



XI Simposio de Recursos Hidricos do Nordeste

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE



RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
MESTRADO

## ESTUDO FISIAGRÁFICO, BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DE CHUVA COMO SUBSÍDIO A APLICAÇÃO DE MODELOS DE RISCO DE DESLIZAMENTOS NA BACIA DO RIO LA PAZ - BOLIVIA

ALISON KATHERINE YAÑEZ GARCIA  
CARLOS RUBERTO FRAGOSO JUNIOR

# INTRODUÇÃO

Na Bolívia movimentos de massa e inundações são recorrentes causando danos em muitas oportunidades, esses danos podem ser materiais como perdas humanas.

Todos esses desastres geralmente atingem populações de baixa renda que vivem em áreas de risco geológico ou próximo a áreas ribeirinhas, sendo uma situação evidente nas grandes cidades como áreas rurais.

# INTRODUÇÃO



Tais fenômenos são apresentados em um apelo na Bolívia, e o país não tem prevenção e ação para mitigar estes fenômenos. Esta previsão depende em grande parte de dados climáticos e hidrológicos, e estudos abrangentes de topografia, solo para a análise desses fenômenos.

Geração de modelos hidrológicos e a delimitação da topografia para deslizamentos podem ser obtidos por programas de SIG, os parâmetros mecânicos e físicos utilizam da relação topográfica e hidrológica, fornecendo características fisiográficas podendo prever áreas instáveis as movimentos de massa.



# INTRODUÇÃO

O desastre "**Mega-Deslizamento**" gerado pelo fortes precipitações, gerou alteração nos cursos de rios, que reverberou em falhas geológicas ativas nas encostas de grandes dimensões, causando deslizamentos em pelo menos oito bairros de La Paz e afetando mais de 5000 pessoas além da produção agropecuária.



VALLE DE LAS FLORES



SANTA ROSA DE  
CALLAPA



PAMPAHASI BAJO e  
CENTRAL

# INTRODUÇÃO

O desastre "**Mega-Deslizamento**" gerado pelo fortes precipitações, gerou alteração nos cursos de rios, que reverberou em falhas geológicas ativas nas encostas de grandes dimensões, causando deslizamentos em pelo menos oito bairros de La Paz e afetando mais de 5000 pessoas além da produção agropecuária.



# METODOLOGIA

MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) (RASTER- MDE)

MDT OPTIMIZADO (FILL)

DIRECCIÓN DE FLUJO

ACUMULACIÓN DE FLUJO

ACUMULACIÓN RECLASIFICADA

RED DE DRENAJE

A primeira instância do trabalho baseou-se nos parâmetros fisiográficas da bacia do Rio La Paz, os parâmetros foram obtidos a partir dos valores gerados pelo ArcGis, através de um Modelo Digital de Elevação (MDE) ou arquivo RASTER.

CÁLCULO

WATERSHEDS

WATERSHEDS POLYGONS

WATERSHEDS LINES

DETERMINACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS

UNIDADES HIDROGRÁFICAS LINES

UNIDADES HIDROGRÁFICAS POLYGONS

# ÁREA DE ESTUDIO



# ÁREA DE ESTUDIO



O rio em estudo tem por nome Chujllumani, pertence à sub-bacia do Rio La Paz, da região hidrográfica da Bacia Amazônica com 327 unidades de rios, subdivididos e consolidados como a bacia do rio Beni com uma área total de 120.449, 83 km<sup>2</sup>.

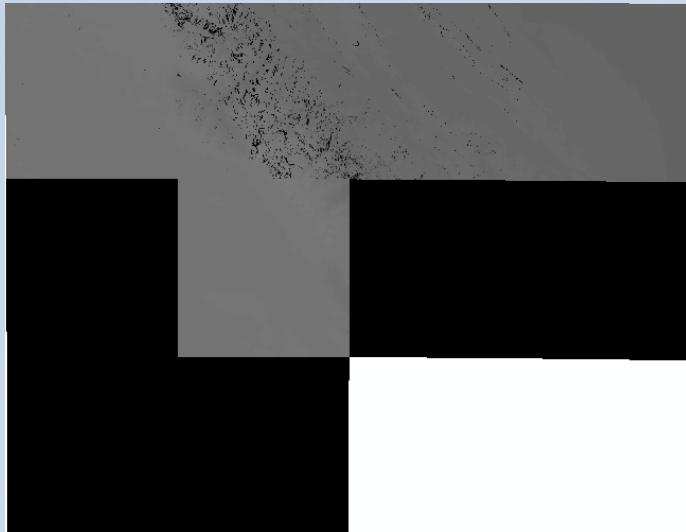




## IMAGEN SATELITAL

<http://www.youtube.com/watch?v=bwtm8x7D1aE>

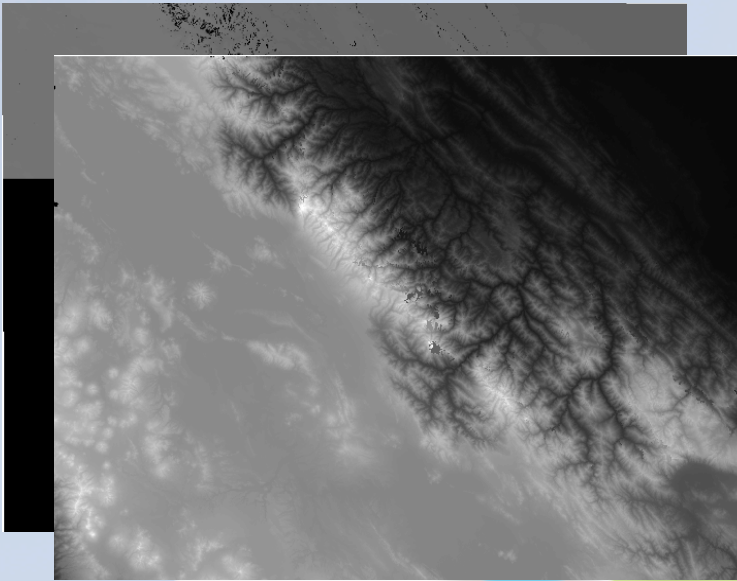
# PRE-PROCESSAMENTO



Para criar o mosaico foi feito a preenchimento de todos os Arquivos SRTM na área, foram baixados 48 blocos SRTM.

