

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

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

Alison Katherine Yañez Garcia¹; Carlos Ruberto Fragoso Junior²

RESUMO – Os perigos que induzem movimentos de massa e inundações em áreas povoadas ou assentamentos resultou na necessidade de estabelecer parâmetros que definem o nível de ameaça e metodologias gerais para estimar esses parâmetros no intuito de tomar medidas preventivas de risco. Os parâmetros que definem o nível de risco em um modelo hidrológico são conhecidos como modelo de ameaça de avaliação para altas precipitações, enchentes e deslizamentos de terra, que são geradas por cenários estocásticos referentes a intensidade da chuva, de acordo com as informações gravadas em uma bacia ou região de análise. O programa ArcGis foi utilizado para o estudo conjunto com uma análise fisiográfica de chuvas diárias e os tempos de retorno da mesma bacia do Rio La Paz (Bolívia). Seus resultados fornecem a primeira etapa de uma avaliação futura mais aprofundada da ameaça de riscos de fortes chuvas, inundações e escorregamentos, bem como a geração de mapas de risco.

ABSTRACT – The danger that induce mass movements and floods over populated areas or settlements, has resulted in the need to establish parameters that define the level of threat and general methodologies to estimate these parameters to take presentive measures of risk.

The parameters that define the level of danger in a hydrological model is known as threat assessment model for heavy rains, flood and landslide, wich are generated by stochastic scenarios of rainfall intensity, consistent with the information recorded in a watershed or region of analysis. ARCGIS software was selected for the physiographic studies conjunction with an analysis of daily rainfall and retun times from the same basin of the Rio La Paz – Bolívia. These results provide the first step in threat for heavy rains, flood and landslides on slopes as well as the generation of risk maps.

Palavras-Chave – Risco, Escorregamento, Chuva, Fenômenos Naturais.

1) Eng. Alison Katherine Yañez Garcia, Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento UFAL – CTEC, 96205049, ayanezgarcia@gmail.com

2) Professor. Carlos Ruberto Fragoso Júnior, Centro de Tecnología UFAL, Campus A.C. Simões, BR 101 Norte, Km14, Tabuleiro dos Martins, 57072970, 558232141605, crubertofj@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Na Bolívia movimentos de massa e inundações são recorrentes e causando danos em muitas oportunidades, esses danos podem ser materiais como perdas humanas. De acordo com cada desastre ocorrido pode ser mencionada uma série de riscos esperados, aqueles que podem ser de baixo impacto, porém há outros que exigem mais tempo para assimilação e recuperação de ativos. 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.

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 em uma base consistente de dados climáticos e hidrológicos, e estudos abrangentes de topografia, e de tipo de solo com boa qualidade são necessários para a análise desses fenômenos. Na maioria dos casos os estudos se encontram em pequena escala, entretanto são a única fonte de representação utilizada para a predição de fenômenos naturais de grande escala.

Globalmente, os modelos matemáticos foram desenvolvidos para auxiliar na identificação de áreas de risco, devido a movimentos de massa. Geração de modelos hidrológicos e a delimitação da topografia para deslizamentos podem ser obtidos por programas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (Montgomery e Dietrich, 1998), os parâmetros mecânicos e físicos utilizam da relação topográfica e hidrológica, baseando-se em sistemas de mapeamento com suscetíveis a deslizamentos de terra, integrando o banco de dado em formato vetorial ou raster, fornecendo características fisiográficas e dos valores de susceptibilidade de deslizamentos em cada pixel, podendo prever áreas instáveis as movimentos de massa.

Neste estudo ocorreu na sub-bacia do Rio La Paz, na cidade de La Paz (Bolívia), geograficamente localizado dentro da Bacia Amazônica compartilhados com a República Federativa do Brasil.

Devido ao desastre "Mega-Deslizamiento" gerado pelo fortes precipitações, houve 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: Valle de Las Flores, Pampahasi Bajo e Central, Santa Rosa de Callapa, Kupini, Kupini II, Callapa, 23 de Marzo e Cerveceria (Figura 1) e afetando mais de 5000 pessoas além da produção agropecuária.



Figura 1 – "Mega-Deslizamiento" - Cidade de La Paz, Barrios Valle de Las Flores, Pampahasi Bajo y Central, Santa Rosa de Callapa, Kupini, Kupini II, Callapa, 23 de Marzo de Cervejaria.

METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia se encontra abaixo para um melhor entendimento (Figura 2).

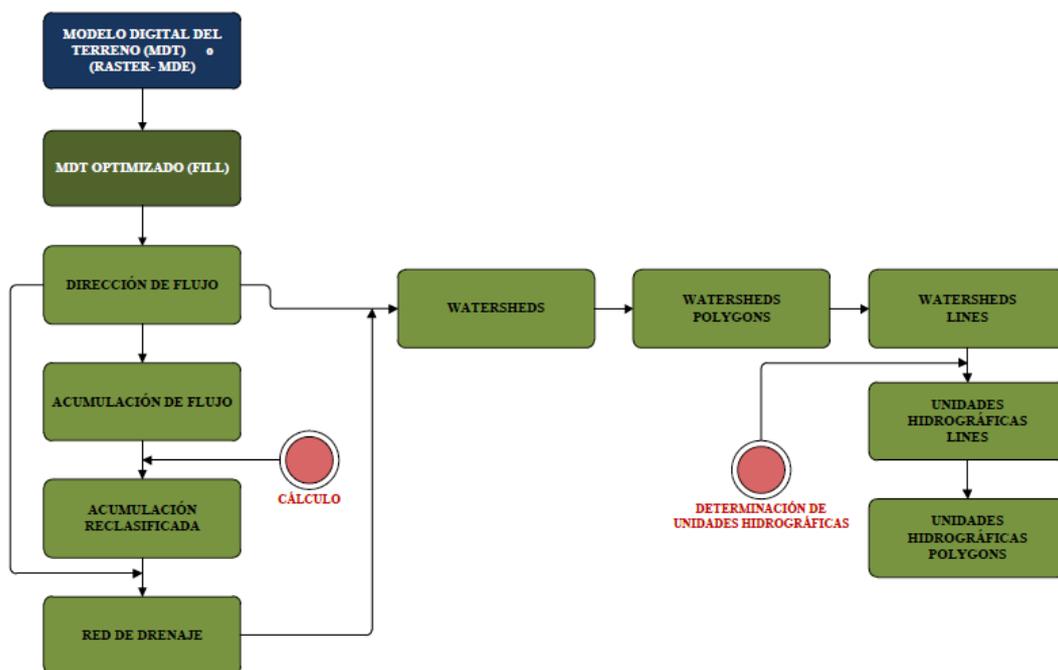


Figura 2 – Fluxograma - Metodologia de Trabalho da Primeira Parte

A primeira instância deste trabalho baseou-se nos parâmetros fisiográficas da bacia do Rio La Paz, esses parâmetros foram obtidos a partir dos valores gerados pelo ArcGis, através de um Modelo Digital de Elevação (MDE) ou arquivo RASTER considerado este como base para o desenvolvimento de todo o projeto.

