

# SEMINÁRIO - ENG 797

NOAA/NGDC Boulder, CO USA (Sloss & Wilkinson)

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, HIDROLÓGICA E AMBIENTAL DA BACIA DO RIO TURVO SUJO, VIÇOSA, MG

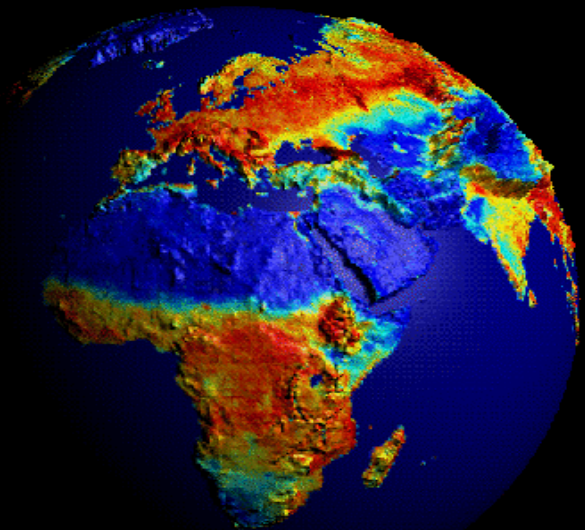
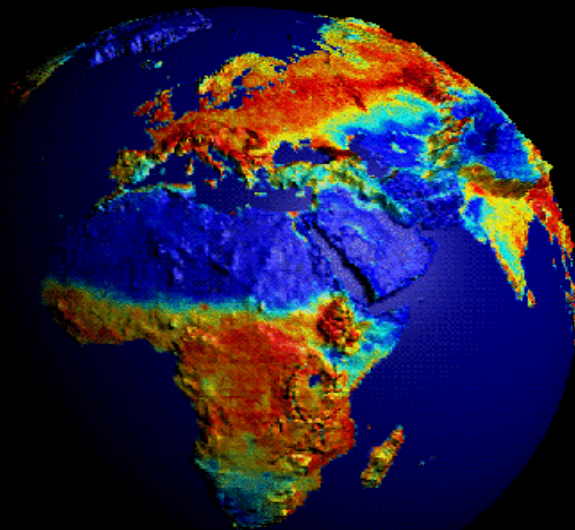
## EQUIPE

**Prof. Gilberto C. Sedyama - Orientador**

Prof. Vicente Paulo Soares - Conselheiro

Prof. Antônio Teixeira de Matos - Conselheiro

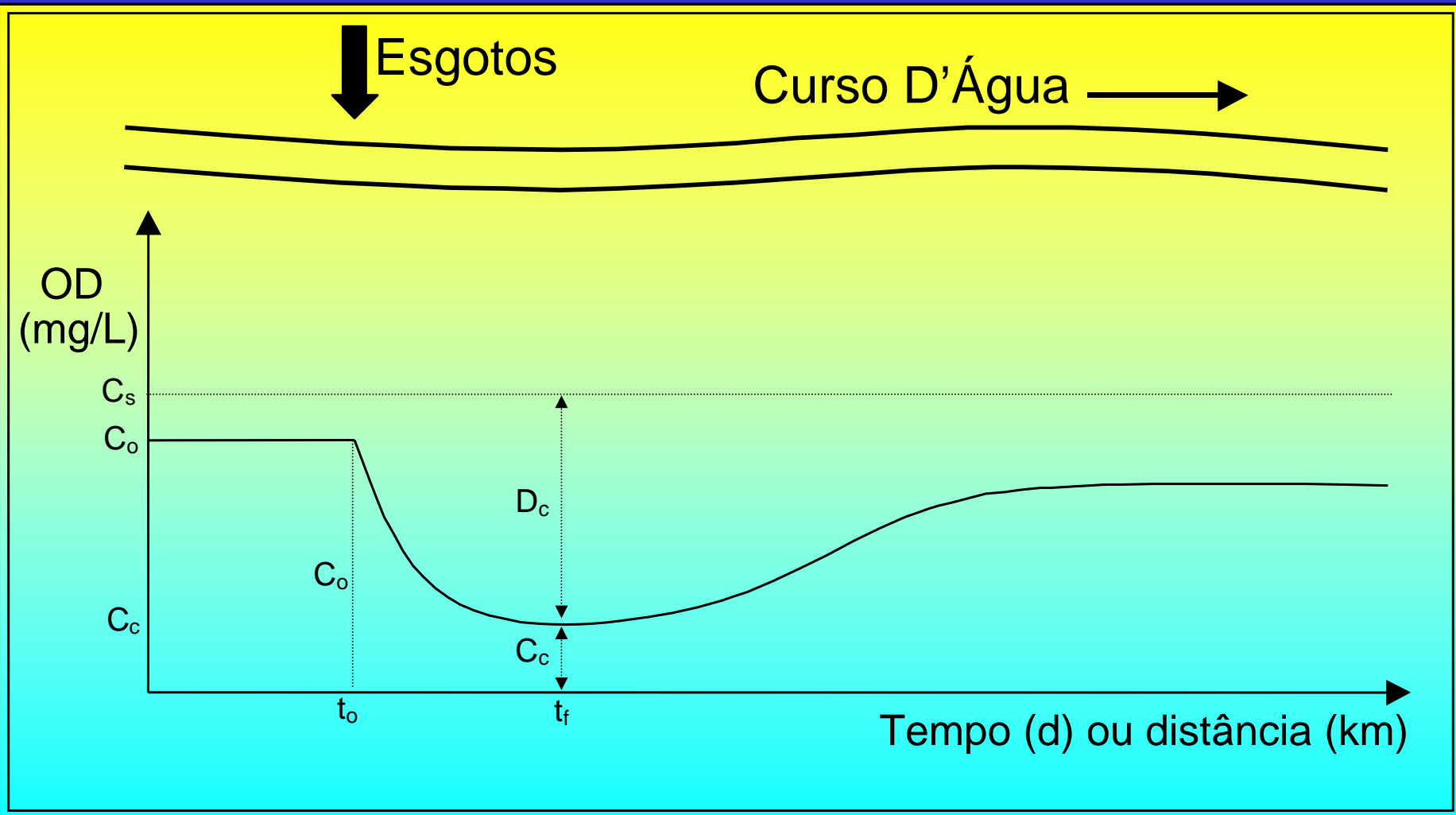
**Alexandre Rosa dos Santos- Doutorando**



# INTRODUÇÃO

- 1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA BACIA DO RIO TURVO SUJO
- 2 BACIAS HIDROGRÁFICAS - LIMA (1976)
- 3 AUTODEPURAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA - VON SPERLING (1996)
- 4 ASPECTOS ECOLÓGICOS DA AUTODEPURAÇÃO - VON SPERLING (1996)
- 6 MODELO DE AUTODEPURAÇÃO DESENVOLVIDO POR STREET E PHELPS (1925)

$$C_t = C_s - \left[ \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right]$$



**Pontos característicos da curva de  
depressão de OD**

# OBJETIVOS

- ↑ **MODELAR E CARACTERIZAR MORFOLOGICAMENTE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURVO SUJO, MINAS GERAIS**
- ↑ **CARACTERIZAR QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUIMICAMENTE AS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS TRÊS PRINCIPAIS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA (RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU, RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO)**
- ↑ **DETERMINAR OS COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO ( $K_1$ ) E REAERAÇÃO ( $K_2$ ) PARA OS TRÊS CURSOS D'ÁGUA**
- ↑ **APRIMORAR E TESTAR UMA NOVA VERSÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS RELACIONADOS COM A AUTODEPURAÇÃO**

# MATERIAIS E MÉTODOS

## 1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

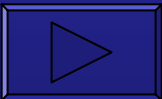
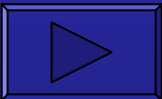


## 2 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO TURVO SUJO

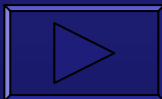
↑ Informações de referência utilizadas para análises