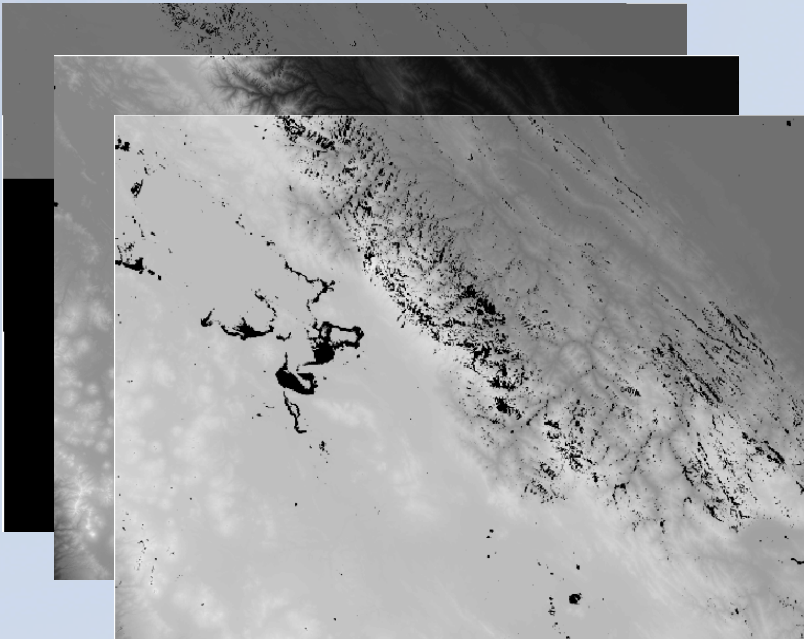


# PRE-PROCESSAMENTO



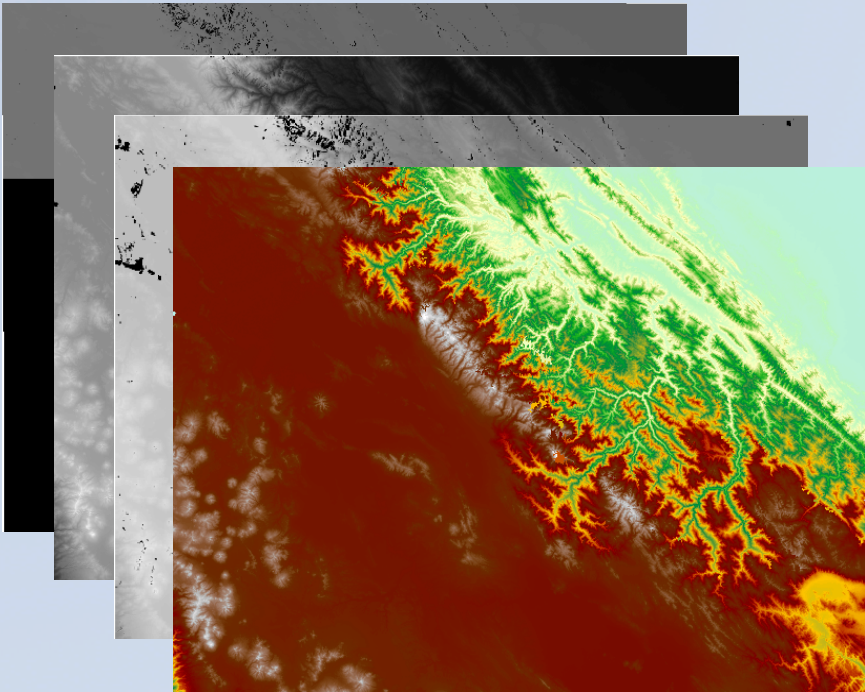
Foi feito o processo FILL (preenchimento de possíveis falhas).

# PRE-PROCESSAMENTO

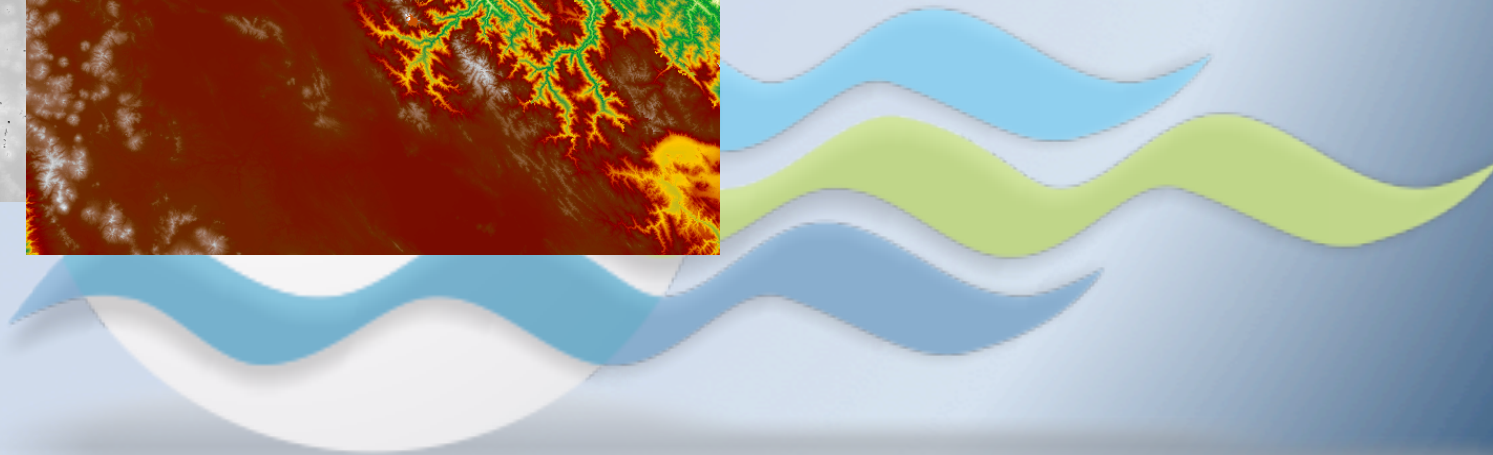


A partir dos blocos SRTM e o processo FILL foi gerado o Mosaico.

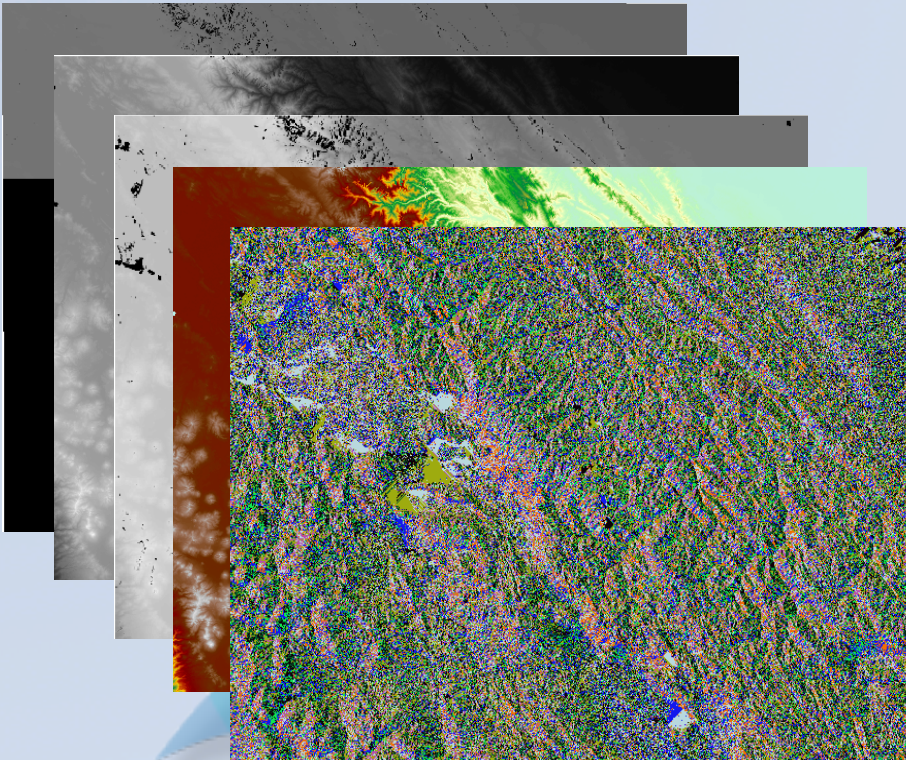
# PRE-PROCESSAMENTO



Preenchimento de falhas de depressão do solo.



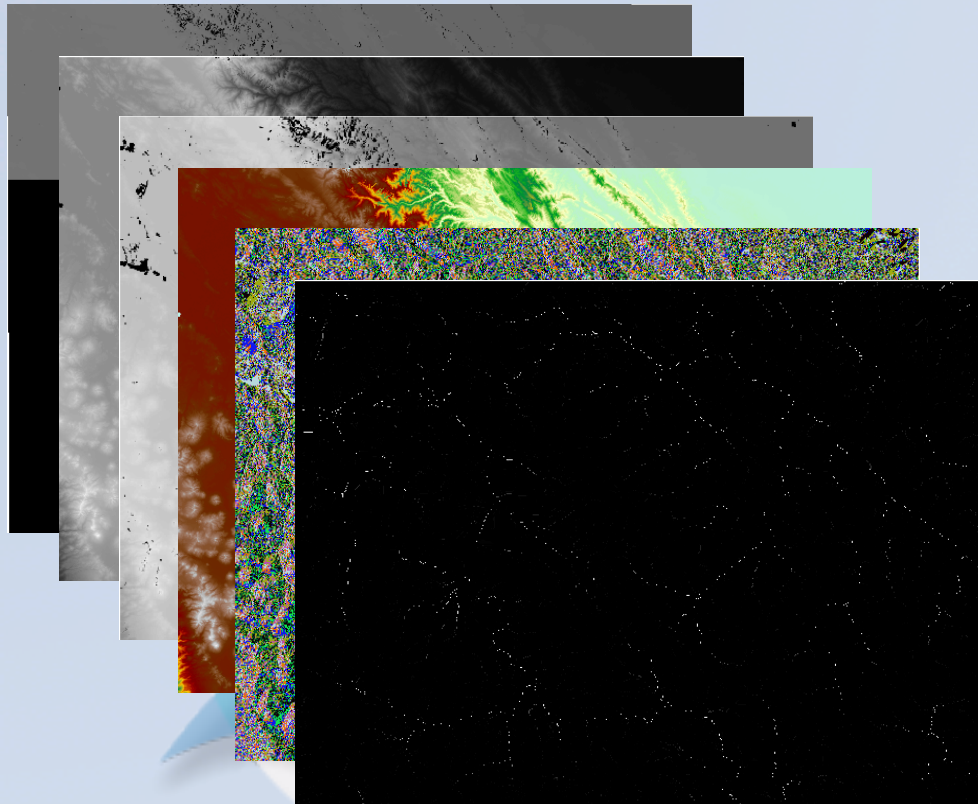
# PRE-PROCESSAMENTO



O passo seguinte foi construir a direcção do fluxo existente.