A partir do arquivo base é gerada uma estrutura numérica de dados que representam a distribuição espacial da uma variável quantitativa contínua, neste estudo a variável representativa é a diferença de altitudes ou altura do terreno chamada Modelo de Elevação Digital (MDE), a partir deste MDE é agora possível caracterizar a superfície e, sobretudo delinear o estudo de bacias hidrográficas.

O rio em estudo tem por nome Chujllumani, pertence á 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 km² (Figura 3). A área de estudo é determinada em conformidade.

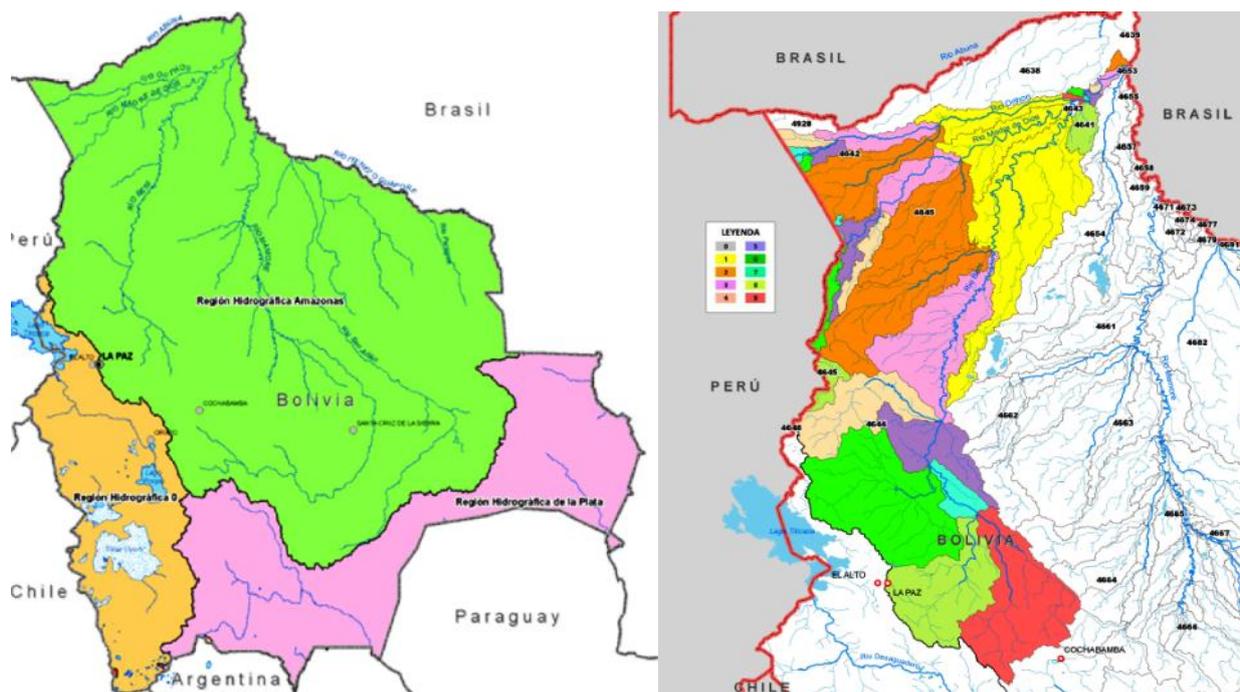


Figura 3 – Região Hidrográfica do Amazonas - Bacia do Rio Beni

Dentro da bacia do rio Beni tem-se conformada a Sub-Bacia do Rio La Paz, que é a área declarada de risco de desastres produzidos em 26 de fevereiro de 2011 (Figura 4).



Figura 4 – Área do Estudo - "Mega-Deslizamiento"

A partir desses mapas obtemos as coordenadas da sub-bacia do Rio La Paz utilizado para a respectiva georreferenciação.

PRE-PROCESSAMENTO

Criando SRTM-Mosaico

Para criar o mosaico foi feito a preenchimento de todos os Arquivos SRTM na área, neste caso, foram baixados 48 blocos SRTM (Figura 5) que são procesados como um único arquivo, um "Mosaico".

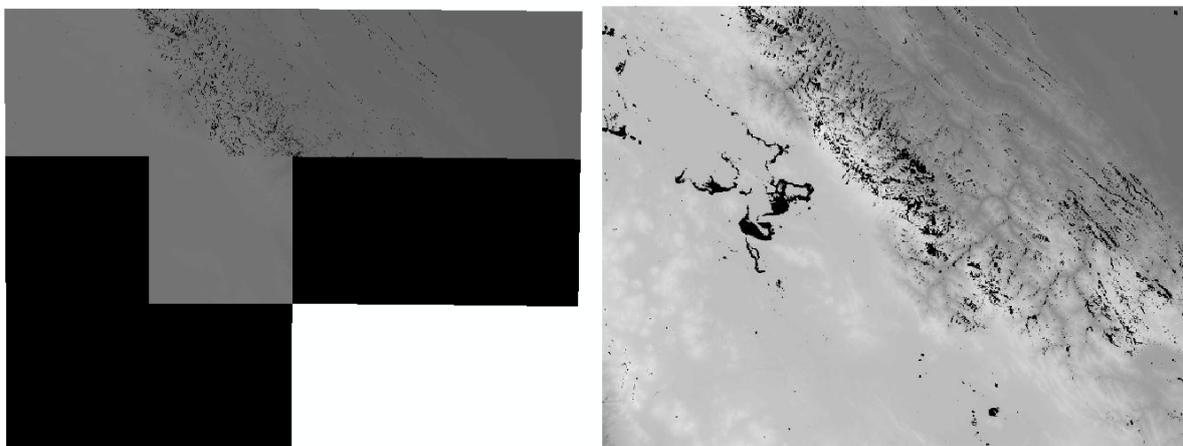


Figura 5 – Geração de Mosaico - Obtenção de SRTM <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

APLICAÇÃO ArcHydro

Para efeitos hidrológicos da bacia, foi realizada através de "Mosaico" um preenchimento de falhas de depressão do solo (Figura 6).

