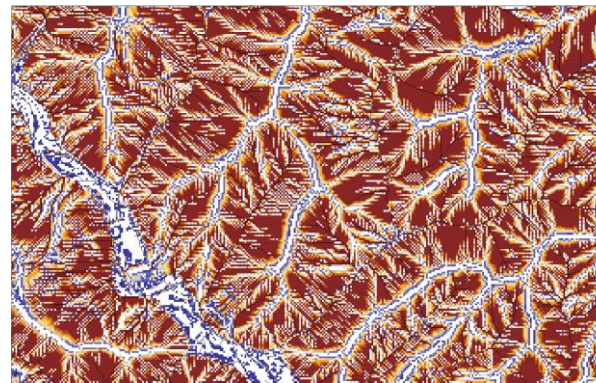
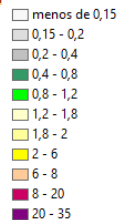


a) - b)

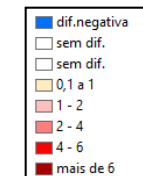
(L=305m)













LS<sub>2</sub>

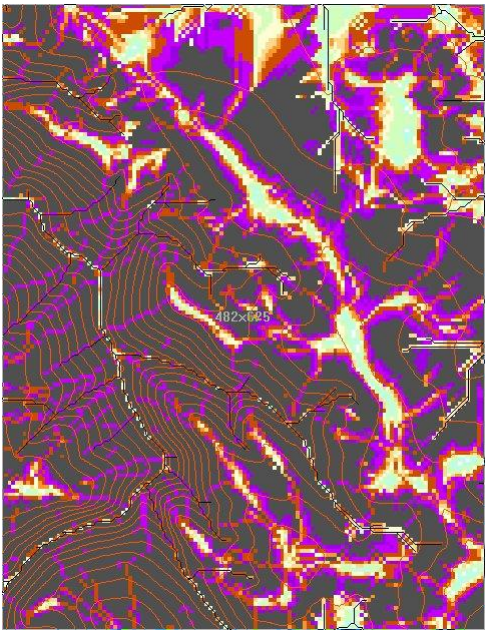


Diferenças  
(a-b)

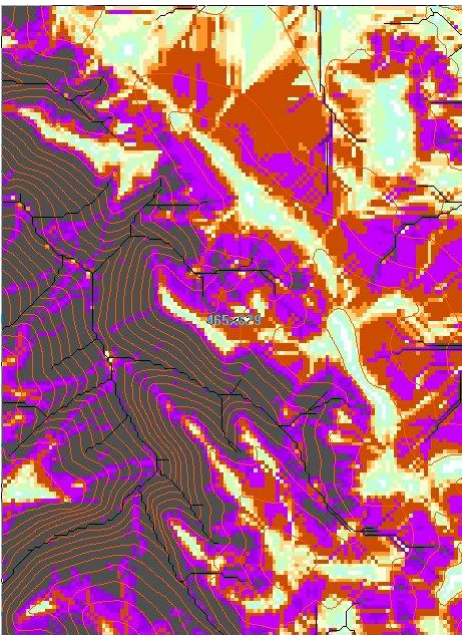


# Comparação de vários métodos nas mesmas áreas (Alguns exemplos)

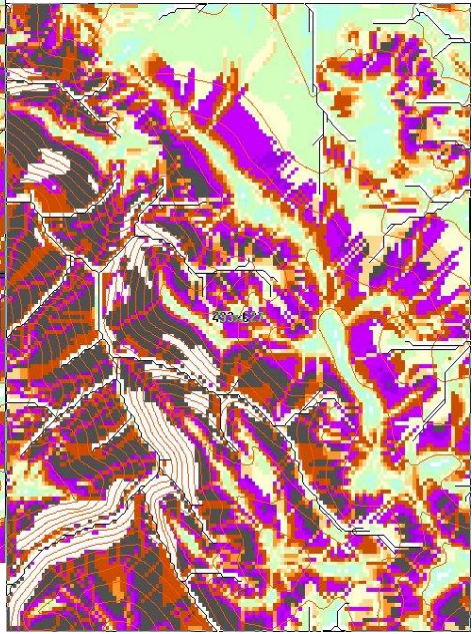
|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| CLASSES DGT  |                                                                                     |
| mais de 6    |    |
| 4 - 6        |   |
| 2 - 4        |  |
| 1 - 2        |  |
| 0,8 - 1      |  |
| 0,6 - 0,8    |  |
| 0,4 - 0,6    |  |
| 0,2 - 0,4    |  |
| 0,1 - 0,2    |  |
| menos de 0,1 |  |