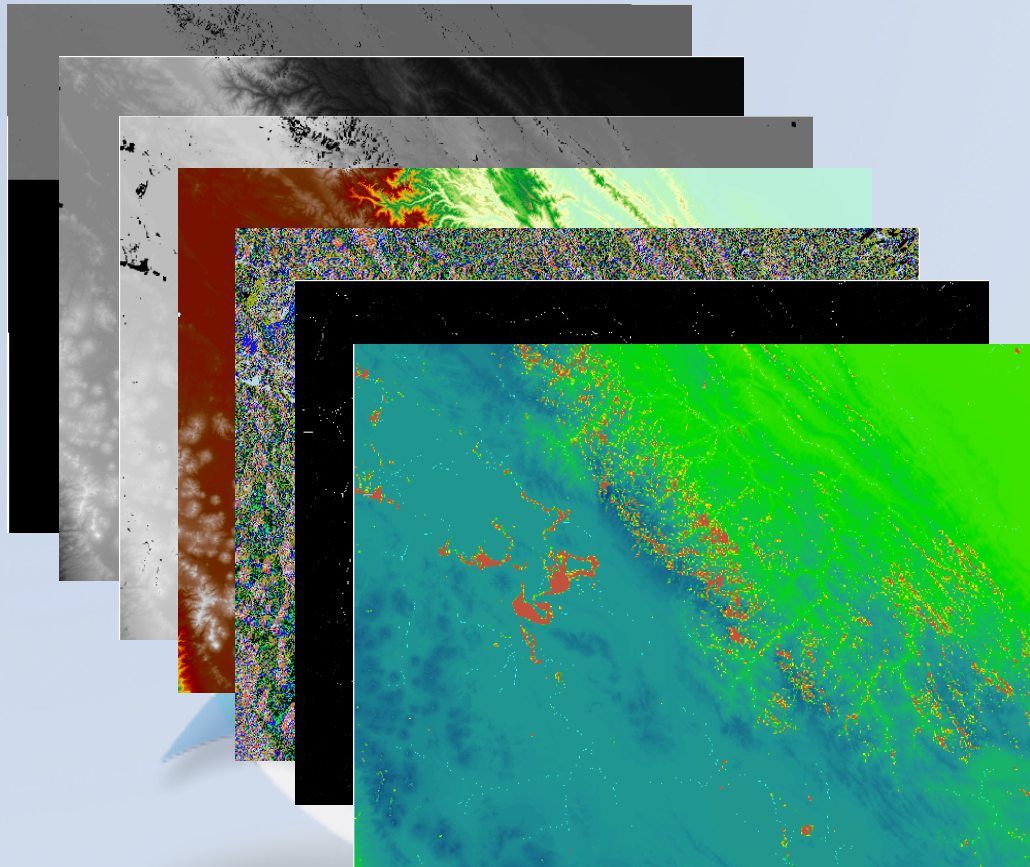
# PRE-PROCESSAMENTO



Também foi gerado acumulação de fluxo na bacia.



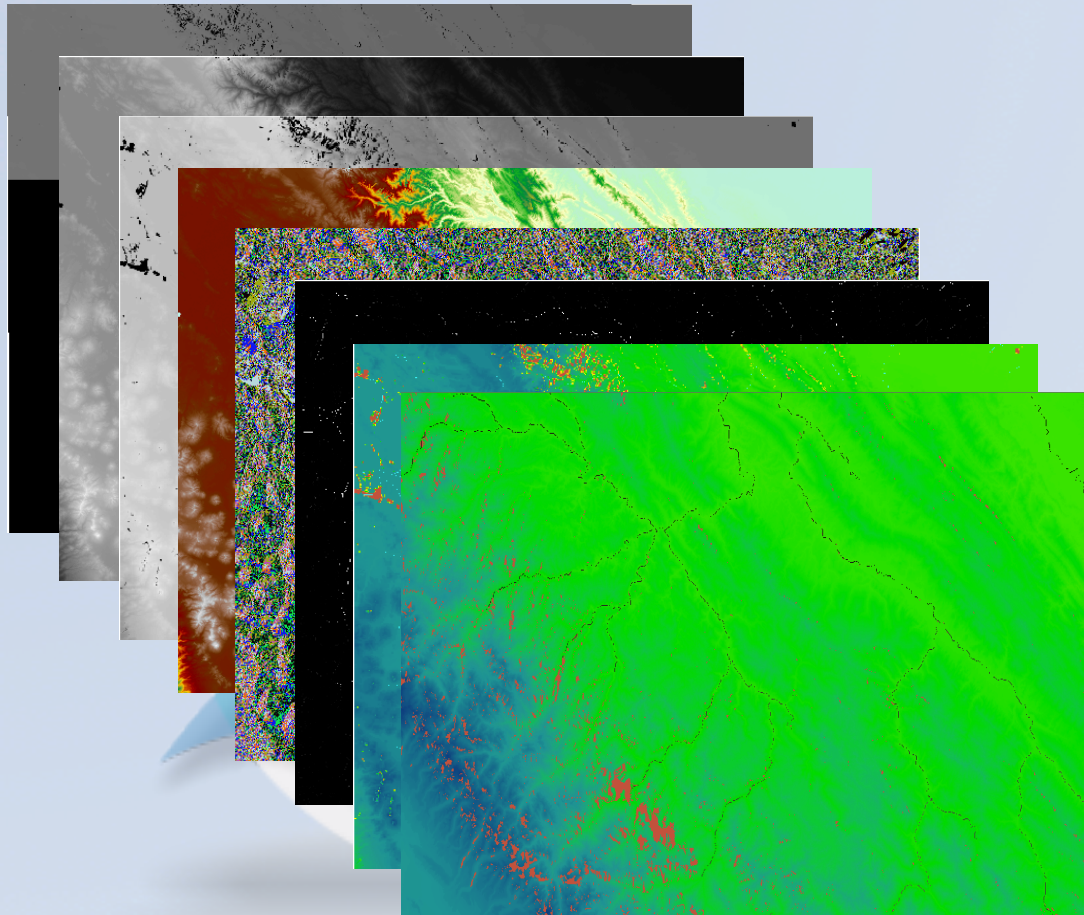
# PRE-PROCESSAMENTO



Áreas de Drenagem (Stream Segmentation).