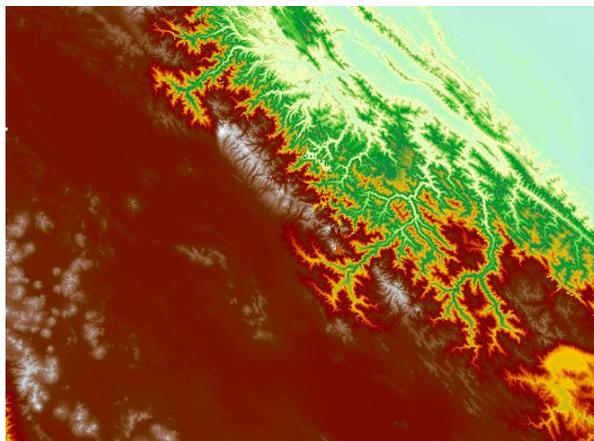


Figura 6 – MDE – WGS1984 Z19S

O passo seguinte foi constuir a direcção do fluxo existente (Figura 7) e acumulação de fluxo (Figura 8) na bacia.

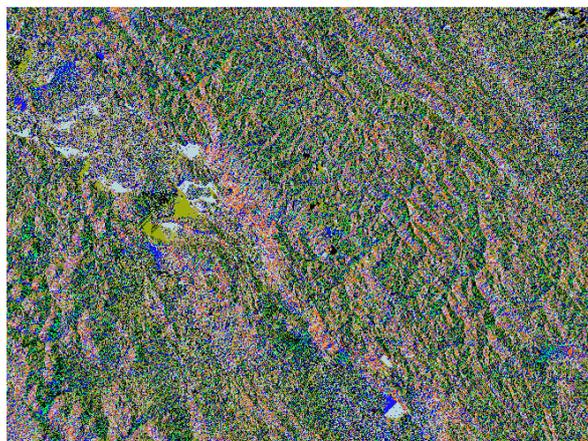


Figura 7 – Direcção do fluxo existente



Figura 8 – Acumulação de fluxo na bacia

Por conseguinte, a geração é feita áreas de Drenagem (captação) ou "bacias" (Figura 9). Este proceso é para determinar as áreas de Drenagem ou bacias definem os criterios para sistema de drenagem ou para sistema de Pfafstetter, com base na informação já obtido acima, de Gestão de informação e de acumulação de fluxo.

Vale resaltar que a bacia hidrográfica é um termo deifinido como a área na qual a água escoa para um mesmo destino final. Outros termos utilizados para bacia hidrográfica são bacia de drenagem ou zona de contribuição. O limite entre duas bacias é conhecido como limite de drenagem.

Para o presente estudo, tem sido utilizado informações do projeto HydroSHED, disponível na Internet, esta informação tem uma resolução espacial de 3" segundos de arco (90 metros) dando uma boa qualidade ao estudo.

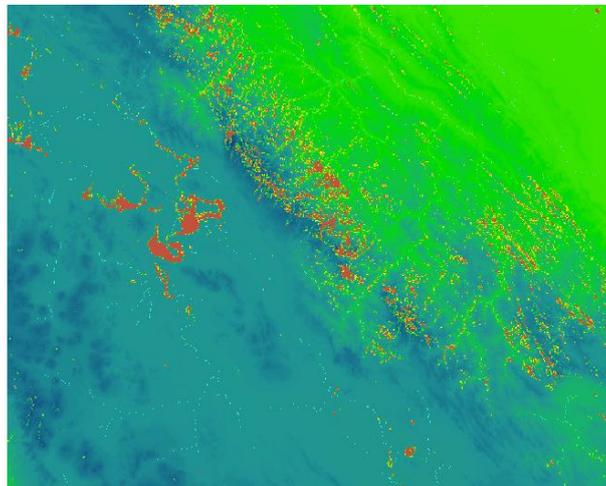


Figura 9 – Rede de Drenagem (Stream Segmentation)

A seguir define-se as redes individuais de fluxo, através da segmentação de fluxo (Figura 10). Nota-se que a cor dos fluxos varia de acordo com uma série de intervalos entre 0 e 1, a mais forte de cor indica que são fluidos pertencentes a categoria 1, representándoos tributários principais e o menos cor pertencente ao intervalo 0 representando os afluentes secundários. Este passo é importante porque de acordó com este resultado, podemos ver algumas estatísticas de precipitação máxima e mínima e inundações.

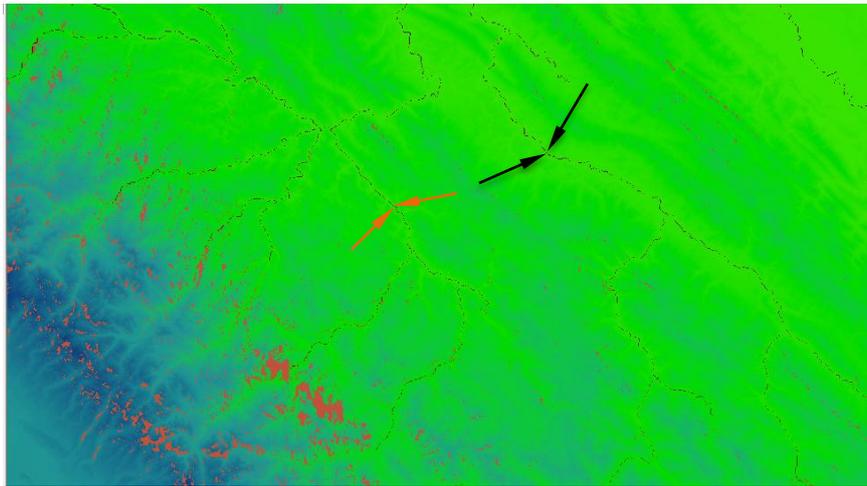


Figura 10 – Rede de Drenagem (Stream Delimitation)

Abaixo são determinados MiniBacias, este processo é o primeira em determinar as unidades hidrográficas e em seguida convertê-los em vetor polígono formato vetor (Figura 11).

Em alguns casos, este processo pode ser simples ou direto, no entanto, de acordo com a complexidade e a quantidade de rios pretende definir de uma vez, possivelmente requerendo uma conversão para a forma linear, isto é, ir de polígonos para linhas, com que a questão será mais fácil e mais rápido. E então reconverter polígono tipo linear, assim estará pronto para a próxima tabela de atributos para o processo de enchimento.