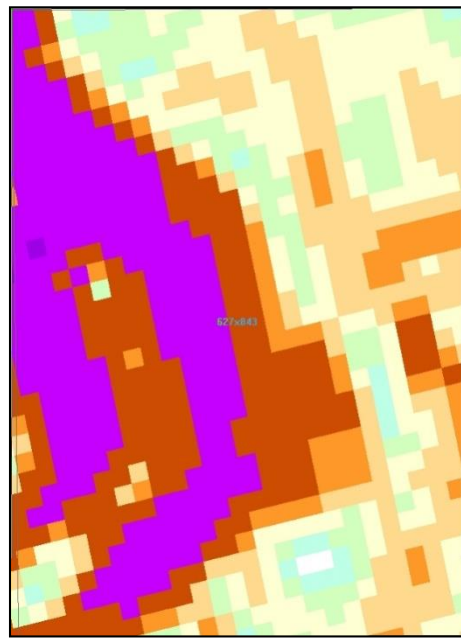
USLE-DGT-300m+D>50%



Município



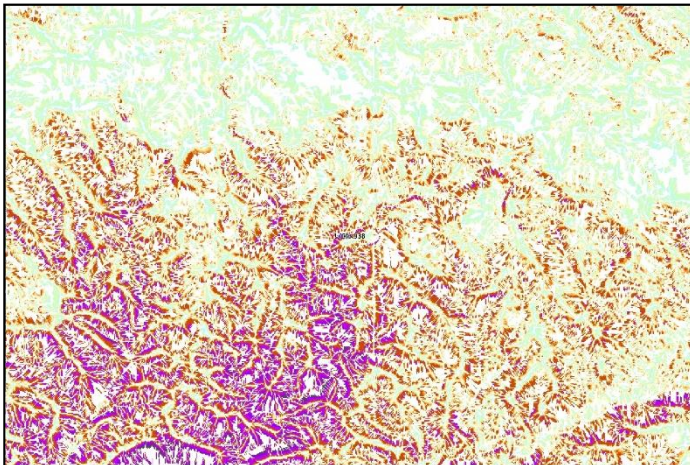
USLE-DGT-EPS+D<50%



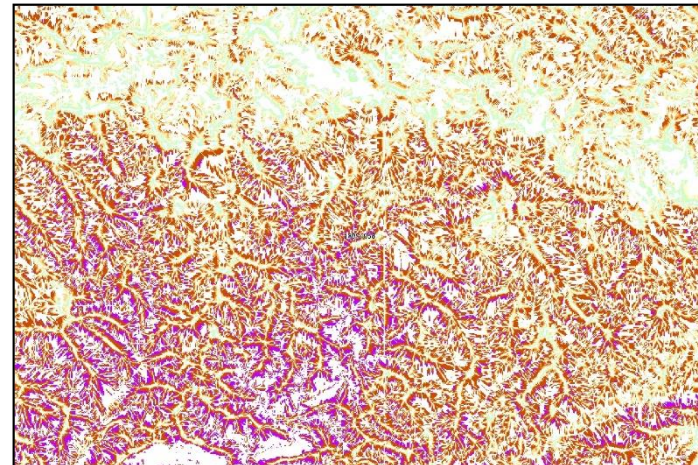
RUSLE-JRC

100m

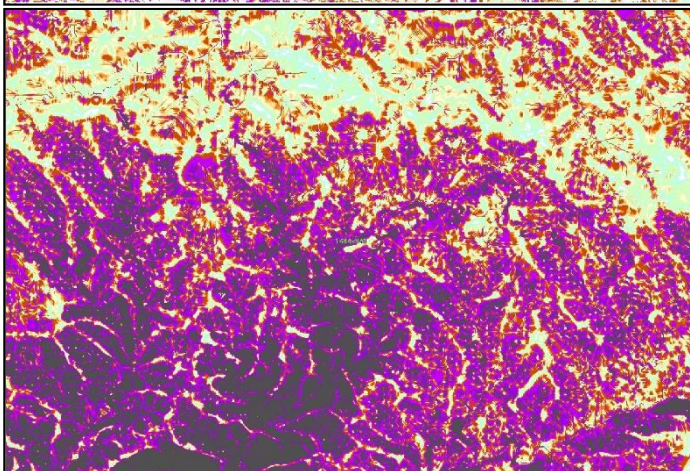
DGT  
 USLE  
 L= Eps=45m  
 m = RUSLE  
 Filtros:  
 Só declives entre  
 0,2% e 50%  
 Linhas de água  
 Sh>9 =0  
 (rede Hidro. CM )  
 Px=5m



DGT  
 RUSLE  
 L= Eps=45m  
 Filtros:  
 Só declives entre  
 0,2% e 50%  
 Linhas de água  
 Sh>9 =0  
 (rede Hidro. CM )  
 Px=5m