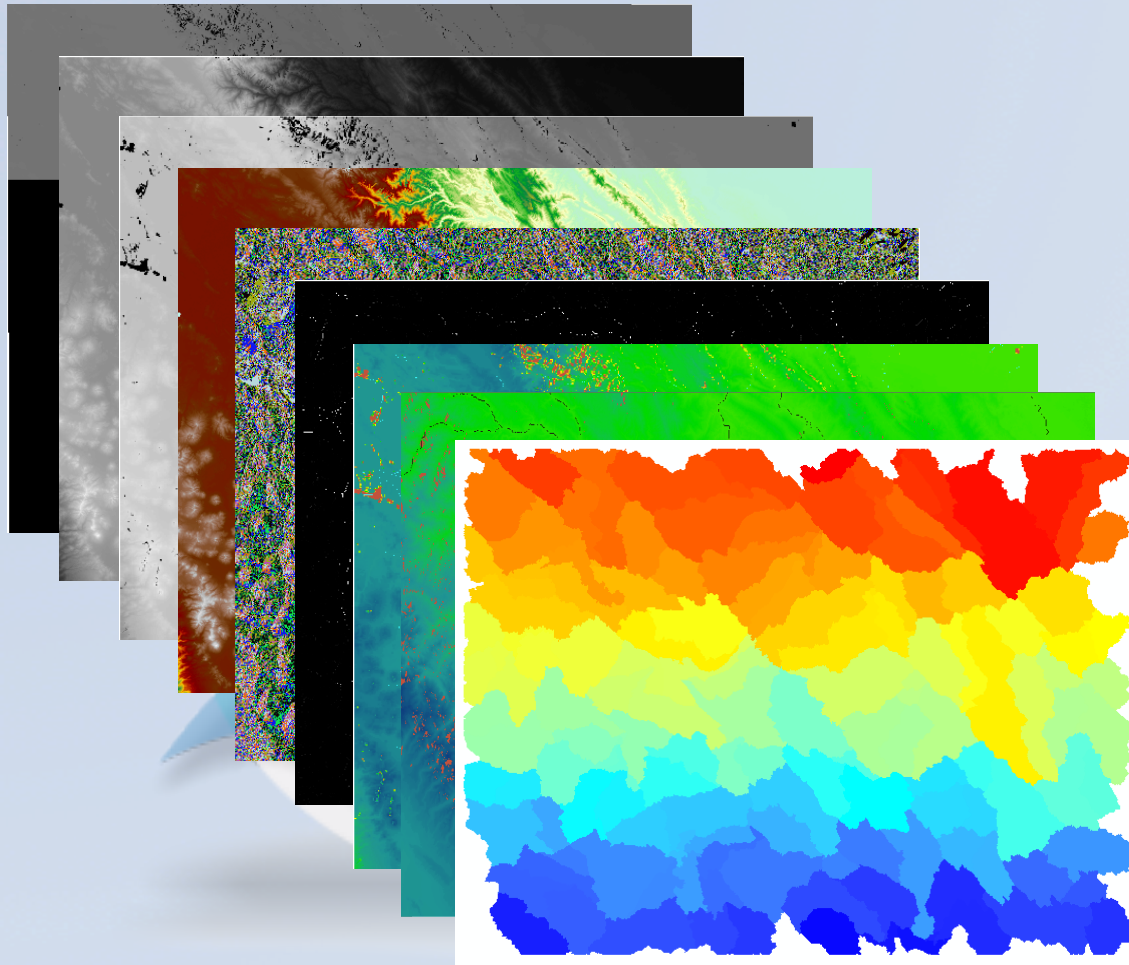


# PRE-PROCESSAMENTO

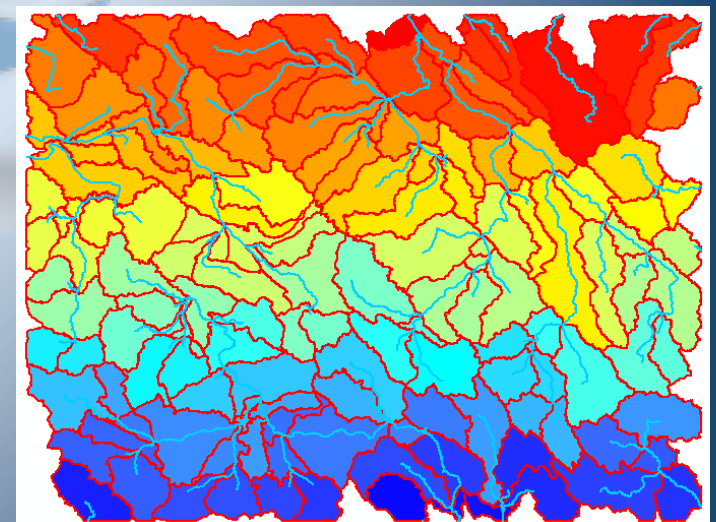


Áreas de Drenagem (Stream Delimitation).

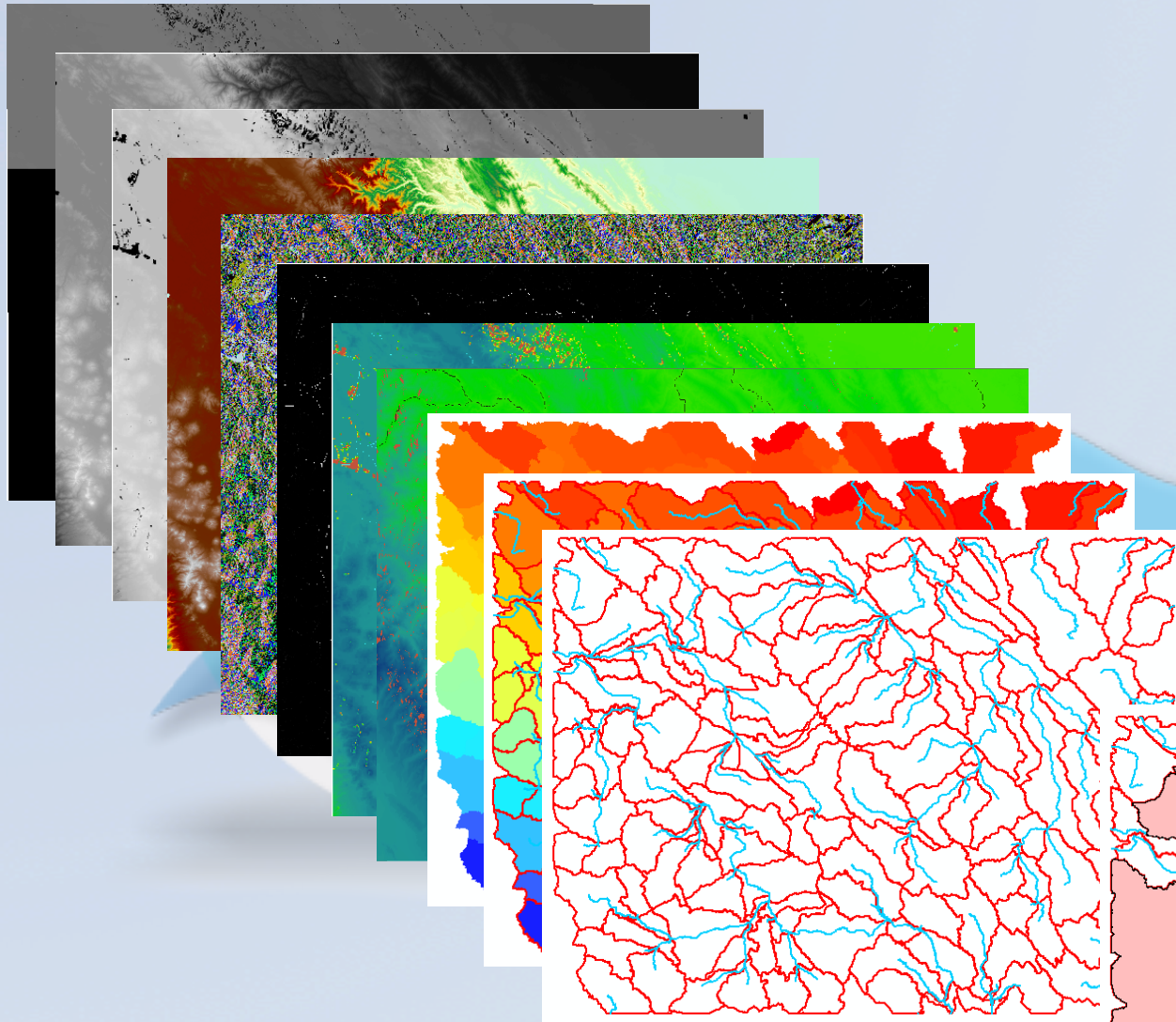
# PRE-PROCESSAMENTO



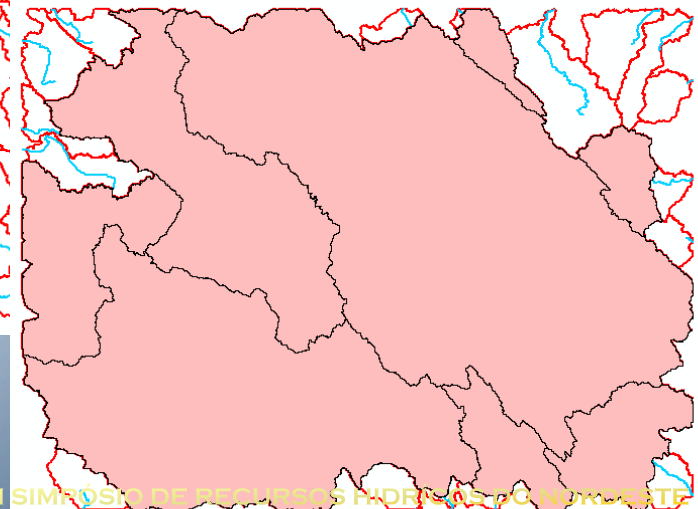
Geração e Transformação de MiniBacias em arquivos vetoriais Shapefile.