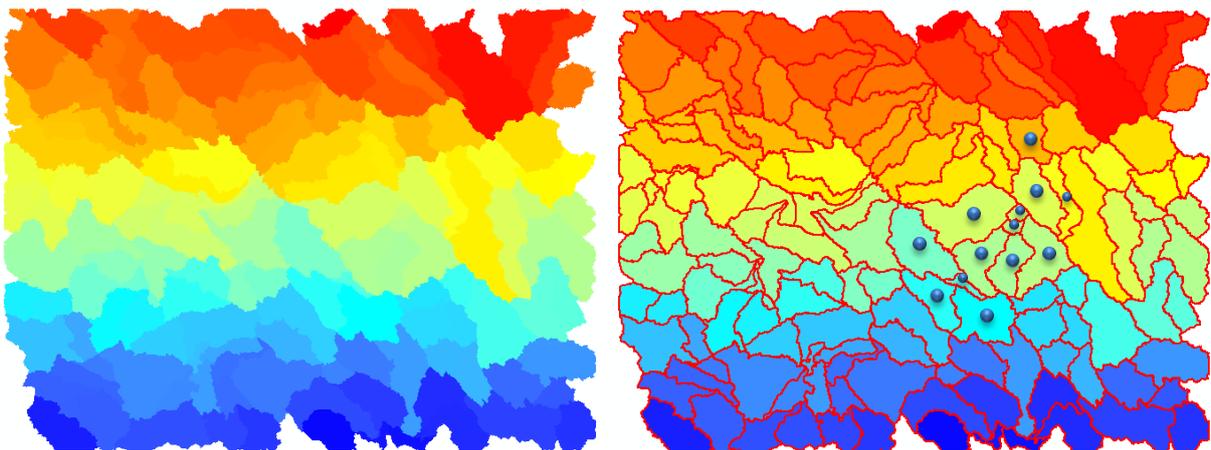


Figura 11 – Geração e Transformação de MiniBacias em arquivos vetoriais Shapefile (os pontos azuis são a área em estudo)

O próximo passo é transformar as redes de drenagem que estão em formato raster para shapefile. Minibacias, com toda esta informação serão geradas e delimitação da bacia de captação ou bacia (Figura 12).

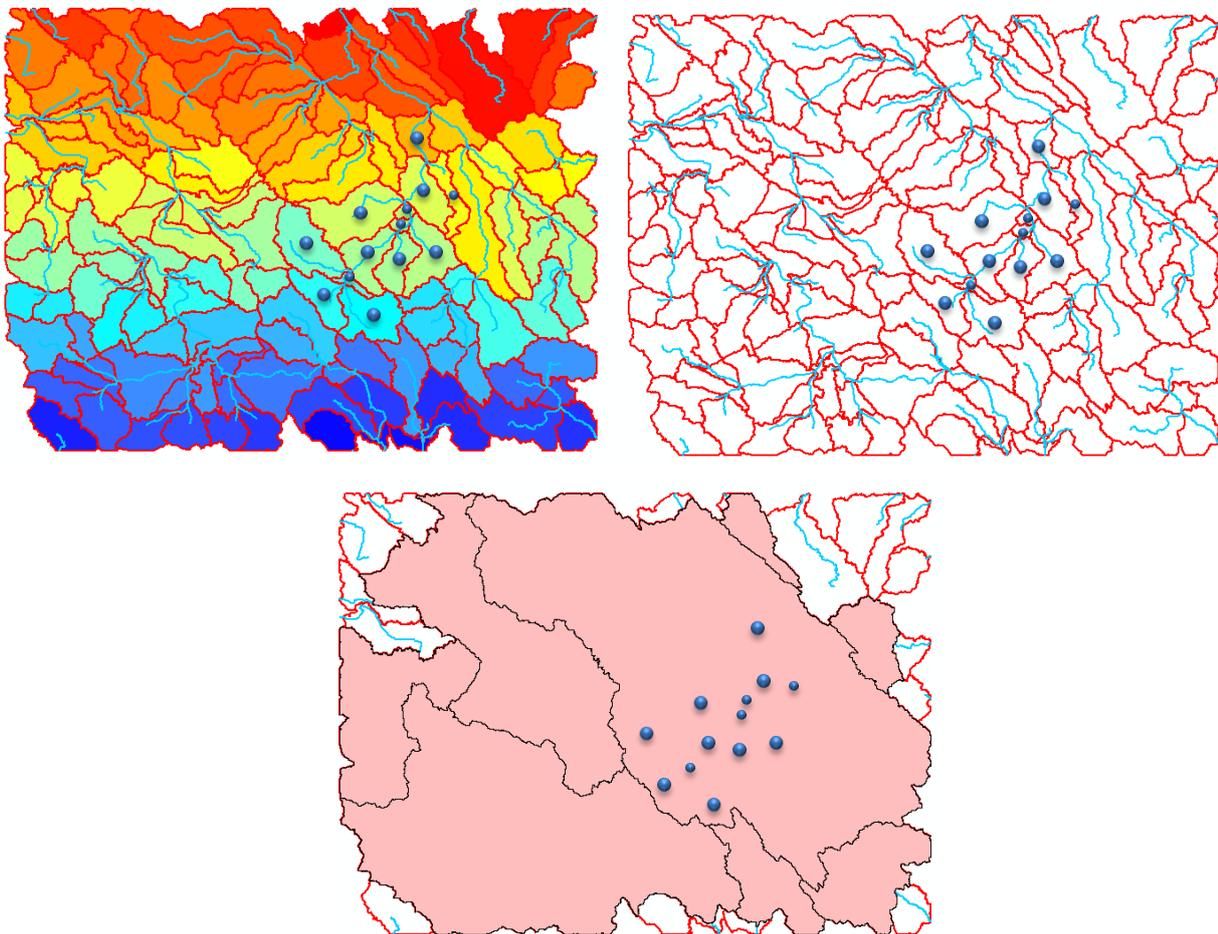


Figura 12 – Geração de drenagem introduzido em arquivos vetoriais em shapefile do minibacias e geração de bacias hidrográficas (os pontos azuis são da área em estudo)

Em seguida, os pontos são definidos para a bacia de drenagem, esta geração vai ajudar na determinação do "Sistema de Descarga" das bacias hidrográficas, este parâmetro pode determinar o comprimento do canal (Figura 13).