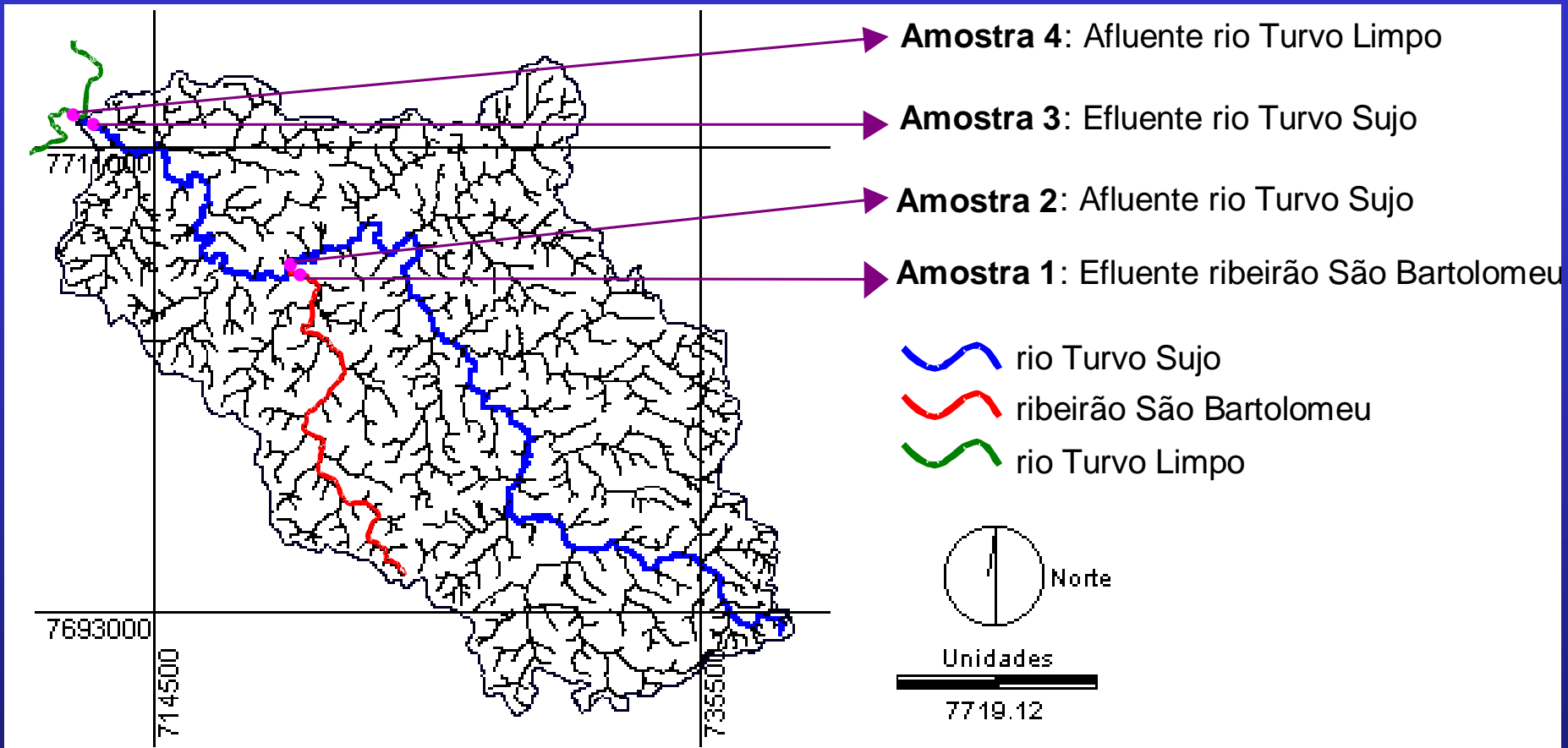
↑ Geração da base de dados

↑ Operações que envolveram a modelagem hidrológica do terreno

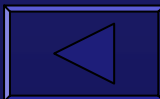


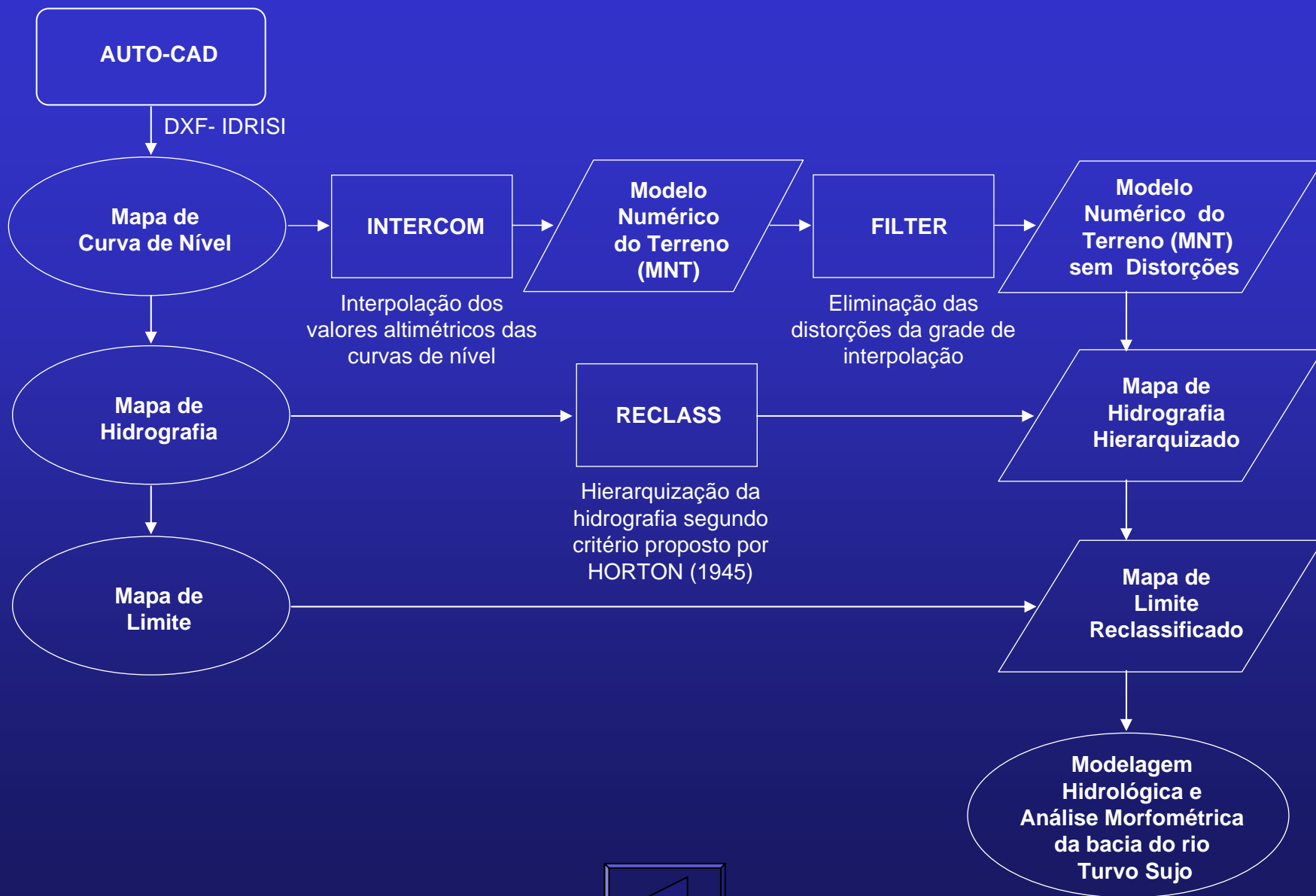
## 3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA

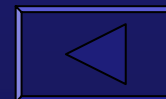
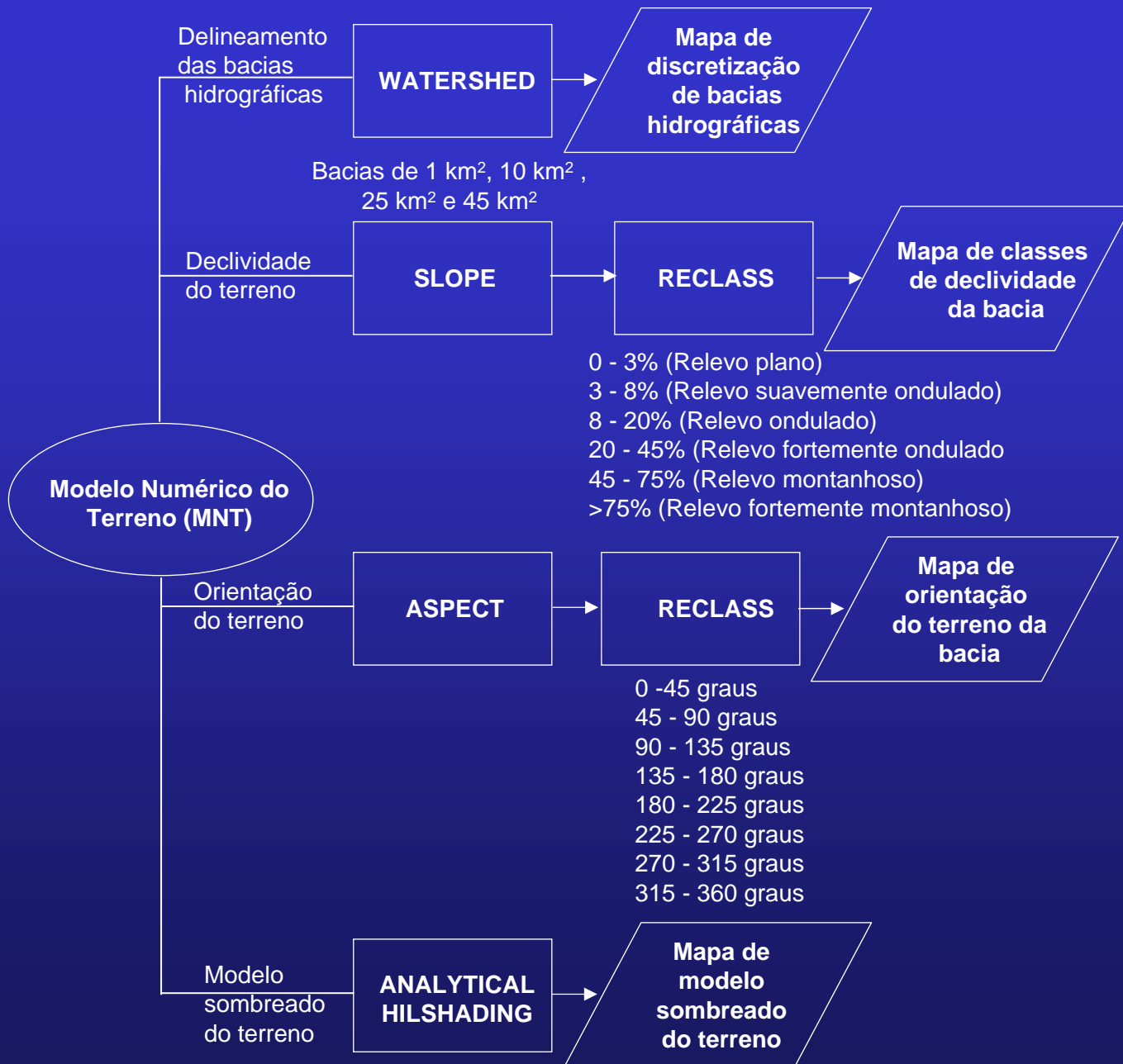




Área de estudo mostrando a bacia hidrográfica e os cursos d'água com seus pontos amostrais.