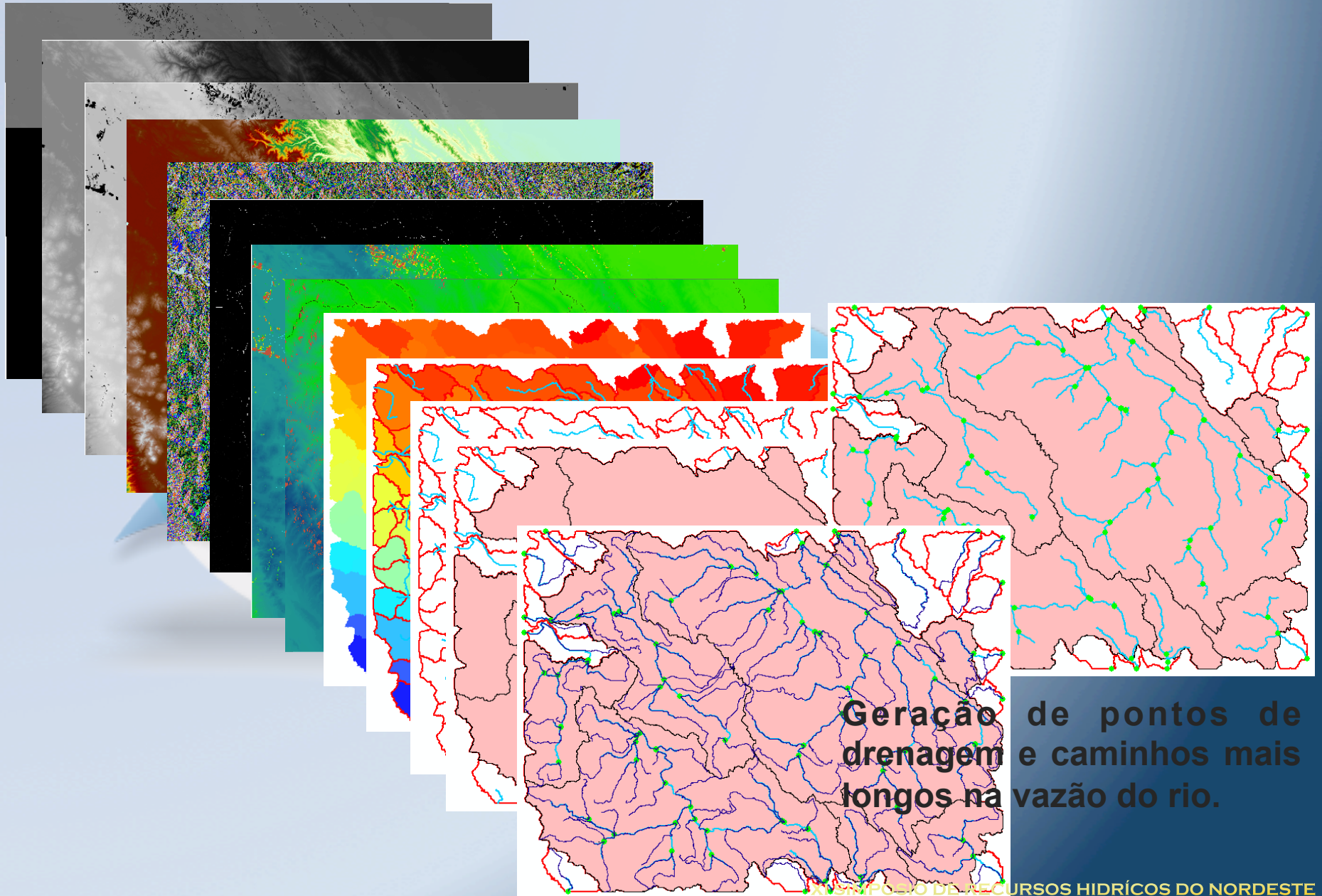
# PRE-PROCESSAMENTO



Geração de drenagem introduzido em arquivos vetoriais em Shapefile do MiniBacias e geração de bacias hidrográficas.