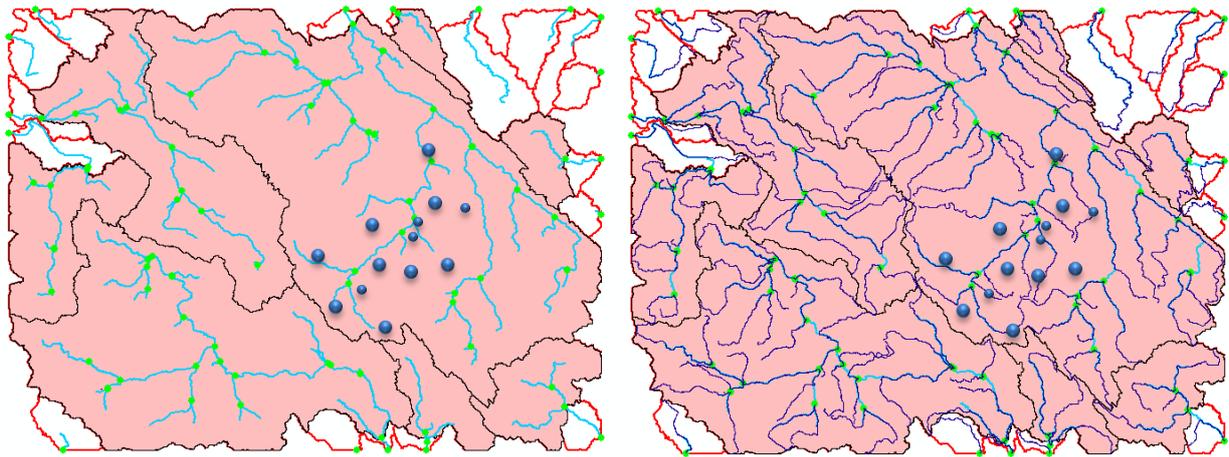


Figura 13 – Geração de pontos de drenagem e caminhos mais longos na vazão do rio (os pontos azuis são da área em estudo)

Tendo já obtido o modelo hidrográfico, passamos a obter valores e cálculos que permitirão o desenvolvimento futuro de modelos de ameaças de risco. Assim, temos por meio da ação "Watershed" (Figura 14) os valores de perímetro, área da bacia e através de "LongesFlowPath" obtêm-se o comprimento do canal principal.

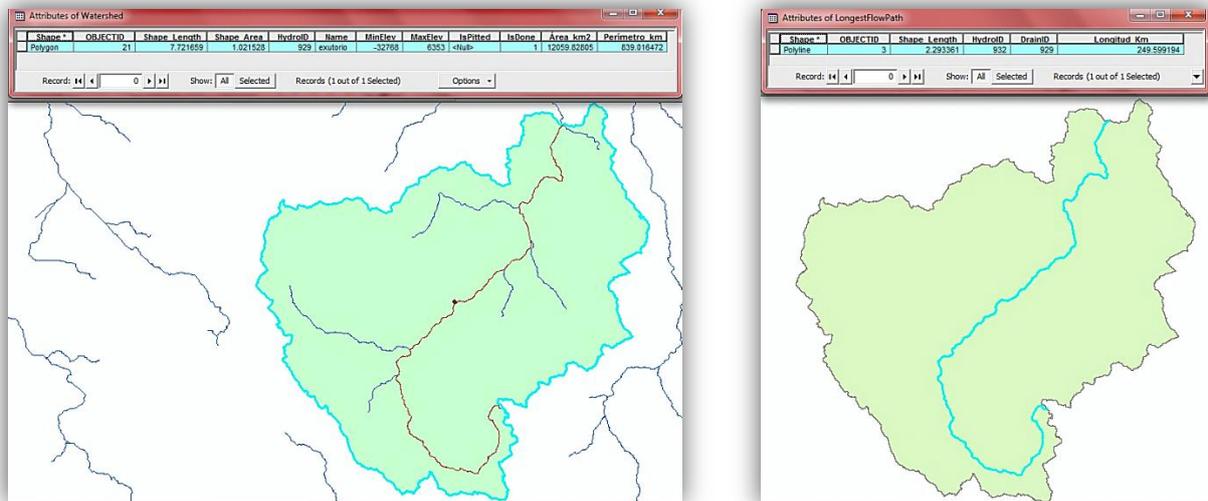


Figura 14 – Obtenção dos resultados por meio de "Watershed" e "LongesFlowPath" gerado para a bacia em estudo

Tabela 1 – Valores obtidos no ARCGIS

Bacia do Rio La Paz	Area (km)	Perimetro (km)	Comprimento do Rio (km)	Diferencia de Altitude (m)
	12059.82805	839.01647	249.59919	1687.30797

Para determinar caracterização fisiográfica da bacia em estudo, apresentamos as seguintes equações:

a) Declive Equivalente o Media

$$I_{eq} = \frac{\Delta H}{L} \text{ (m/Km)} \quad (1)$$

b) Tempo de Concentração

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385} \text{ (min)} \quad (2)$$

c) Fator de Forma

$$I_c = \frac{A}{L^2} \text{ (adimensional)} \quad (3)$$

d) Índice de Compacidade

$$K = \frac{0,28 * P}{A^{0,5}} \text{ (adimensional)} \quad (4)$$

Tabela 2 – Resultados dos cálculos

Características Fisiográficas				
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

Em resumo, o uso de cálculos futuros, determinou-se a área, perímetro, comprimento total do canal do rio e níveis mínimos com estes dados foi determinado em declive em primeira instância ou equivalente médio tempo de concentração para a bacia do fator de forma e índice de compacidade.

Os resultados deste cálculo, as características fisiográficas, fornecem a base para a delimitação e codificação das unidades hidrográficas a uma escala mais detalhada usando a topografia oficial. Da mesma forma, estas características, vistos na bacia, podem ser representadas

como um estímulo consistindo por precipitação, que a bacia responde como escoamento na sua saída.

Entre o estímulo e a resposta ocorrem diversos fenômenos que influenciam a relação com o outro, e que são controlados por essas características e de urbanização. Essas características são classificadas em dois tipos, uma que controla os fenômenos mencionados, os quais determinam o volume de escoamento, tais como área da bacia e tipo de solo, e aqueles que condicionam a velocidade de resposta, como a ordem dos córregos da bacia, a inclinação e canais da mesma. Após tem-se um análise de precipitação para um estudo mais aprofundado do escoamento.