## Características geométricas

Área total  
Perímetro total

Coefficiente de  
compacidade



$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Fator  
de forma



$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

## Características do relevo

Declividade média

Declividade máxima



Mapa de declividade



Reclassificação (10 classes  
variando de 10 em 10%)

Declividade mínima

Altitude média

Altitude máxima



Mapa de classes  
de curva de nível



Reclassificação (classes  
de curva de nível de  
20 em 20 metros)

Altitude mínima

Altitude mediana

Declividade entre  
a foz e a nascente



$$S_1 = \frac{Cota_{máx} - Cota_{min}}{L}$$

$$S_2 = \frac{Cota_{min} + h}{L}$$

$$S_3 = \frac{\left( \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2}{\sum \left( \frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)}$$

Declividade de equivalência entre áreas

Declividade equivalente constante

## Características da rede de drenagem

Ordem dos cursos de água

Comprimento do curso d'água principal

Comprimento total dos cursos d'água

Densidade de drenagem

Extensão média dos escoamento superficial

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

$$I = \frac{A}{4L_t}$$

#### 4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E BIOQUÍMICA DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

- ↑ Temperatura da água (T)
- ↑ Sólidos sedimentáveis (SS)
- ↑ Sólidos totais (ST)
- ↑ Oxigênio dissolvido (OD)
- ↑ Alcalinidade
- ↑ Acidez
- ↑ Potencial hidrogeniônico (pH)
- ↑ Demanda química de oxigênio (DQO)
- ↑ Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)
- ↑ Vazão (Q)

## 5 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO ( $K_1$ ) E REAERAÇÃO ( $K_2$ ) DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU E RIOS TURVO SUJO E TURVO LIMPO

↑ Coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) - STREETER e PHELPS (1925)

$$\frac{L_t}{L_0} = e^{-K_1 t}$$



$$y = L_0 \cdot \left( 1 - e^{-K_1 \cdot t} \right)$$

em que,

$L_t$  = DBO remanescente em um tempo  $t$  qualquer (mg/L)

$L_0$  = DBO remanescente em tempo  $t = 0$  (mg/L)

$t$  = tempo (dias)

$K_1$ : Coeficiente de desoxigenação ( $d^{-1}$ )

$y$  = DBO exercida em um tempo  $t$  (mg/L)

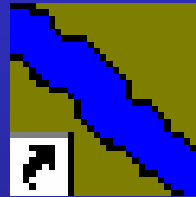
## ↑ Coeficiente de reaeração ( $K_2$ )

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação
O'CONNOR e DOBBINS (1958)	$3,73 v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,6m \leq H < 4,0 m$ $0,05 m/s \leq v < 0,8 m/s$
CHURCHILL et al (1962)	$5,0 v^{0,97} H^{-1,67}$	$0,6m \leq H < 4,0 m$ $0,8 m/s \leq v < 1,5 m/s$
OWENS et al (1976)	$5,3 v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,6 m$ $0,05 m/s \leq v < 1,5 m/s$
KRENKEL e ORLOB (1962)	$8,15 (v S)^{0,408} H^{-66}$	–
CHURCHIL, ELMORE e BUCKINGHAM (1962)	$0,235 v^{0,969} H^{-1,673}$	–
OWENS, EDWARDAS e GIBSS (1964)	$0,25 v^{0,67} H^{-1,85}$	$0,12m \leq H < 3,35 m$ $0,03 m/s \leq v < 1,52 m/s$
	$0,325 v^{0,73} H^{-1,75}$	$0,12m \leq H < 0,73 m$ $0,03 m/s \leq v < 0,548 m/s$

v: velocidade do curso d'água (m/s)

H: altura da lâmina d'água (m)

## 6 APRIMORAMENTO E TESTE DE UMA NOVA VERSÃO DE UM MODELO COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS RELACIONADOS COM A AUTODEPURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA



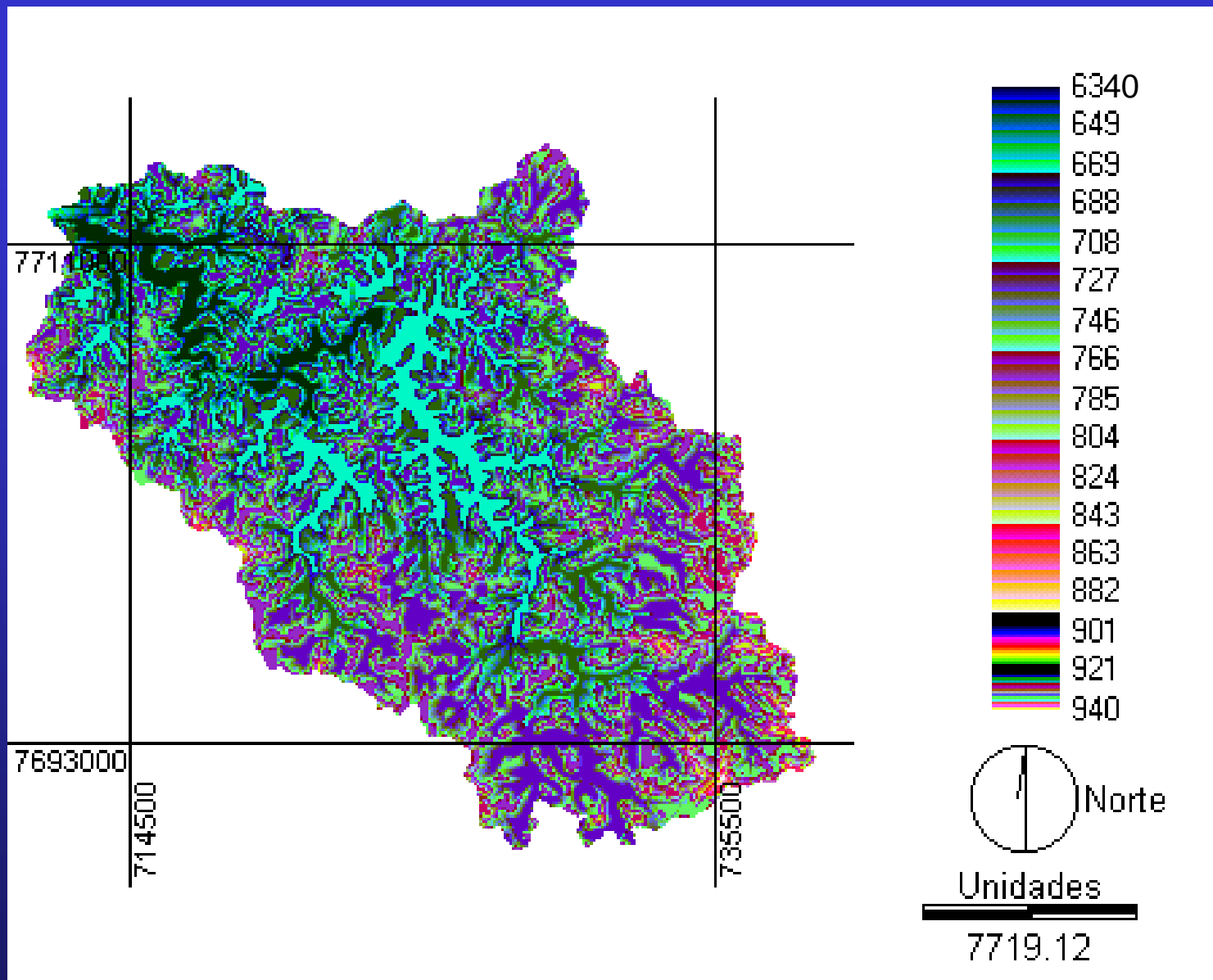
AD'ÁGUA 2.0



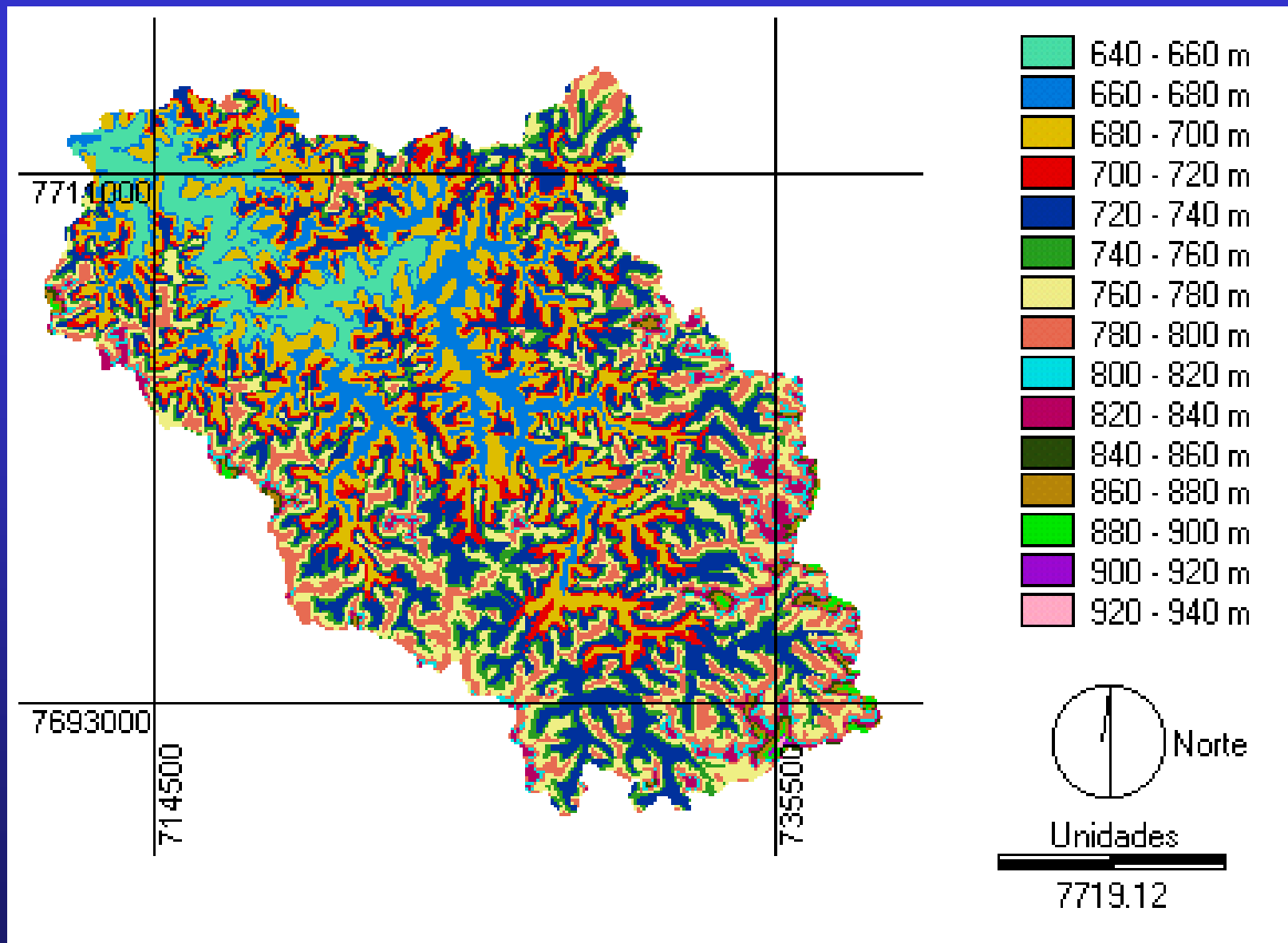
Modelo proposto por STREETER e PHELPS (1925)