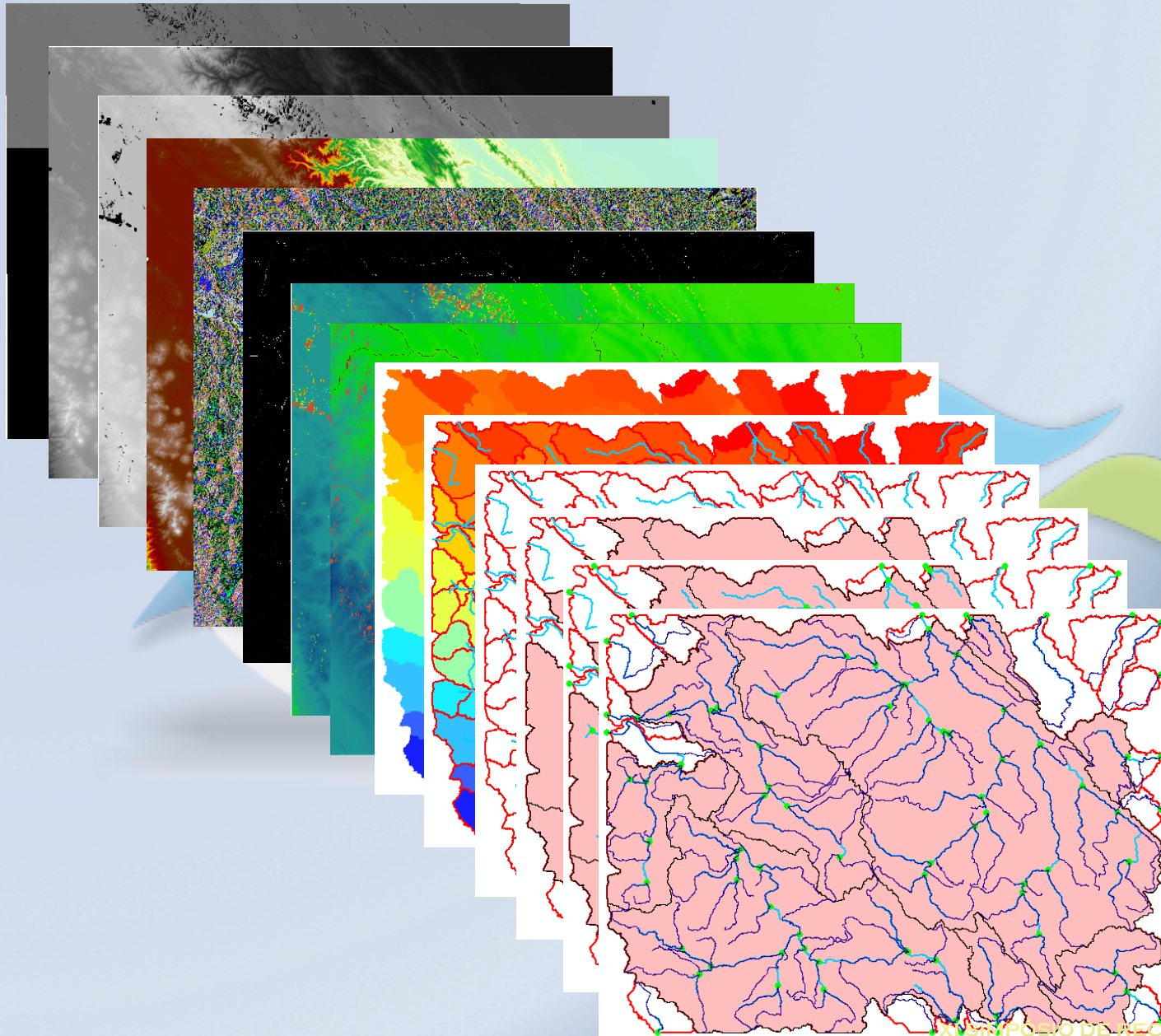


# PRE-PROCESSAMENTO

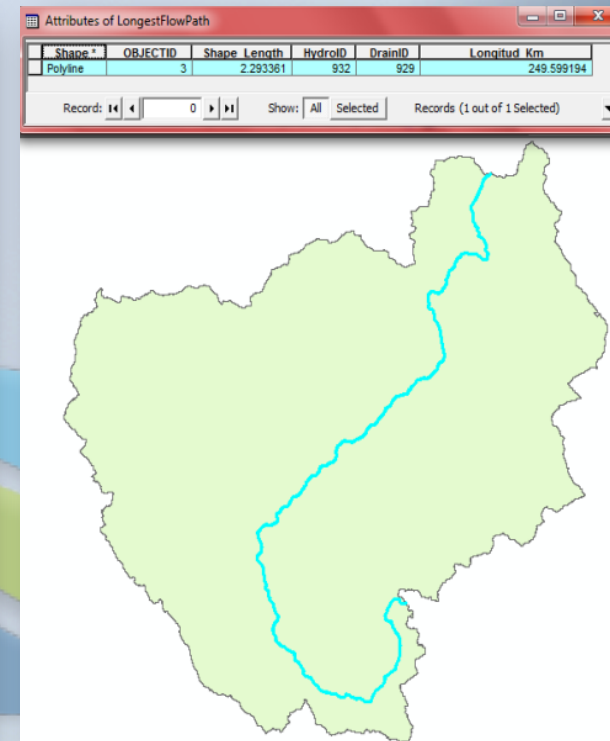
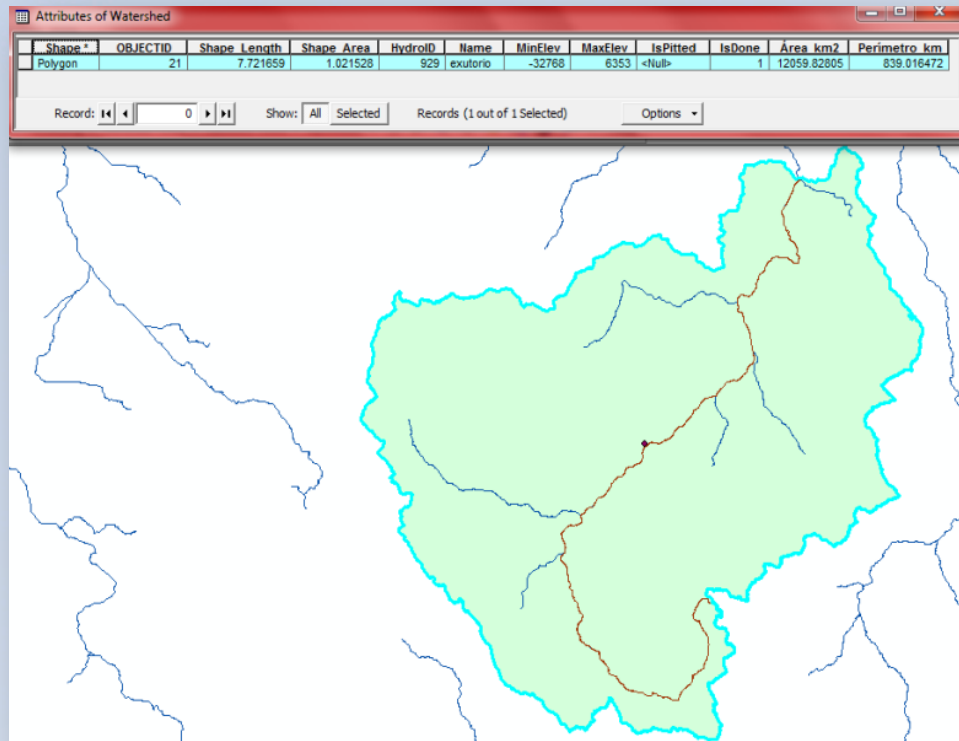


**Gerção de pontos de drenagem e caminhos mais longos na vazão do rio.**

# PRE-PROCESSAMENTO



# CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS



Bacia do Rio La Paz	Area (km)	Perimetro (km)	Comprimento do Rio (km)	Diferencia de Altitude (m)
	<b>12059.828</b>	<b>839.016</b>	<b>249.599</b>	<b>1687.307</b>

# CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS

- Declive Equivalente o Media

$$I_{\downarrow eq} = \Delta H / L \text{ (m/Km)}$$

- Tempo de Concentração

$$t_{\downarrow c} = 57 * (L^2 / I_{\downarrow eq})^{0,385} \text{ (min)}$$

- Fator de Forma

$$I_{\downarrow c} = A / L^2 \text{ (adimensional)}$$

- Índice de Compacidade

$$K = 0,28 * P / A^{0,5} \text{ (adimensional)}$$

CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS				
Bacia do Rio La Paz	Declive Equivalente o Media (m/km)	Tempo de Concentração (min)	Fator de Forma (adim)	Índice de Compacidade (adim)
	6.76	228.71	0.19	2.14

# DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

## Precipitação Média Mensal – Estação Calacoto

ANO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
	ESTAÇÃO CALACOTO											
2001	4.60	3.70	2.50	3.20	0.60	0.00	4.60	1.30	0.60	6.50	2.50	4.20
2002	2.50	3.90	3.50	4.50	3.60	0.00	1.40	1.00	3.60	3.40	1.90	7.10
2003	4.70	3.50	4.70	1.60	0.00	0.00	0.00	5.80	6.00	2.00	2.00	2.90
2004	9.30	3.50	2.20	2.40	1.30	6.40	2.20	0.70	0.00	3.70	4.00	3.10
2005	3.40	2.60	4.80	9.90	0.00	0.00	0.00	0.40	0.50	4.80	1.90	7.60
2006	2.80	10.00	4.30	0.80	1.40	0.00	0.00	0.00	0.10	1.30	8.70	6.50
2007	3.90	4.90	2.80	2.20	1.50	0.10	7.40	0.10	1.50	2.70	20.00	4.70
2008	3.30	3.40	4.20	1.20	3.50	0.00	0.00	3.10	4.00	7.30	1.50	9.70
2009	1.70	9.50	3.40	0.80	0.00	0.00	0.00	1.50	3.40	10.90	0.00	3.00
2010	5.00	8.50	1.70	1.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.80	3.10	0.10	2.90
P	41.20	53.50	34.10	27.60	14.10	6.50	15.60	13.90	20.50	45.70	42.60	51.70

## Temperatura Média Mensal e Anual – Estação Calacoto

ANO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	ANUAL
	ESTAÇÃO CALACOTO												
2001	11.80	12.60	13.10	13.30	12.10	11.10	10.90	10.70	12.60	13.30	15.20	13.80	12.54
2002	14.10	13.30	13.50	12.70	12.40	11.20	9.40	11.60	12.90	12.80	14.10	14.20	12.68
2003	13.80	14.00	13.20	13.10	12.00	11.20	10.10	11.00	11.30	13.60	14.10	14.30	12.64
2004	12.80	13.20	13.60	13.60	11.40	10.50	10.00	10.50	12.10	14.20	14.50	14.90	12.61
2005	13.60	13.00	14.40	13.00	12.80	10.90	10.90	11.90	11.30	12.80	13.70	14.90	12.77
2006	12.60	13.60	13.90	13.00	11.20	11.00	11.10	11.50	12.20	13.90	14.00	14.20	12.68
2007	14.00	13.50	13.00	13.20	12.00	11.70	10.10	11.80	11.40	13.50	13.50	13.50	12.60
2008	12.80	13.60	12.70	12.90	11.60	11.20	10.90	12.00	12.70	13.40	15.10	13.60	12.71
2009	13.60	13.90	13.40	12.80	12.20	11.40	10.70	12.10	13.20	14.50	15.50	14.40	13.14
2010	14.10	14.30	14.60	14.10	12.40	11.80	11.30	12.50	13.20	13.20	14.70	14.20	13.37
temp	13.32	13.50	13.54	13.17	12.01	11.20	10.54	11.56	12.29	13.52	14.44	14.20	



# DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

## Fator de Correção "f"

Fator de correção "f", duração média da luz do sol espresada em unidades de 30 dias com 12 horas de sol

Latitude	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	
N O R T E	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80	-	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.71	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02	
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	
S U L	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	16°30'17"	1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36	
50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41	

# DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

**Método de Thornthwaite:**

A equação geral que regula o método é:

$$E = 16 * [10 * T / I]^a$$

Onde:

$E$  É a evapotranspiração Potencial (mm/mês)  
 $T$  É a temperatura média do mês (°C)  
 $a$  E "I" são coeficientes calculados usando as seguintes equações

$$I = \sum_{j=1}^{12} [T_j / 5]^{1,514}$$

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,792 * 10^{-2} * I + 0,49239$$