Como um segundo passo neste estudo vai determinar-se a evapotranspiração e, finalmente, o máximo evento de chuva. Com a determinação das precipitações máxima pode se envolver uma relação entre a intensidade da precipitação (ou profundidade), a duração e a frequência ou período de retorno adequada para trabalho do sitio, para isto, existem curvas padrão de intensidade-duração-frequência (IDF) a ser utilizada e realizada no segundo estudo.

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O cálculo a seguir, Bacia do Balanço Hídrico, é a partir dos valores corrigidos de evapotranspiração, envolvendo a precipitação mensal média de 10 anos registrados com uma única estação. Processo de cálculo utilizado para fazer o balanço hídrico é a partir do método do “Thornthwaite” que é aplicável no calendário agrícola com previsão de pequenas barragens ou horário de irrigação.

O respectivo projeto tem as seguintes coordenadas de referência: Latitude Sul 16°30'17'' e Longitude Oeste 68°07'24'', deve ser clarificado que os cálculos serão apenas para a área afetada, ou seja, com o "Mega-Deslizamiento" que é a nossa área de interesse e não assim toda a área da bacia, portanto, os dados considerados para o cálculo são da precipitação e temperatura média da única estação fixa no local. A superfície a irrigar tem uma área de 140 (Ha), que é valor igual a 1.400,000 m², na referida zona tem-se pastagens e sua profundidade radicular é de 25-30 cm.

Os dados meteorológicos foram obtidos do “Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia” – Unidade de Previsão – La Paz (Bolivia).

Tabela 3 – 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

Tabela 4 – 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	

Tabela 5 – 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

Para determinar o balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite, é uma equação utilizada para estimar a evapotranspiração potencial quando há poucos dados disponíveis, a mesma que faz cálculos em intervalos de tempo a partir de dados mensais de temperatura. A equação geral que regula o método mostrado abaixo.

$$E = 16 * \left[\frac{10+T}{I} \right]^a \quad (5)$$

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

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left[\frac{T_j}{5} \right]^{1,514} \quad (6)$$

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

Onde:

j É cada um dos doze meses do ano

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

Tabela 6 – Cálculo do Balanço Hídrico – Área de Estudo “MegaDeslizamiento”

															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				
	nºdias mes	31	28.25	31	30	31	30	31	31	30	31	30	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				
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				
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	7.20	3.60				
n	Escoamento total	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	7.2	3.6				
o	Deficit diario mm/dia		0.71	0.10	0.84	0.88	1.09	1.18	0.79	1.06	1.00	0.50	0.81	0.57				
p	Q (m3/s) neto a derivar		0.011	0.002	0.014	0.014	0.018	0.019	0.013	0.017	0.016	0.008	0.013	0.009				
q	Q (m3/s) bruto a derivar		0.023	0.003	0.027	0.029	0.035	0.038	0.026	0.034	0.033	0.016	0.026	0.018				

O gráfico obtido a partir dos resultados de evapotranspiração potencial, real e precipitação (Figura 15) mostra que existe um défice de água a ser fornecida para gerar o equilíbrio da bacia. No entanto, deve notar-se que estes resultados baseiam-se em um registo histórico dos últimos 10 anos, que nos dá como resultado uma bacia seca, mas no estudo a fim de ter mais informações do comportamento da bacia será considerado um maior registo de dados.

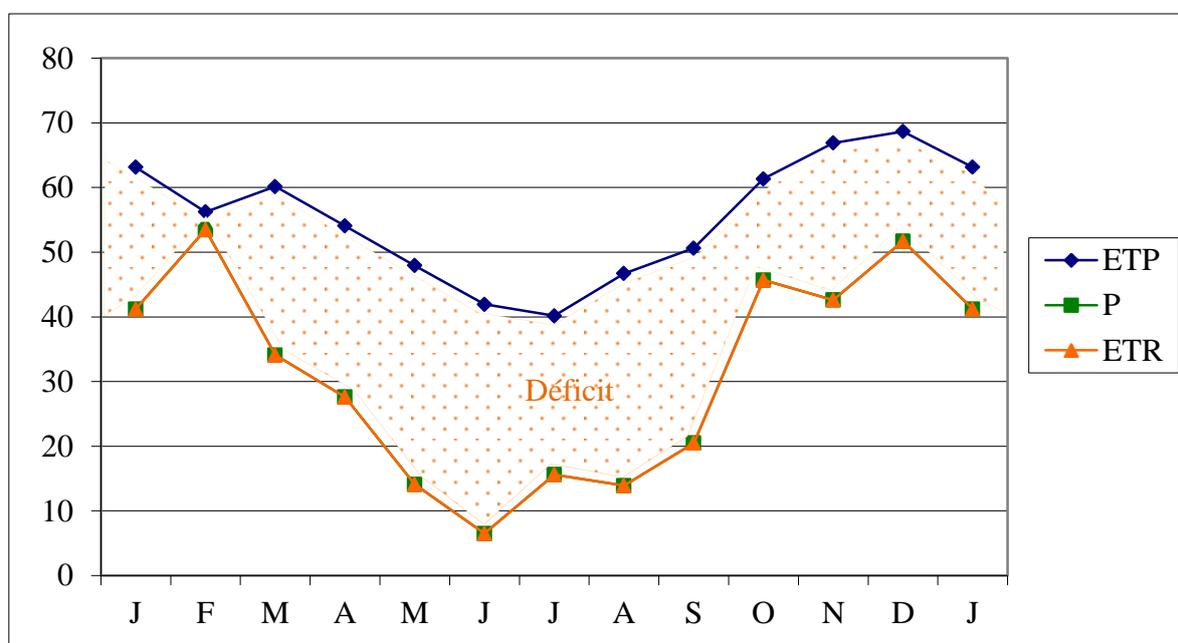


Figura 15 – ETP, P e ETR em função do tempo

Para fins de corroboração é determinado através das seguintes equações a comprovação seguinte para validar o método de Thornthwaite:

$$\sum \text{Precipitaciones} = \sum \text{ETR} + \sum \text{Excedentes} \quad (8)$$

$$367 = 367 + 0 \rightarrow \text{Cumpre!}$$

$$\sum \text{ETP} - \sum \text{ETR} = \sum \text{Déficits} \quad (9)$$

$$658 - 367 = 291 \rightarrow \text{Cumpre!}$$

VARIABILIDADE SAZONAL DE CHUVA

Para a realização da série de precipitação diária, utilizou-se a base de dados de duas estações, cada uma com 20 anos de registro. Os gráficos para determinar o máximo de precipitação foram feitas no programa de Office (Microsoft Excel) já que para poder trocar os mesmos no formato de Access deve-se primeiro realizar uma limpeza de dados e preencher essas falhas. Esse tratamento é deixado para estudos posteriores da bacia do mesmo usando outro programa chamado Hydraccess cuja bondade para além do acima descrito é avaliar a qualidade e consistência das informações por meio de vetores regionais. Primeiro fizemos um gráfico que pode exibir a precipitação máxima diária por um ano respectivo, neste caso foi o ano 1992 (Figura 16).

