



CAIO GUERREIRO VALILA

**USO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS EM ESTUDOS
HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE POUSO ALEGRE – MG: UM
ESTUDO DE CASO**

INCONFIDENTES - MG

2014

CAIO GUERREIRO VALILA

**USO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS EM ESTUDOS
HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE POUSO ALEGRE – MG: UM
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do Curso de Graduação Tecnológica em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Inconfidentes, para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientador: Profº. Dsc. Miguel Angel Isaac Toledo del Pino

Co-orientador: Profº. Msc. Luiz Flávio Reis Fenandes

INCONFIDENTES - MG

2014

CAIO GUERREIRO VALILA

**USO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS EM ESTUDOS
HIDROLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE POUSO ALEGRE – MG: UM
ESTUDO DE CASO**

Data de aprovação: 05/11/2014

Orientador: Profº. Dr. Miguel Angel Isaac Toledo del Pino
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes

Co-orientador: Profº. Me. Luiz Flávio Reis Fernandes
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes

Profº. Me. Fabio Luiz Albaraci
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes

“Se você aceita a derrota é só isso que vai conseguir”

(Desafiando Gigantes)

“Dedico a meus heróis Irineu e Valéria”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela oportunidade e forças para concluir mais essa jornada.

Aos meus pais, Irineu e Valéria, pelo apoio, forças, coragem e educação que me ensinaram a ir atrás de meus sonhos e sempre estiveram a meu lado.

A minha irmã Michele por sempre me apoiar nas horas difíceis a quem devo muito em minha formação.

A meu avô Irineu, que infelizmente não está mais conosco, mas onde estiver sei que está feliz por mim.

A meus avós pelo carinho de sempre, apoio e por fazerem parte presente em mim educação.

A minha namorada Karla Tagliaferro, por sempre estar ao meu lado me apoiando e nunca me deixando desistir.

Ao meu Orientador Miguel Angel, por ter confiando em mim para o desenvolvimento desse trabalho, pela amizade e por sempre se fazer presente quando precisei, buscando assim melhorar cada vez mais esse trabalho.

Ao meu coorientador Luiz Flávio, pela amizade, ajuda com suas sugestões e ideias e por aceitar o convite em fazer parte dessa etapa em minha vida.

A Minha cunhada Katia Tagliaferro, pela força e por me ajudar na parte de exatas quando necessitei.

Ao meu mestre e amigo, Julio Viotti por sempre me ajudar nas horas mais difíceis, pelo apoio, força, coragem e por sempre confiar em mim.

A meus verdadeiros amigos, André Pfaffenbach, Ramon Gaitan, Henrique Oliveira, Filipe Peres, João Borges, Marcos Vinicius, Vitor Barbeiro, Henrique Milani, Victor Lopes, Renan Perego, Gabriel Perego, Diego Poit, Wellington Silva, Pedro Chiarini, Tayrine Brito, Jéssica Luana e Tais Landim por mostrarem o verdadeiro significado da amizade, por sempre me ajudarem quando precisei e pelos vários momentos juntos.

Aos meus colegas de classe em especial a Fernanda Mendes, por sempre me ajudar nas diversas tarefas do curso.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1.INTRODUÇÃO	1
2.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	3
2.1. CONCEITOS E RELEVÂNCIA DA ÁGUA PARA A SOCIEDADE	3
2.2. ÁGUA DO PONTO DE VISTA LEGAL	Erro! Indicador não definido.
2.3. POLUIÇÃO DA ÁGUA.....	Erro! Indicador não definido.
2.4. CICLO HIDROLÓGICO	5
2.5. AS CHUVAS OU PRECIPITAÇÃO	6
2.5.1. Processo de formação das chuvas	6
2.5.2. Classificação das chuvas	7
2.5.3. Fatores antrópicos que influenciam na ocorrência das chuvas	9
2.6. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIAS DE CHUVAS	10
2.7. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.....	11
2.7.1. Gama	12
2.7.2. Gumbel.....	13
2.7.3. Weibull.....	14
2.7.4. Log-normal com 2 parâmetros	14
2.7.5. Log-normal com 3 parâmetros	15
3.MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. ÁREA DE ESTUDO	17
3.2. BANCO DE DADOS	17
3.3. DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS	20
3.3.1. Frequência observada	20
3.4. TESTE ESTATÍSTICO	20
3.5. TEMPO DE RETORNO	21
3.6. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.....	21
3.6.1. Gumbel.....	22
3.6.2. Log-normal com 2 parâmetros	22

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.CONCLUSÕES	30
6.REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO	31
7.ANEXOS.....	36

RESUMO

Sem dúvidas, uma das formas mais claras de promover a conscientização da conservação da água em relação as necessidade de consumo da sociedade é através da chuva, visto que a ocorrência ou não de chuvas tem o poder de sensibilizar diretamente a população. Analisar a ocorrência das chuvas vai além da busca da sensibilização populacional, pois através da obtenção de informações sobre os índices de pluviosidade é possível realizar planejamentos para um melhor desenvolvimento, seja no setor de energias, agropecuário, industrial entre outros. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Pouso Alegre – MG e verificar qual distribuição de probabilidade melhor se ajustou aos dados observados. Para realizar esta avaliação, foram utilizados de dados disponibilizados através do site oficial da Agência Nacional das Aguas junto do softwares hidroweb, onde foram coletados dados entre os anos de 1949 a 1999. Em relação a estatística utilizada foram utilizadas a distribuição através de dois modelos de distribuição, sendo elas Gumbel e Log-Normal os quais também serviram como base para cálculo do tempo de retorno (TR), e para avaliar a aderência das distribuições foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Concluiu-se ao final da observação e comparação dos dados que a distribuição de Log-Normal foi a que apresentou melhor ajuste.