# RESULTADOS E DISCUSSÕES

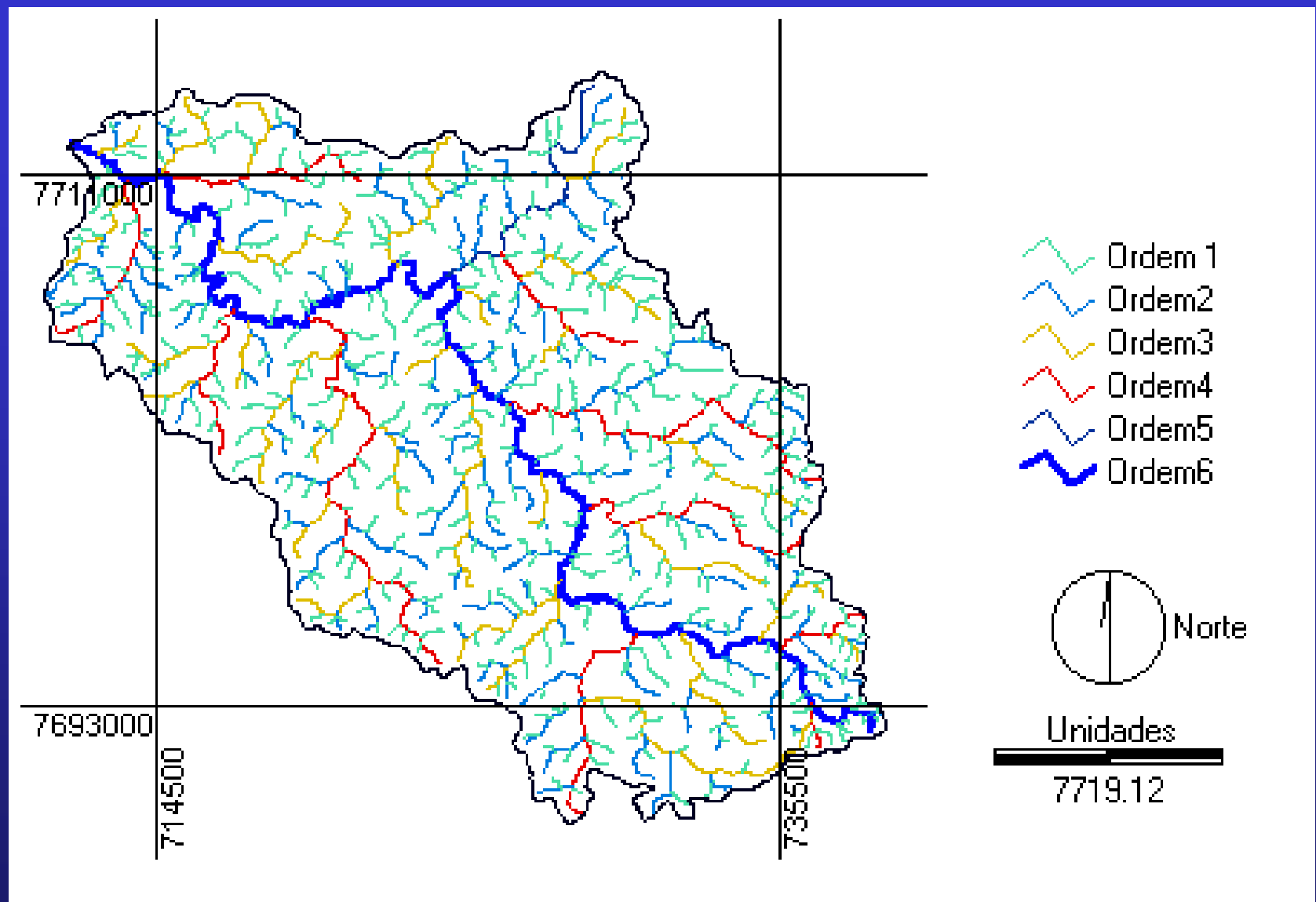
# **Modelagem Hidrológica do Terreno**



**Modelo numérico do terreno (MNT) após a interpolação e discretização do limite da bacia**



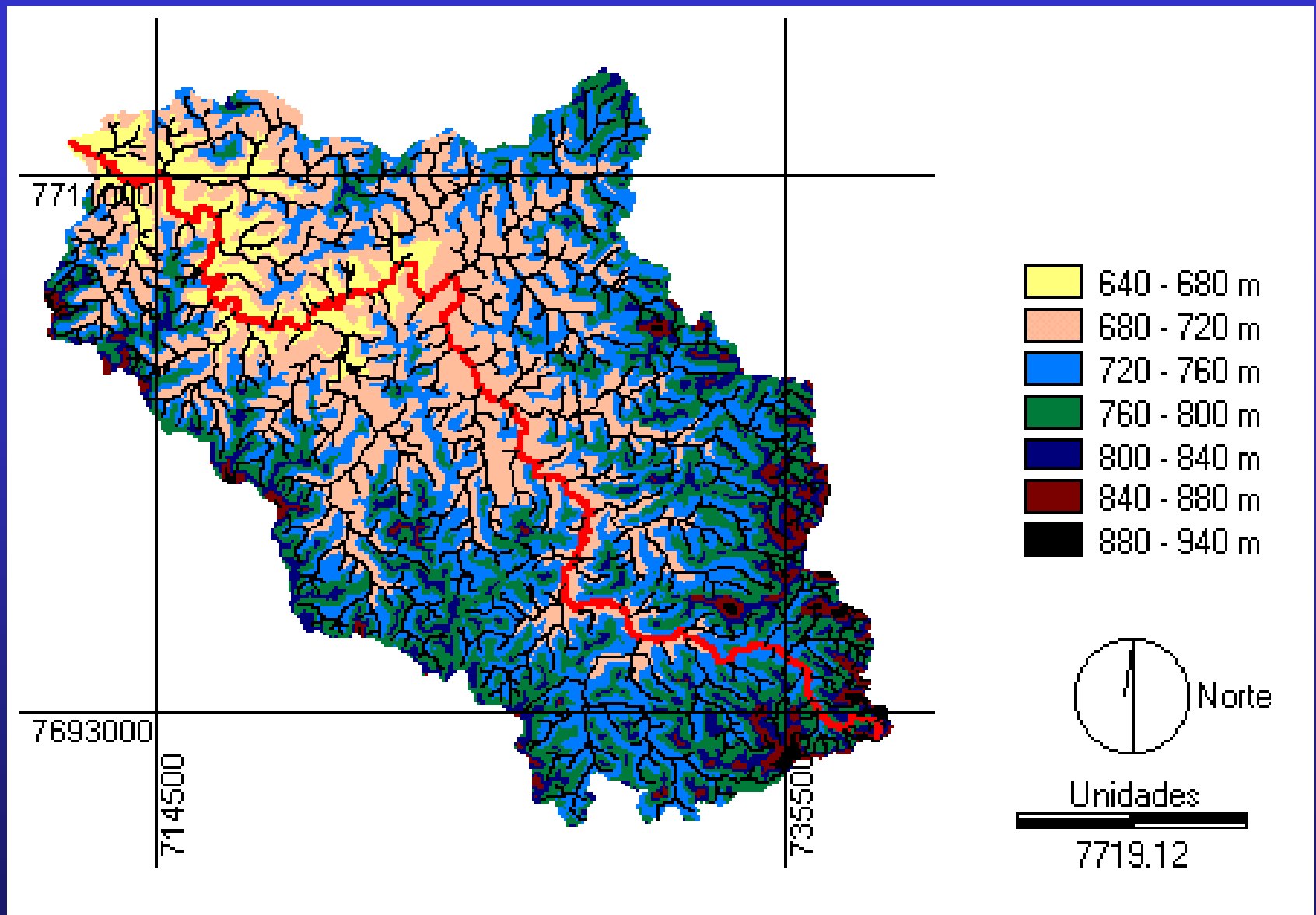
**Intervalos de curvas de nível variando de 20 em 20 m para a bacia hidrográfica**