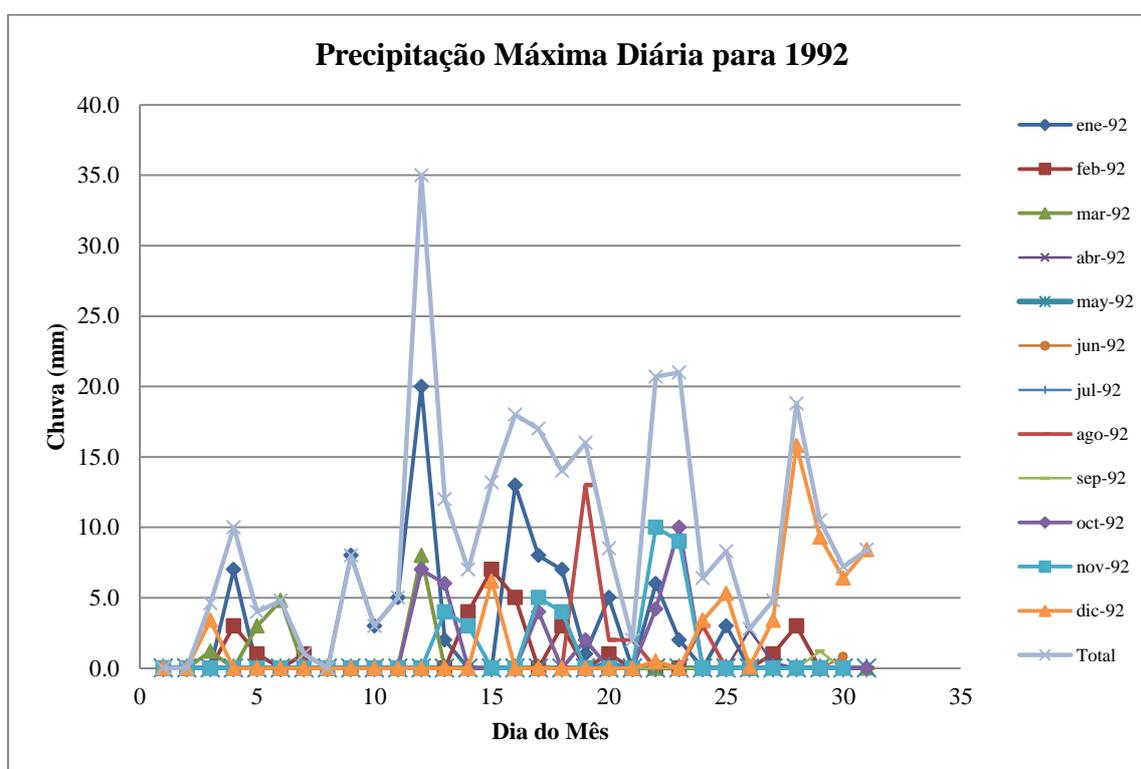


Figura 16 – Precipitação Máxima Diária para Ano 1992

O gráfico mostra claramente que os meses de período de máxima precipitação são Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro.

Análise foi realizada com 20 anos de registros (Figura 17), pelo qual se pode observar a precipitação máxima a cada ano e o período de retorno.

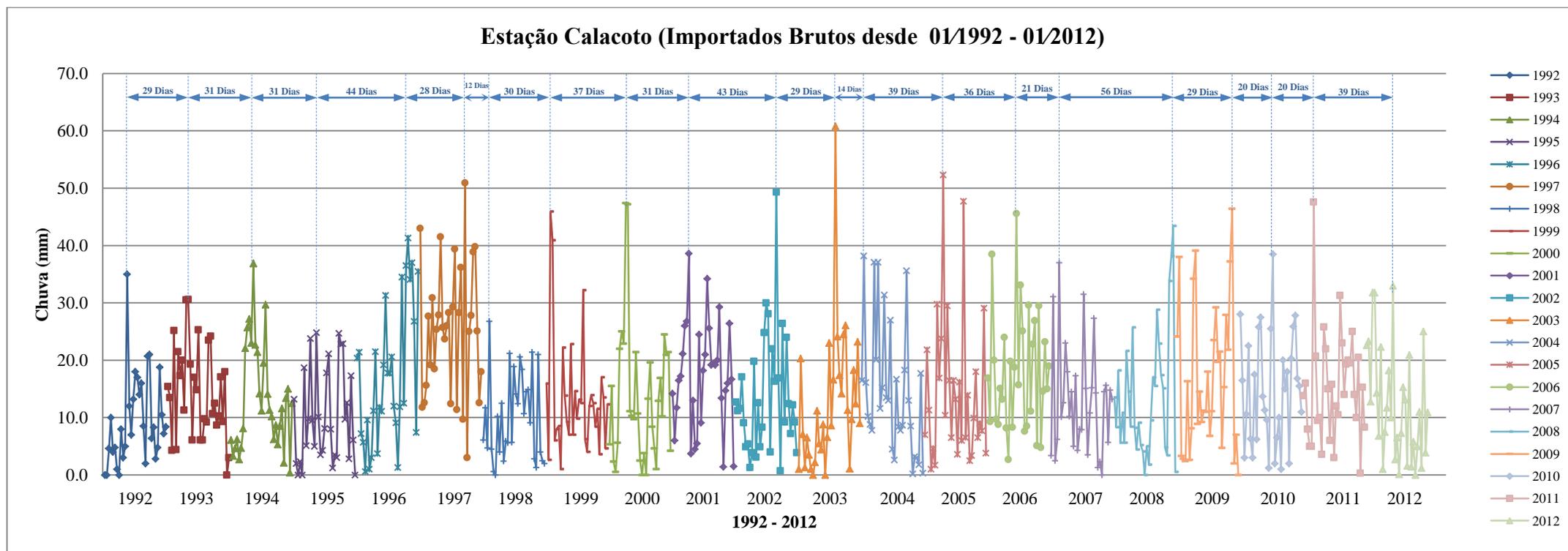


Figura 17 – Precipitação Máxima Diária desde 1992 até 2012 – Estação Calacoto

O gráfico mostra que a maioria das precipitações máximas que ocorrem tem uma altura acima de 30 mm, sendo apenas duas quais são abaixo deste parâmetro, o que poderia ser utilizado como valor padrão para estudos adicionais de escoamento.