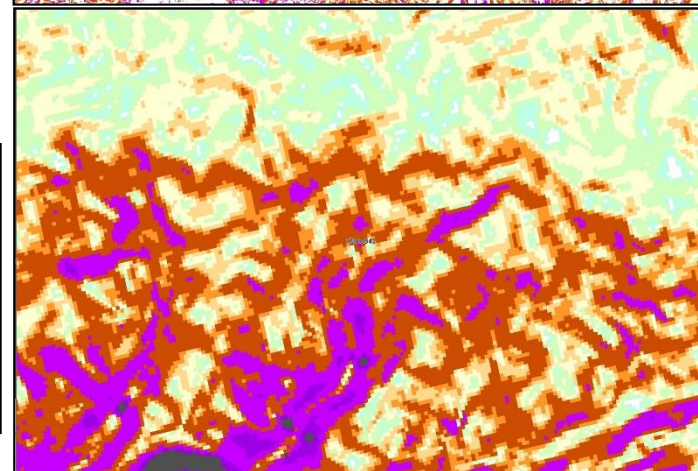


CM  
 RUSLE  
 L= ?  
 Px=5m

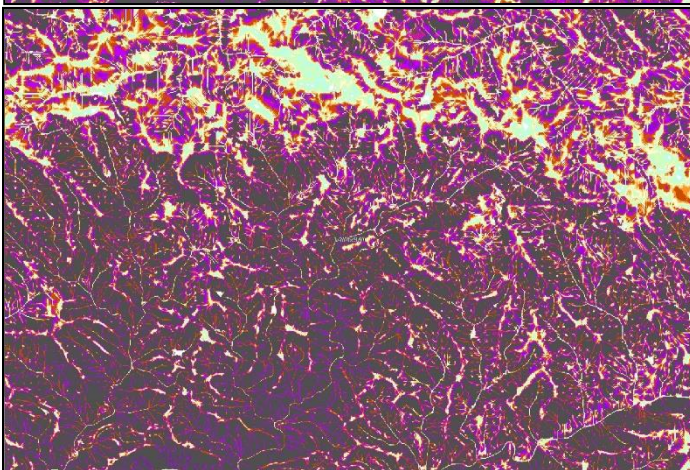


JRC  
 RUSLE  
 L= ?  
 Px=25m

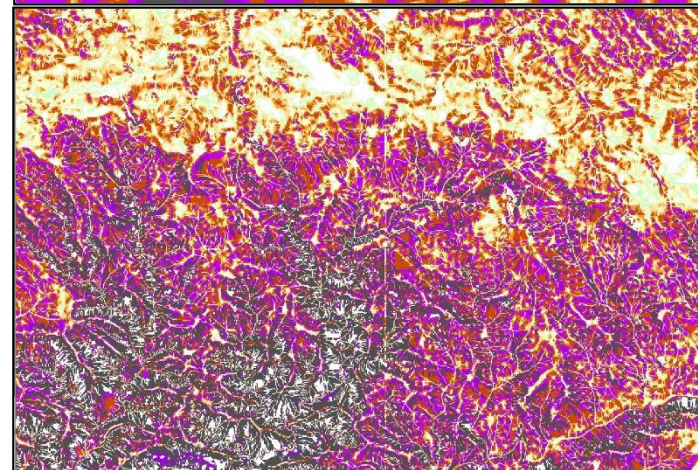
| CLASSES DGT  |  |
|--------------|--|
| mais de 6    |  |
| 4 - 6        |  |
| 2 - 4        |  |
| 1 - 2        |  |
| 0,8 - 1      |  |
| 0,6 - 0,8    |  |
| 0,4 - 0,6    |  |
| 0,2 - 0,4    |  |
| 0,1 - 0,2    |  |
| menos de 0,1 |  |



DGT  
 USLE  
 L= 300 m  
 m = RUSLE  
 Filtros:  
 Só declives maiores  
 que 0,2%  
 Linhas de água  
 St>3 =0  
 (rede Hidro. modelo)  
 Px=5m



DGT  
 USLE  
 L= Eps=45m  
 m = RUSLE  
 Filtros: Só  
 declives entre  
 0,2% e 50%  
 Linhas de água  
 Sh>9 =0  
 (rede Hidro CM )  
 Px=5m



1 Km

## 6 – Conclusões e recomendações

- Não existe um método verdadeiramente fiável
- Seriedade e honestidade na realização de todos os passos do processo.
- Validação no terreno é necessária
- Fiabilidade, densidade, qualidade e homogeneidade dos dados de entrada
- Utilização da fórmula dentro dos limites experimentais
- Identificação do valor do solo na análise do risco
- Adopção de limiares de corte consoante o valor do solo
- Investigação por outros métodos de estudo do risco de erosão hídrica



# Obrigado!

## *Referências bibliográficas da apresentação:*

DGT (Direcção-geral do Território), APA (Agência Portuguesa do Ambiente), 2020, *Áreas de Elevado Risco de Erosão Hídrica do Solo: Cálculo do Fator Topográfico (LS)*, CNT (Comissão Nacional do Território), 24p.

Liu, H.; Fohrer, N.; Hörmann, G.; Kiesel, J., 2009, Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes, *Catena* 77, pp.248-255.

Mey, X.; Decaulin, P.; Hu, B., 2007, Fast hydraulic erosion simulation and visualization on GPU, em <https://www.youtube.com/watch?v=9kLoZShDr0o> (1/9/2020).

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder (eds.), 1997, Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), *Agricultural Handbook No. 703*, USDA, 407p.

USDA (United States Agriculture Research Service), 2013, Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2), Washington DC, 355p.

Wischmeier, W.; Smith, D., 1978, Predicting Rainfall Erosion Processes: A Guide to Conservation Planning, *Agriculture Handbook, 537*, U.S. Dep. of Agriculture, 67p.

***As ideias e opiniões expressas nesta apresentação, não são vinculativas em relação às instituições a que os autores estão associados.***