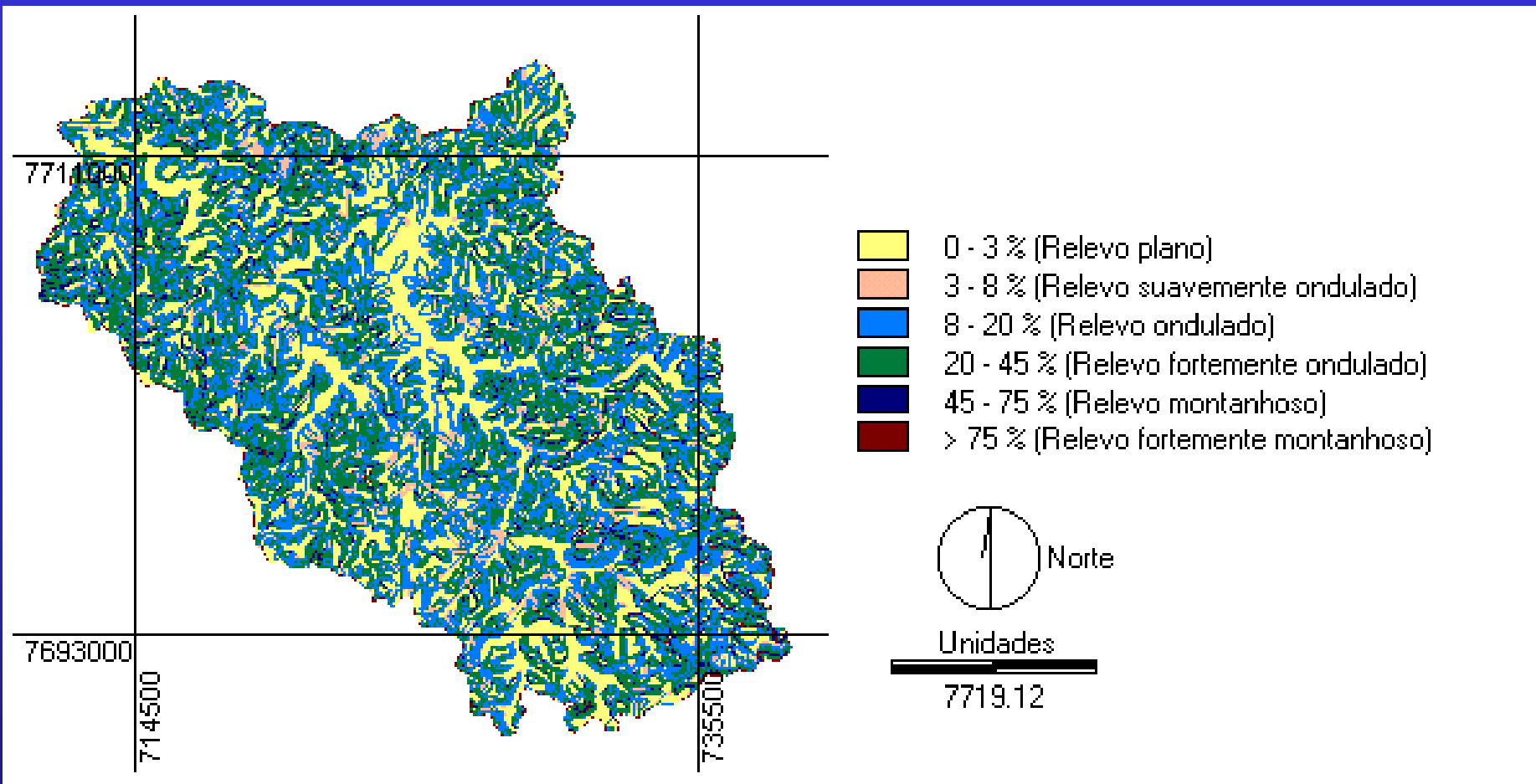
**Hidrografia da bacia**

## Comprimento total e porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens dos cursos d'água

Ordem	Comprimento (km)	Porcentagem (%)
1	721,62	38,32
2	465,73	24,73
3	313,51	16,65
4	208,95	11,09
5	27,66	1,47
6	145,86	7,74



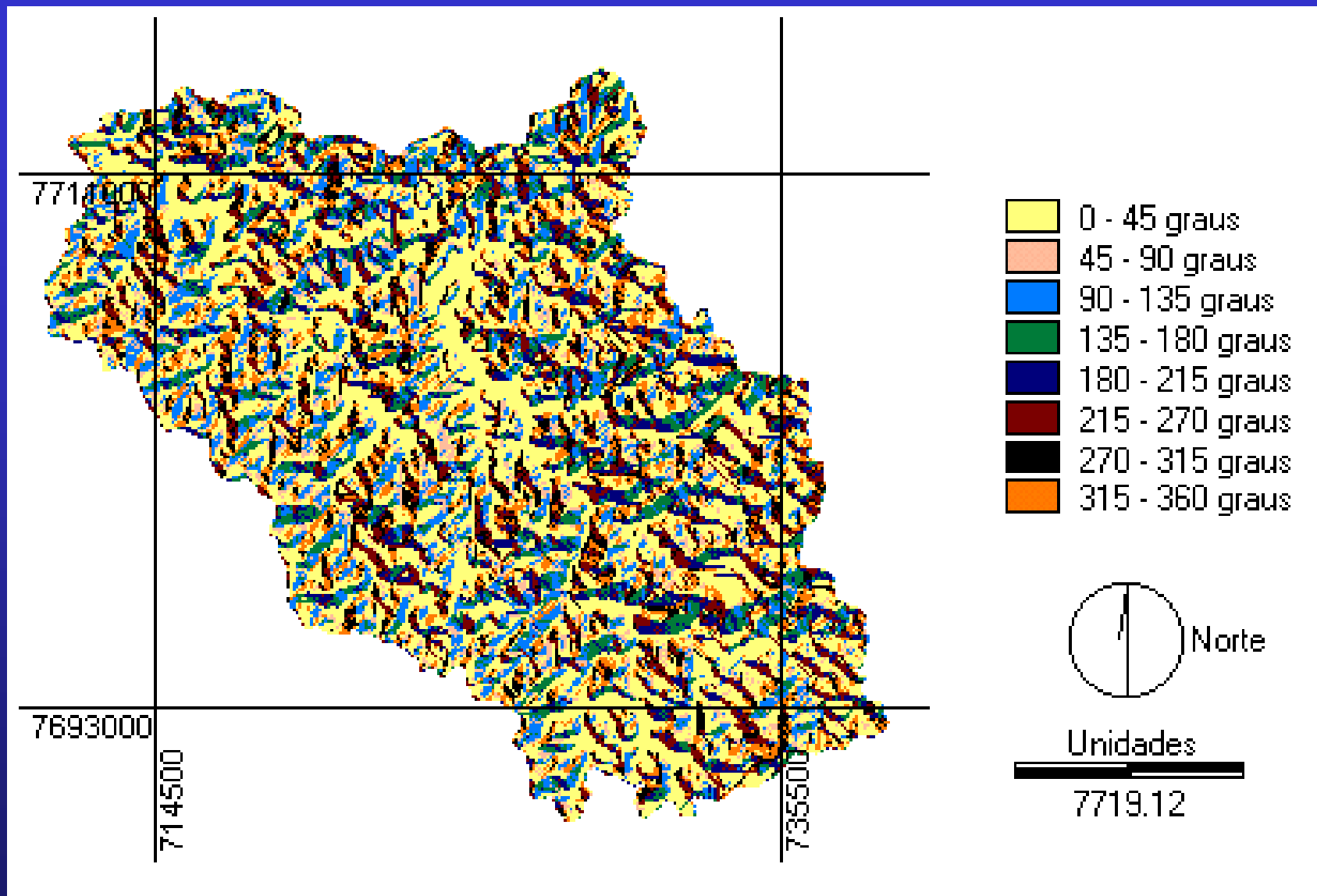
**Sobreposição da hidrografia sobre os intervalos de curvas de níveis da bacia hidrográfica**



## Classes de declividade da bacia hidrográfica

## Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade para a bacia hidrográfica

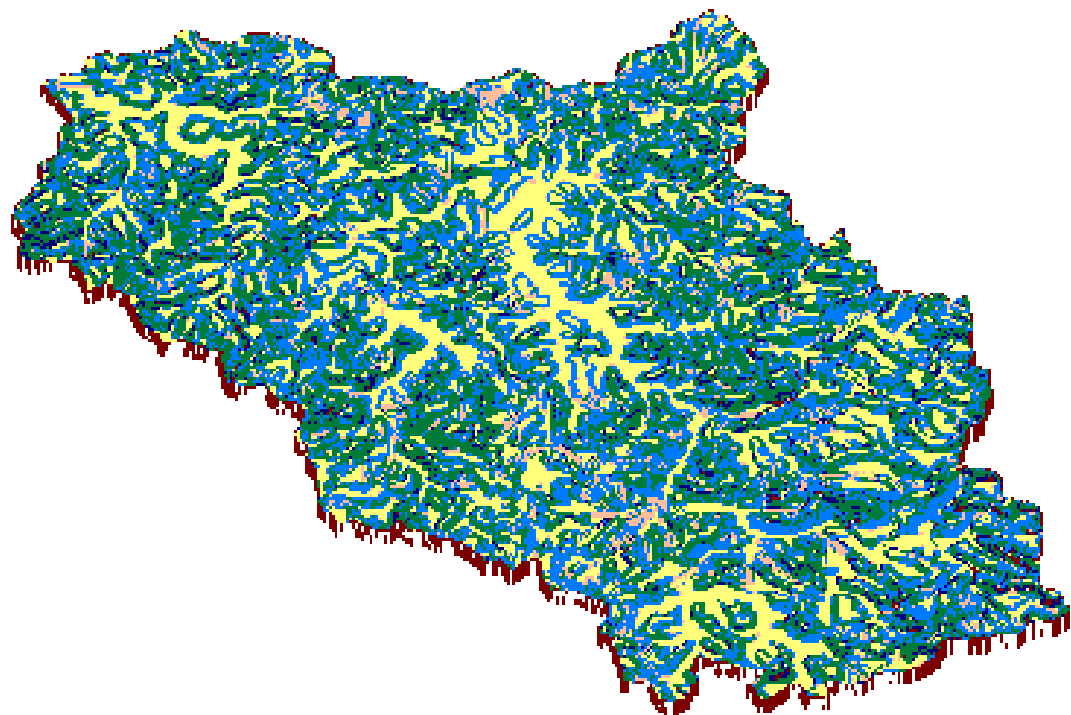
<b>Declividade (%)</b>	<b>Superfície (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% relativa do total da bacia</b>
0 - 3 (plano)	98,62	24,27
3 - 8 (ondulado suave)	21,27	5,23
8 - 20 (ondulado)	119,57	29,42
20 -45 (ondulado forte)	143,72	35,36
45- 75 (montanhoso)	18,65	4,59
> 75 (montanhoso forte)	4,58	1,13



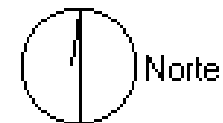
**Orientação do terreno da bacia hidrográfica**

## Quantificação das áreas homogêneas por classes de exposição, para a bacia hidrográfica

Exposição (graus)	Superfície (km <sup>2</sup> )	% relativa do total da bacia
0 - 45 (N - NE)	155,90	38,36
45 - 90 (NE - E)	21,75	5,35
90 - 135 (E - SE)	43,64	10,74
135 - 180 (SE - S)	34,74	8,55
180 - 225 (S - SW)	33,78	8,31
225 - 270 (SW - W)	34,97	8,60
270 - 315 (W - NW)	43,99	10,82
315 - 360 (NW - N)	37,68	9,27



- 0 - 3 % (Relevo plano)
- 3 - 8 % (Relevo suavemente ondulado)
- 8 - 20 % (Relevo ondulado)
- 20 - 45 % (Relevo fortemente ondulado)
- 45 - 75 % (Relevo montanhoso)
- > 75 % (Relevo fortemente montanhoso)