O seguinte gráfico gerado (Figura 18) mostra as precipitações máximas para a Estação Laykacota, como passo anterior com 20 anos de registros, determinando o valor máximo para cada ano e sua respectiva ocorrência.

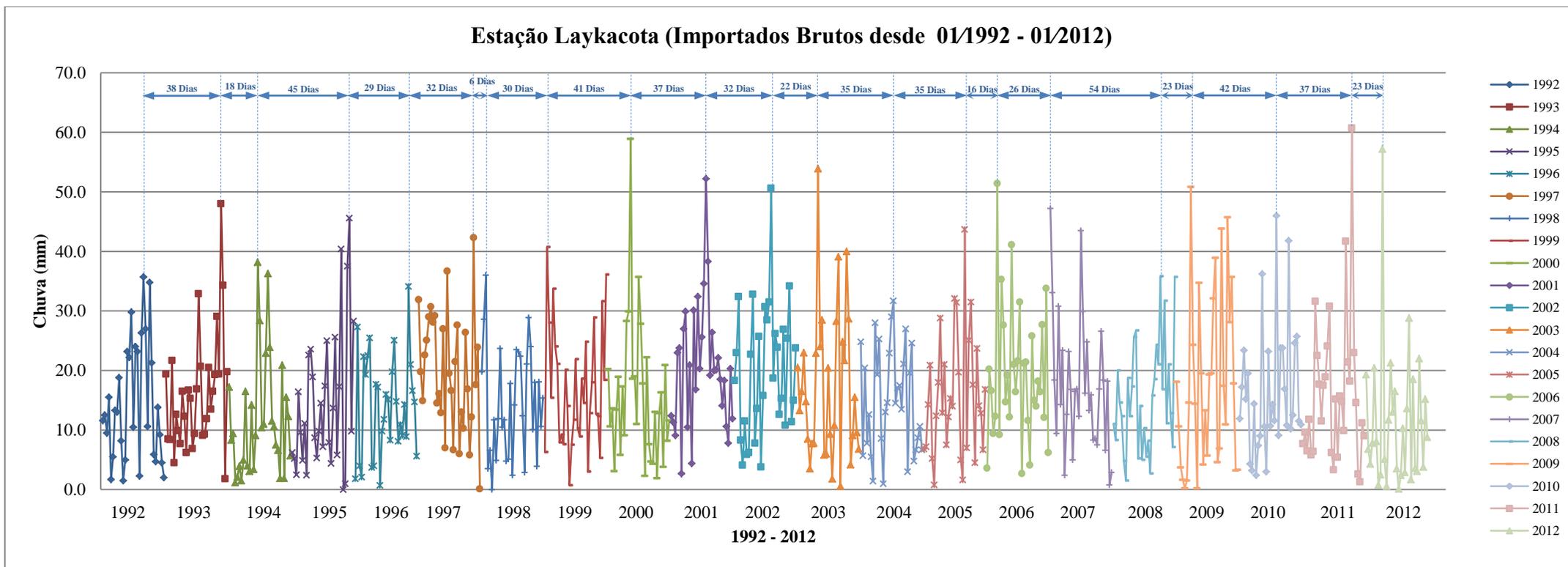


Figura 18 – Precipitação Máxima Diária desde 1992 ate 2012 – Estação Laykacota

Abaixo, foi realizada um análise estadístico de precipitação máximas das as duas estações, Laykacota e Calacoto (Tabela 7 e Figura 19) com base em os análises já obtidos de chuvas diárias em um registro de dados de 20 anos. O gráfico mostra uma análise de repetição de precipitação máxima com um tempo de retorno de cinco dias para 20 anos, o maior percentual encontrasse os dias 25 a 45, ou seja, durante os 20 anos de registros uma mesma chuva foi repetida um número de vezes determinado.

Gráfico nos ajuda a determinar o tempo de retorno com base na precipitação máxima em um determinado dia de um ano especifica desde 1992 ate 2012 e assim fazer a prospecção de prevenção de riscos.

Tabela 7 – Percentagem de Precipitação Máxima cada cinco dias

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

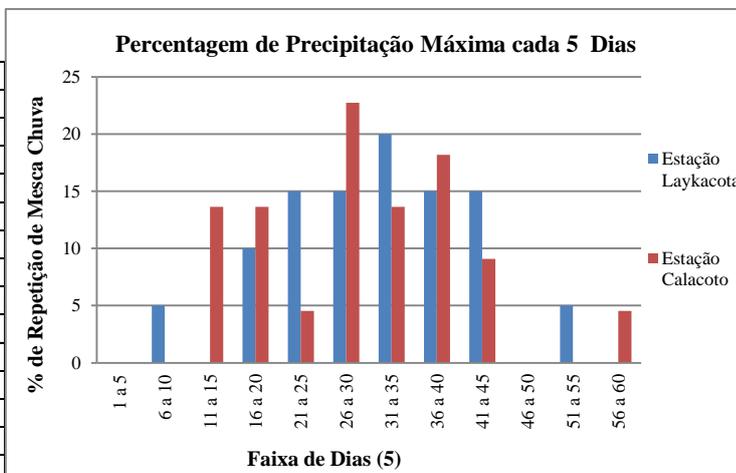


Figura 19 – Percentagem de Precipitação Máxima cada cinco

CONCLUSÃO

Este trabalho determinou as características fisiográficas da bacia em estudo aquele como área, perímetro, comprimento de canal principal, também se determinou a evapotranspiração da área de desastre e os tempos de retorno com base em dados diários de precipitação, estes valores determinados são muito representativos, e será utilizado para estudo posterior para a geração de modelos de risco, mapeamento de ameaças e impactos que podem ser utilizados por qualquer processo de decisão de projetos, com parâmetros de percentagens e fatores de segurança para garantir a utilidade de área.

BIBLIOGRAFIA

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y AGUA EN BOLIVIA Y VICEMINISTERIO DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO (2010). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Bolivia, Tomo I y Tomo II, 500 p.

AGRADECIMENTOS

Com muito apreço ao meu Orientador Carlos Ruberto Fragoso Junior e os meus colegas do Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Benicio Monte e Erick Lima.