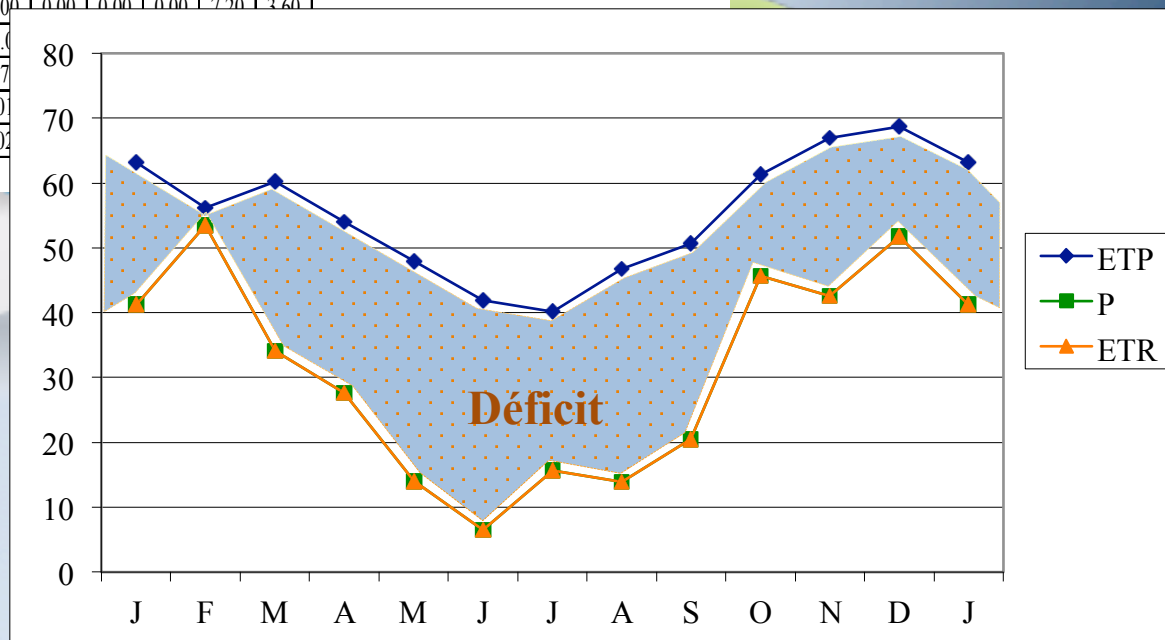
Onde:

$j$  É cada um dos doze meses do ano  
 $T$  É a temperatura média de cada um dos doze meses do ano

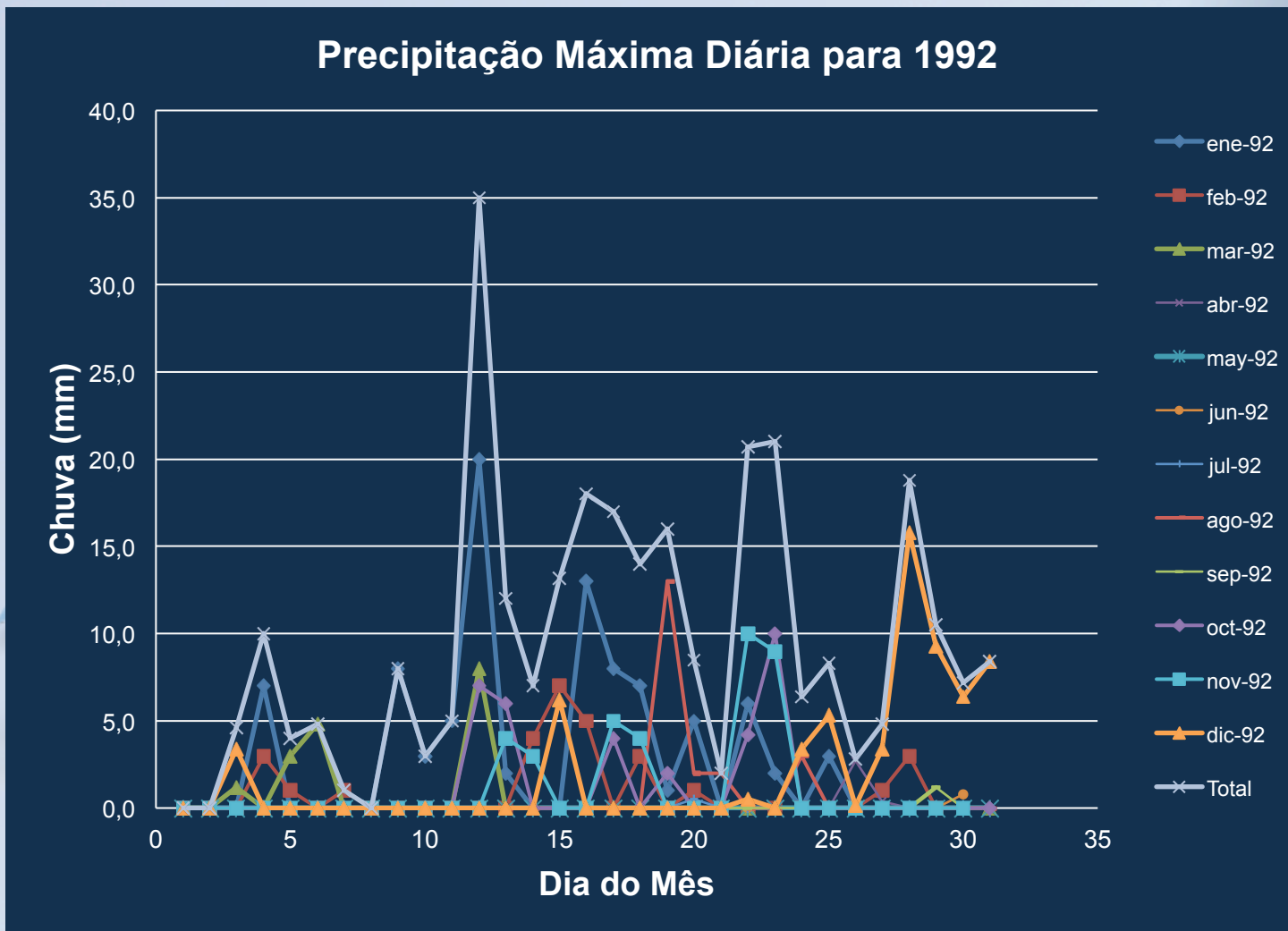
# DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

## Cálculo do Balanço Hídrico

														Reserva máx:	0			
														Area a irrigar:	140	has		
														Efic. Riego:	0.5			
	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	Total			
a	temp		13.32	13.50	13.54	13.17	12.01	11.20	10.54	11.56	12.29	13.52	14.44	14.20	13.32			
b	i		4.41	4.50	4.52	4.33	3.77	3.39	3.09	3.56	3.90	4.51	4.98	4.86	4.4	49.82	a=	1.27583393
c	ETP sem corr		56.1	57.1	57.3	55.3	49.2	45.0	41.6	46.8	50.6	57.2	62.2	60.9	56.1			
	nº dias mes		31	28.25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31.0				
d	fator correção "f"		1.13	0.99	1.05	0.98	0.97	0.93	0.96	1.00	1.00	1.07	1.08	1.13	1.1			
e	ETP corr.		63	56	60.2	54	48	42	40	47	51	61	67	69	63.1	658		
f	P		41.2	53.5	34.1	27.6	14.1	6.5	15.6	13.9	20.5	45.7	42.6	51.7	41.2	367.0		
g	Var. Reserva		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		Variação total das reservas
h	Reserva	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
i	ETR		41.2	53.5	34.1	27.6	14.1	6.5	15.6	13.9	20.5	45.7	42.6	51.7	41.2	367		Abastecimento de água
j	Déficit		21.9	2.7	26.1	26.5	33.8	35.4	24.6	32.8	30.1	15.6	24.3	17.0	21.9	291		
k	Excedente		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0		
l	1/2 Excedente	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
m	1/2 Escoamento mes ant.		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
n	Escoamento total	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
o	Deficit diario mm/dia		0.71	0.10	0.84	0.88	1.09	1.18	0.7									
p	Q (m³/s) neto a derivar		0.011	0.002	0.014	0.014	0.018	0.019	0.0									
	Q (m³/s) bruto a derivar		0.023	0.003	0.027	0.029	0.035	0.038	0.0									