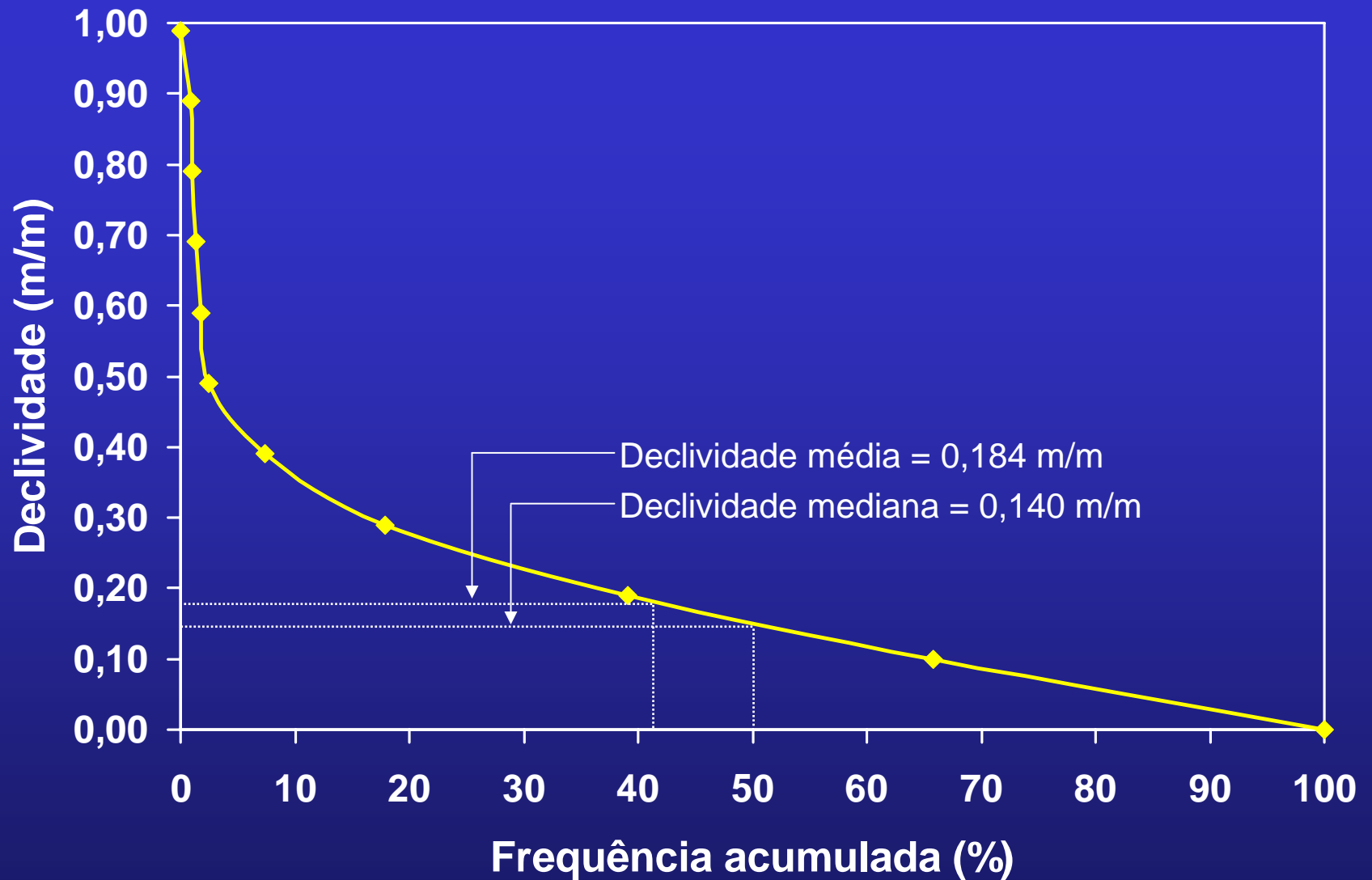
Unidades  
162.85

## Perspectiva ortográfica da bacia hidrográfica

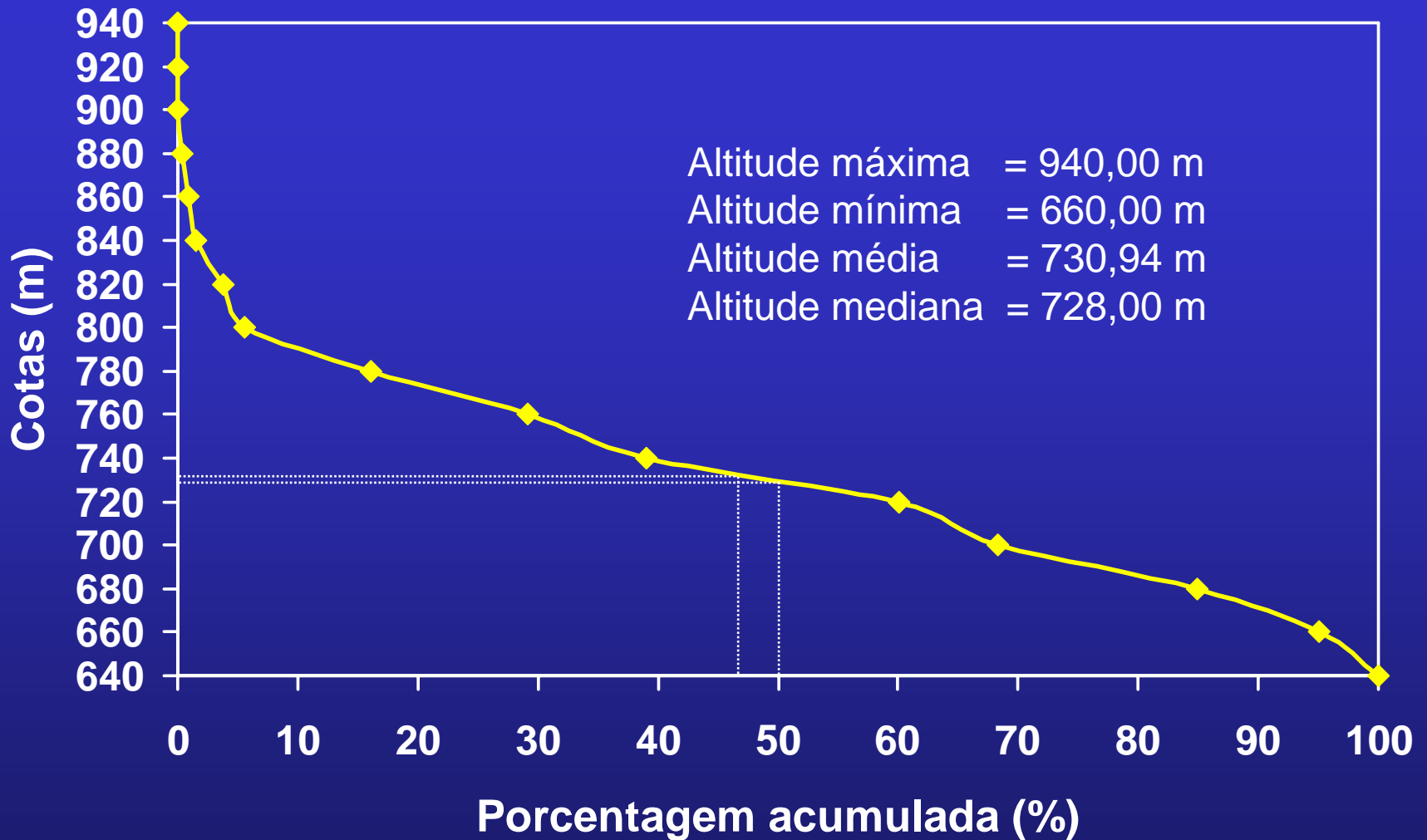
# **Análise Morfométrica da Bacia**

## Resultados preliminares obtidos por meio de técnicas estatísticas e do posterior uso de equações hidrológicas

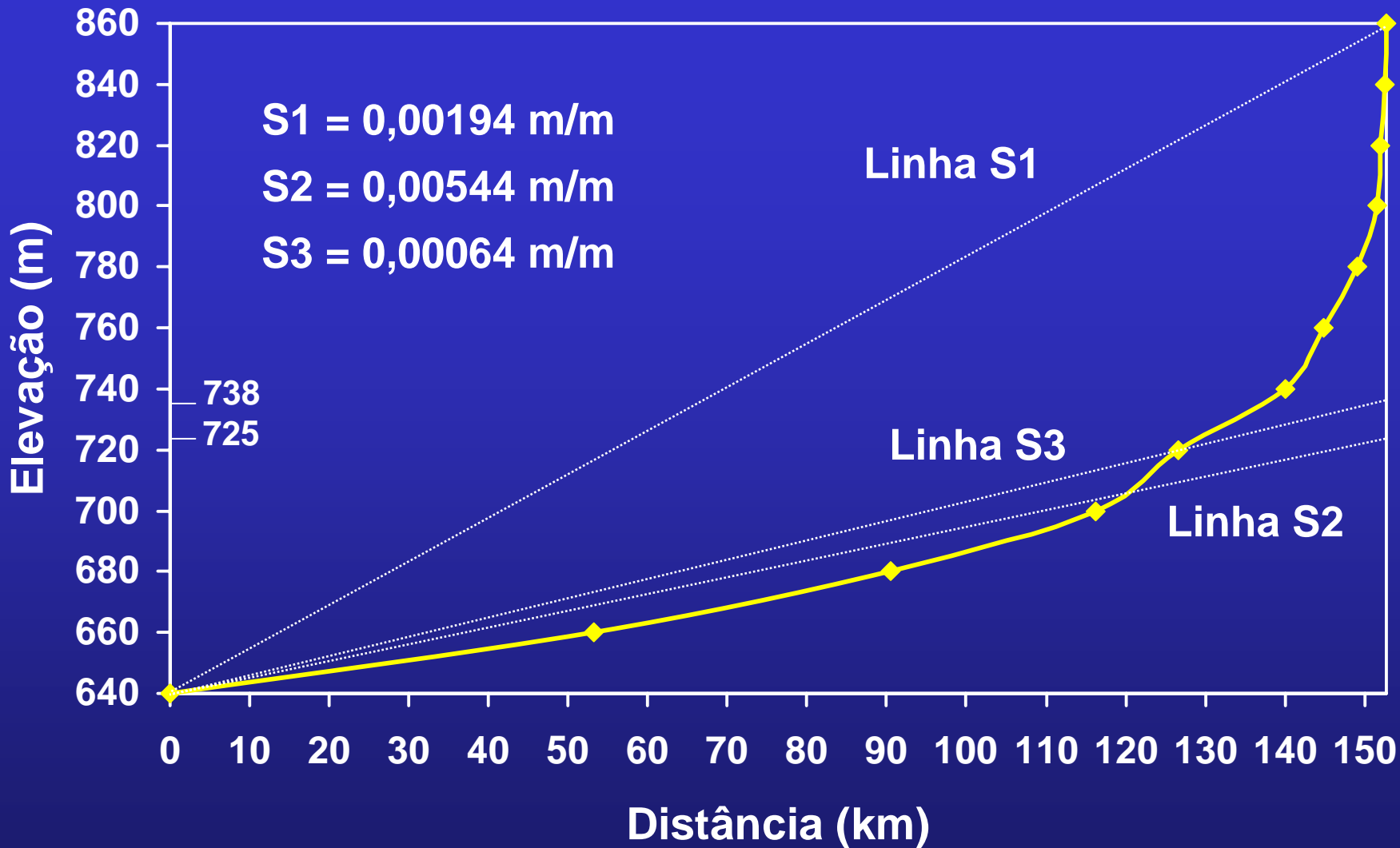
<b>Caraterística física</b>	<b>Valores</b>
Área de drenagem (A)	406,437 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	140,930 km
Comprimento do rio principal (L)	145,857 km
Coeficiente de compacidade ( $K_c$ )	1,957
Fator de forma ( $K_f$ )	0,019
Comprimento total dos cursos d'água ( $L_t$ )	1883,336 km
Densidade de dreangem ( $D_d$ )	4,634 km/km <sup>2</sup>
Ordem dos cursos d'água	Ordem 6
Extensão média do escoamento superficial (I)	0,054 km



**Curva de distribuição de declividade da bacia hidrográfica**



**Curva hipsométrica da bacia hidrográfica**



**Perfil longitudinal do rio Turvo Sujo representado pelas declividades S1, S2 e S3**

**Caracterização Química, Física e  
Bioquímica das Águas do Ribeirão  
São Bartolomeu e Rios Turvo  
Sujo e Turvo Limpo**

Parâmetros	Amostras			
	1	2	3	4
Altitude (m)	640,0	640,0	676,4	680,0
Temperatura da água (°C)	12,0	12,0	12,0	12,0
Sólidos sedimentáveis (mLL <sup>-1</sup> )	0,3	0,0	0,0	0,0
Sólidos totais (mgL <sup>-1</sup> )	0,152	0,013	0,021	0,016
Oxigênio dissolvido (mgL <sup>-1</sup> )	2,04	7,23	5,37	9,46
Alcalinidade (mgL <sup>-1</sup> de alcalinidade em termos de CaCO <sub>3</sub> )	93,0	2,0	38,0	16,0
Acidez (mgL <sup>-1</sup> de acidez em termos de CaCO <sub>3</sub> )	6,0	18,0	3,0	2,0
Potencial hidrogeniônico (adimensional)	7,78	7,30	7,28	7,24
Demanda química de oxigênio (mgL <sup>-1</sup> )	257,9	39,7	198,4	19,8
Demanda bioquímica de oxigênio (5 mL) (mgL <sup>-1</sup> )	163,1	120,8	179,40	42,23
Velocidade da água (ms <sup>-1</sup> )	0,39	0,21	0,49	0,36
Altura da lâmina d'água (m)	0,27	1,39	0,87	1,01
Área da seção transversal (m <sup>2</sup> )	0,80	2,78	2,62	3,02
Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,31	0,58	1,28	1,10

**Notas:**

Amostra 1 : Efluente ribeirão São Bartolomeu

Amostra 2: Afluente rio Turvo Sujo

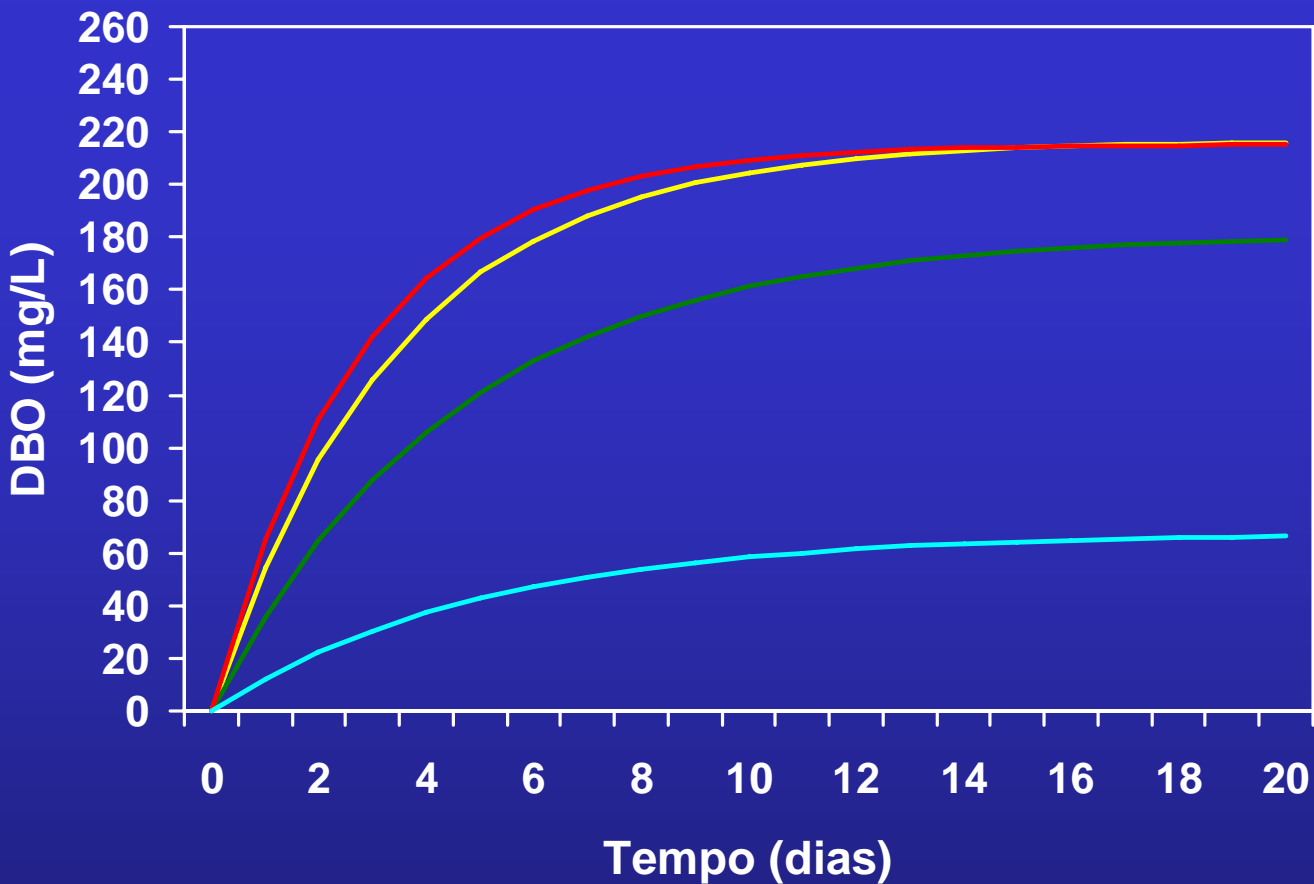
Amostra 3: Efluente rio Turvo Sujo

Amostra 4: Afluente rio Turvo Limpo

**Determinação do Coeficiente de  
Desoxigenação ( $K_1$ ) e reaeração ( $K_2$ )  
das Águas do Ribeirão São  
Bartolomeu e Rios Turvo Sujo  
e Turvo Limpo**

## Valores do coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) para as quatro amostras em estudo

Origem das amostras	$K_1$ ( $d^{-1}$ )	$DBO_5$ ( $mgL^{-1}$ )	$L_o$ ( $mgL^{-1}$ )
Curso d'água 1 (5 mL)	0,29	166,60	216,58
Curso d'água 2 (5 mL)	0,22	120,83	181,25
Curso d'água 3 (5 mL)	0,36	179,40	215,28
Curso d'água 4 (5 mL)	0,20	42,28	67,65



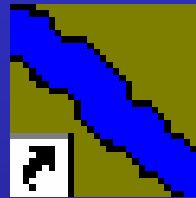
- Amostra 1 (volume 5mL,  $L_0 = 216,58 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $K_1 = 0,29 \text{ d}^{-1}$ )
- Amostra 2 (volume 5mL,  $L_0 = 181,25 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $K_1 = 0,22 \text{ d}^{-1}$ )
- Amostra 3 (volume 5mL,  $L_0 = 215,28 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $K_1 = 0,36 \text{ d}^{-1}$ )
- Amostra 4 (volume 5mL,  $L_0 = 67,650 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $K_1 = 0,20 \text{ d}^{-1}$ )

**Influência do coeficiente  $K_1$  na progressão da DBO para amostras com valores de  $DBO_5$  e  $L_0$  diferentes**

<b>Curso d'água</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>K<sub>2</sub>(d<sup>-1</sup>)</b>
1	OWENS et al (1976)	26,8
	KRENKEL e ORLOB (1962)	1,18
	CHURCHIL, ELMOORE e BUCKINGHAM (1962)	0,59
	OWENS, EDWARDAS e GIBSS (1964)	1,19
2	O'CONNOR e DOBBINS (1958)	0,86
	KRENKEL e ORLOB (1962)	0,30
	CHURCHIL, ELMOORE e BUCKINGHAM (1962)	0,02
	OWENS, EDWARDAS e GIBSS (1964)	0,04
3	O'CONNOR e DOBBINS (1958)	2,66
	KRENKEL e ORLOB (1962)	0,59
	CHURCHIL, ELMOORE e BUCKINGHAM (1962)	0,11
	OWENS, EDWARDAS e GIBSS (1964)	0,15
4	O'CONNOR e DOBBINS (1958)	1,82
	KRENKEL e ORLOB (1962)	0,47
	CHURCHIL, ELMOORE e BUCKINGHAM (1962)	0,07
	OWENS, EDWARDAS e GIBSS (1964)	0,09