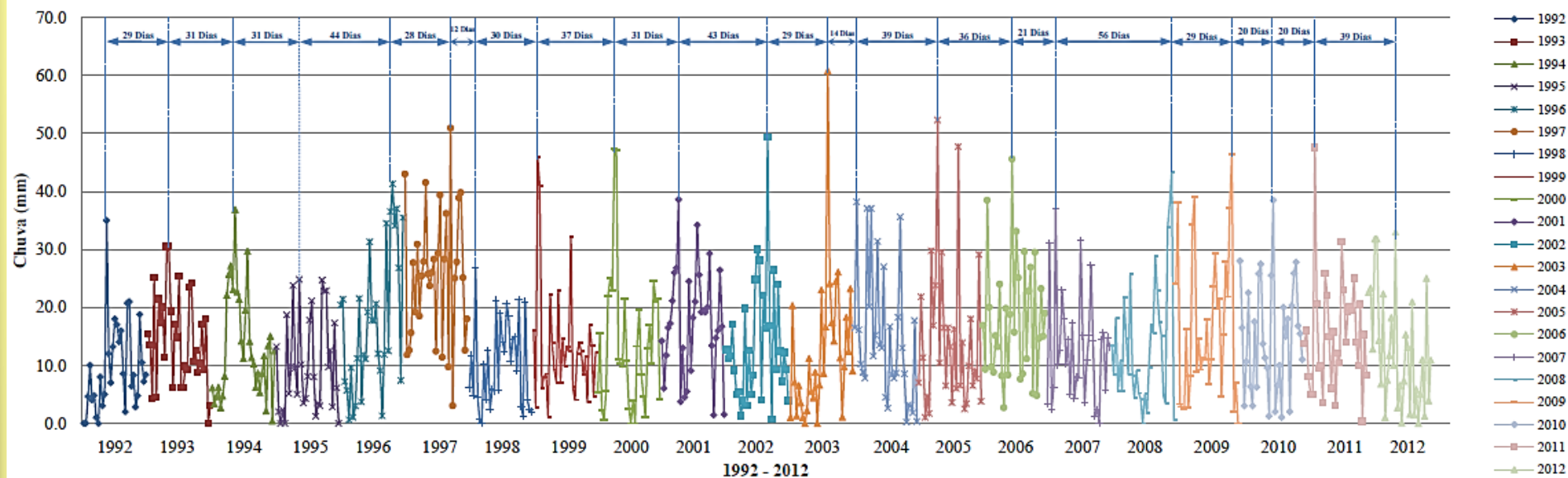


# VARIABILIDADE SAZONAL DE CHUVA



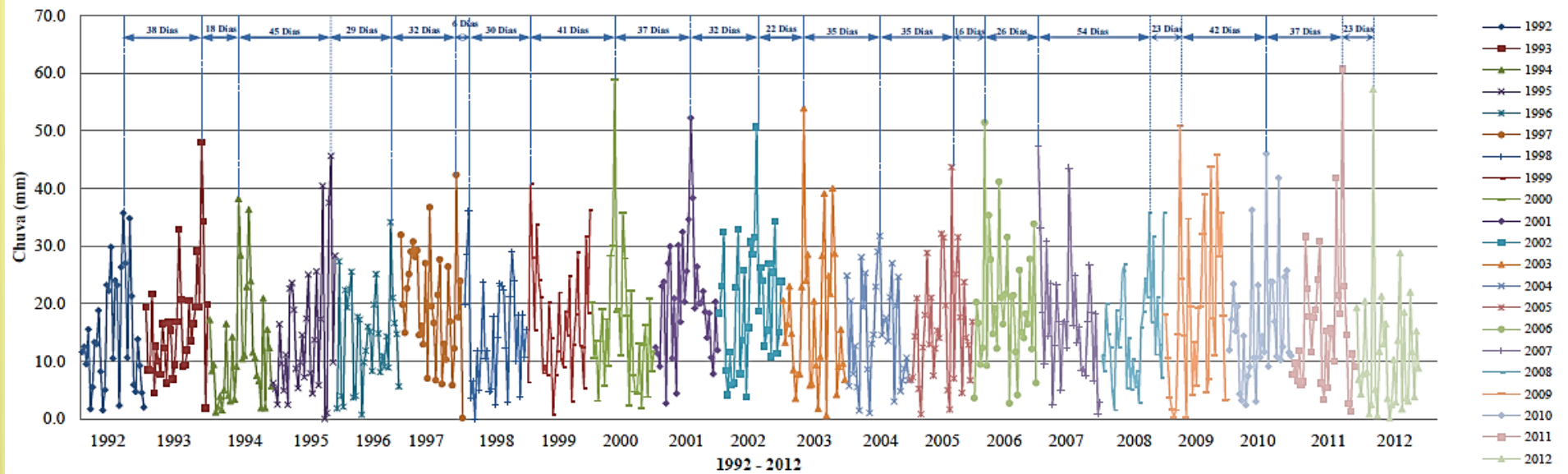
# VARIABILIDADE SAZONAL DE CHUVA

Estação Calacoto (Importados Brutos desde 01/1992 - 01/2012)



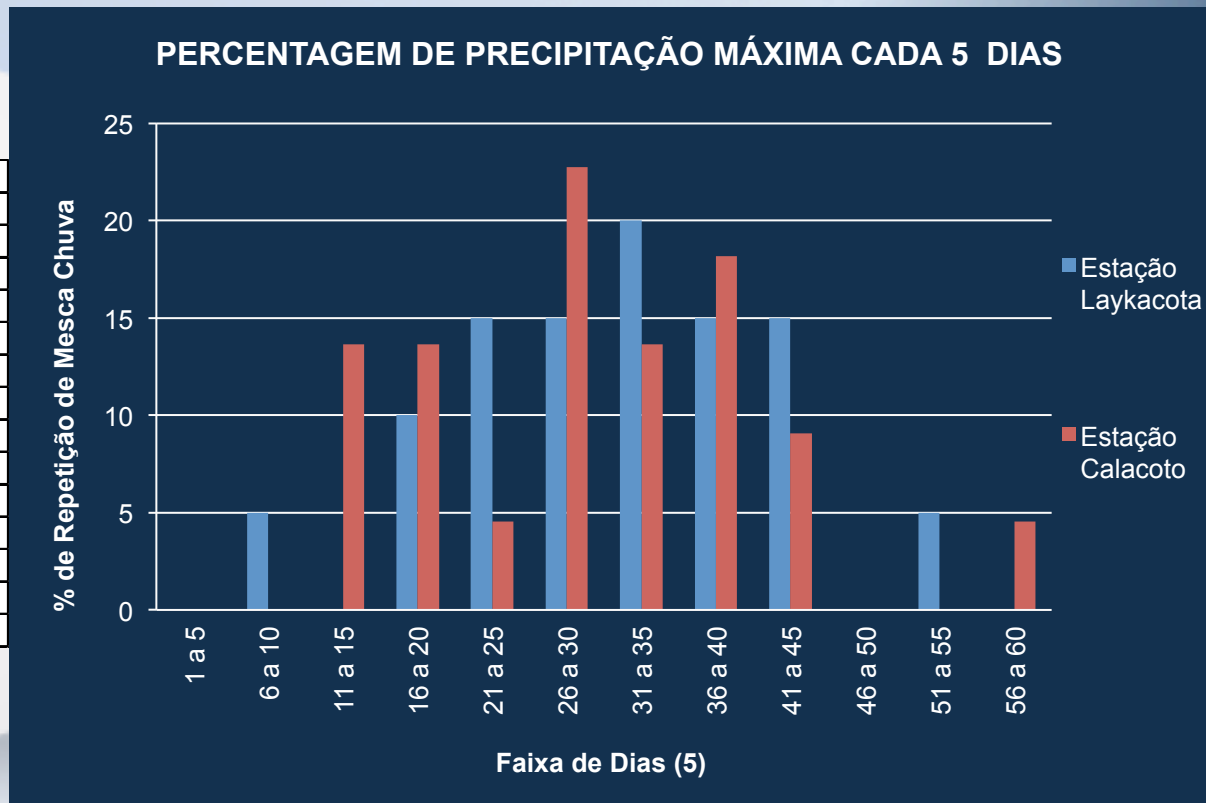
# VARIABILIDADE SAZONAL DE CHUVA

Estação Laykacota (Importados Brutos desde 01/1992 - 01/2012)



# VARIABILIDADE SAZONAL DE CHUVA

Dias	Estação Laykacota		Estação Calacoto	
	Vezes Repetidas	%	Vezes Repetidas	%
1 a 5	0	0	0	0
6 a 10	1	5	0	0
11 a 15	0	0	3	14
16 a 20	2	10	3	14
21 a 25	3	15	1	5
26 a 30	3	15	5	23
31 a 35	4	20	3	14
36 a 40	3	15	4	18
41 a 45	3	15	2	9
46 a 50	0	0	0	0
51 a 55	1	5	0	0
56 a 60	0	0	1	5
Total	20	100	22	100



# CONCLUSÃO

- Determinou as características fisiográficas da bacia em estudo aquele como área, perímetro, comprimento de canal principal.
- Determinou o Balanço Hídrico da bacia a partir dos valores corrigidos de evapotranspiração e o método do “Thornthwaite” da área de desastre.
- Determinou-se os tempos de retorno com base em dados diários de precipitação.





XI Simposio de Recursos Hidricos do Nordeste

# XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE



RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
MESTRADO

## ESTUDO FISIAGRÁFICO, BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DE CHUVA COMO SUBSÍDIO A APLICAÇÃO DE MODELOS DE RISCO DE DESLIZAMENTOS NA BACIA DO RIO LA PAZ - BOLIVIA

ALISON KATHERINE YAÑEZ GARCIA  
CARLOS RUBERTO FRAGOSO JUNIOR