**Aprimoramento e Teste de uma Nova  
Versão de um Modelo Computacional  
para a Determinação de Parâmetros  
Relacionados com a Autodepuração  
de Cursos D'água**

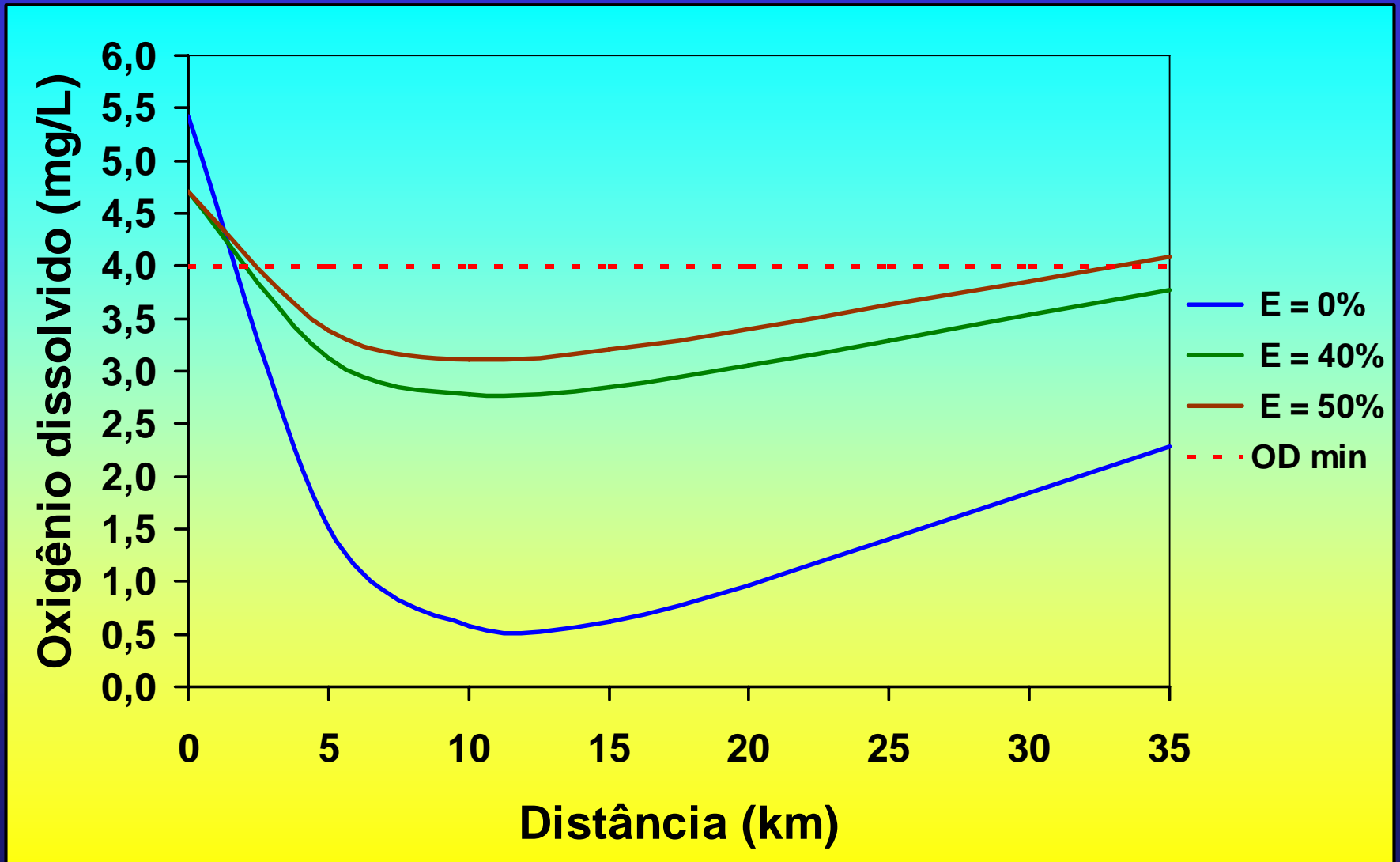
# EXEMPLO DE UMA SIMULAÇÃO REAL UTILIZANDO O PROGRAMA AD'ÁGUA 2.0



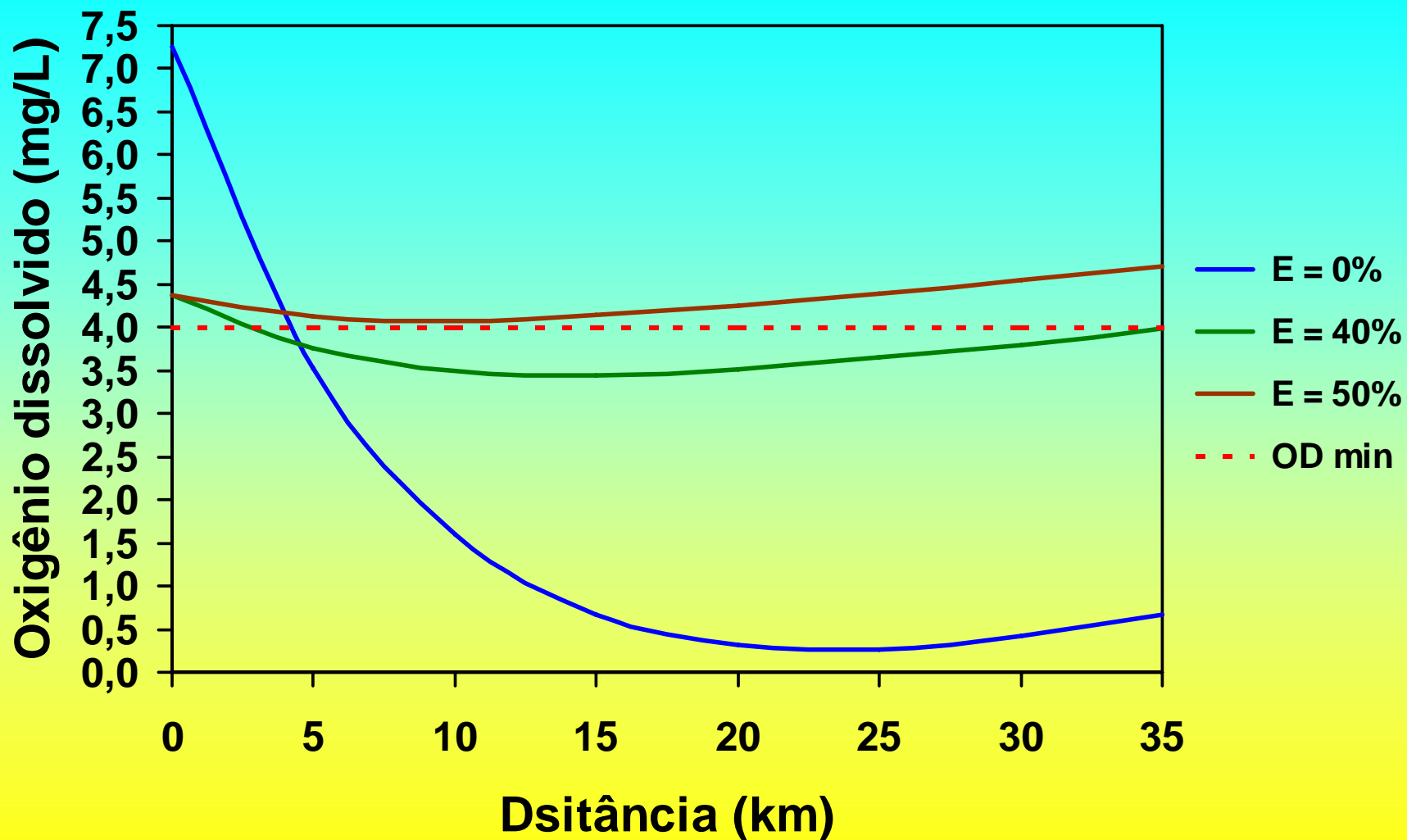
AD'ÁGUA 2.0



Modelo proposto por STREETER e PHELPS (1925)



**Perfil de oxigênio dissolvido para diversas alternativas de tratamento do efluente ribeirão São Bartolomeu**



**Perfil de oxigênio dissolvido para diversas alternativas de tratamento do efluente rio Turvo Sujo**

# CONCLUSÕES

- De acordo com os resultados do coeficiente de compacidade ( $K_c = 1,957$ ), fator de forma ( $K_f = 0,019$ ) e densidade de drenagem ( $D_d = 4,634 \text{ km/km}^2$ ), há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia, e, juntamente com o fato da contribuição dos tributários atingir o curso d'água principal em vários pontos, a bacia em estudo constitui uma área não muito sujeita a enchentes;
- Pelo fato do ribeirão São Bartolomeu receber praticamente todos os efluentes oriundos da cidade de Viçosa, sua concentração de oxigênio dissolvido na água foi a que apresentou o valor mais baixo em relação aos outros cursos d'água.

- Por apresentarem maior concentração de matéria orgânica, os cursos d'água 1 e 3 apresentaram valores elevados de DQO e  $DBO_5$ , quando comparadas com os cursos d'água 2 e 4.
- As amostras que tiveram os menores valores de  $K_1$  (cursos d'água 2 e 4), apresentaram uma taxa de estabilização da matéria orgânica mais lenta, implicando numa DBO última elevada, e não completa ainda no 20º dia.
- Os três cursos d'água em estudo tem maiores facilidades diluição de oxigênio ao longo da profundidade e à criação de maiores turbulências na superfície em vista dos resultados elevados do coeficiente de reaeração.

- O rio Turvo Sujo se degrada bastante, apresentando concentrações de oxigênio sempre abaixo do mínimo permissível, atingindo o valor crítico de  $0,53 \text{ mgL}^{-1}$  à uma distância de 11,88 km do encontro com o ribeirão São Bartolomeu.
- Pelo fato da concentração de oxigênio do rio Turvo Limpo ser bastante elevada ( $9,46 \text{ mgL}^{-1}$ ), a concentração de oxigênio da mistura mostrou-se também elevada, favorecendo melhorias da autodepuração do rio Turvo Limpo quando o efluente rio Turvo Sujo for submetido a diferentes alternativas de eficiência do tratamento.

ENGENHARIA AGRÍCOLA