Palavras-chave: pluviosidade, conservação, recurso hídrico.

ABSTRACT

Undoubtedly, one of the clearest ways to promote awareness of water conservation in relation to the consumption needs of society is through the rain, as the occurrence of rainfall has the power to directly raise awareness. To analyze the occurrence of rains goes beyond the pursuit of population awareness, because by obtaining information on the rainfall rates can be achieved planning for a better development, whether in the energy sector, agricultural, industrial and others. In this sense, the present study aimed to evaluate the distribution and probability of rain in Pouso Alegre city - MG, and which probability distribution best fit to the observed data. To perform this analysis was based on data made available through the official website of the National Agency of Waters with the HIDROWEB software, where data were collected between the years 1949-1999. Regarding the statistics used were used to distribution through two distribution models, and they Gumbel and Log-Normal which also served as the basis for calculating the return time (TR), and to assess the adherence of distributions test was used Kolmogorov-Smirnov. It was concluded at the end of the observation and comparison of data that the distribution of Log-Normal presented the best fit.

Keywords: rainfall, conservation, water resource.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade há tempos deixou de caminhar em um ritmo constante, afinal, nos últimos tempos pode-se considerar que o crescimento populacional junto às inovações tecnológicas tem se caracterizado pela velocidade de crescimento.

Contudo, ao longo da história permite-se notar que se iniciou uma preocupação com que diz respeito às formas de desenvolvimento da sociedade em relação ao meio ambiente, surgindo assim, o princípio de sustentabilidade, o qual é motivo de preocupação atual por todo o planeta, contudo, ainda apresenta-se como um desafio para as atuais e futuras gerações.

Quando se trata da busca da sustentabilidade, sem dúvidas um dos motivos de maior apreensão, são os recursos naturais. Entre estes, a água é a mais debatida na busca da conservação, uma vez que é um dos recursos essenciais para a vida na Terra e também devido ao fato de ser uma das maiores vítimas das atividades antrópicas no planeta.

Ainda, chama à atenção a necessidade de conservação da água no que diz respeito à distribuição da mesma em meio à população mundial, visto que a população é prolongada a cada dia e por outro lado, em muitos países a expectativa de vida é aumentada, conseqüentemente tem-se um maior número de pessoas para fazer uso de um volume único do recurso.

Sem dúvidas, uma das formas mais claras de promover a conscientização da conservação da água em relação às necessidades de consumo da sociedade é através da chuva, visto que a ocorrência ou não de chuvas tem o poder de sensibilizar diretamente a população.

Exemplo disso é a escassez de chuva na região sudeste que tem sido enfrentada neste ano de 2014, a qual ocasionou a maior seca do país dos últimos 50 anos (CETESB, 2014), assim impactando altamente o ritmo de vida dos brasileiros, afinal a ocorrência das chuvas não está ligada somente ao consumo da água na forma bruta dentro das residências, mas também reflete no setor econômico, especialmente em relação à alimentação.

Analisar a ocorrência das chuvas vai além da busca da sensibilização populacional, pois através da obtenção de informações sobre os índices de pluviosidade é possível realizar planejamentos para um melhor desenvolvimento, seja no setor de energias, agropecuário, industrial entre outros.

Sendo assim, em regiões onde o crescimento é evidente, é essencial o conhecimento das atividades pluviométricas locais, como é o caso do município de Pouso Alegre, localizado no sul do estado de Minas Gerais que se encontra em fase de desenvolvimento constante e notável, necessitando assim de informações para planejamento a fim de promover um crescimento sustentável.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição e estimar a probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Pouso Alegre – MG e verificar qual distribuição de probabilidade melhor se ajustaram aos dados observados.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. CONCEITOS E RELEVÂNCIA DA ÁGUA PARA A SOCIEDADE

Com o desenvolvimento do conhecimento científico, a água passou a ser entendida como uma substância cujas características se originavam a partir da associação de dois elementos: oxigênio e hidrogênio (Lopes et al., 2009).

A Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, define a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico, que pode ter usos múltiplos como consumo humano, produção de energia, transporte, lançamento de esgotos (Brasil, 1997).

Para caracterizar a água natural são utilizados diferentes termos, como potável, dura, branda entre outros, contudo os mais utilizados são água doce, as dos rios e lago etc, e a salgada, presente nos mares e oceanos (Souza, 2003).

No que diz respeito ao consumo humano de água, as principais preocupações estão relacionadas à água doce, a qual tem como principais fontes os lagos, rios, a umidade do solo e bacias de águas subterrâneas relativamente pouco profundas. A preocupação ainda se estende à parte aproveitável que é de apenas 200 mil km³ - menos de 1% de toda a água doce e menos de 0,01% de toda a água da Terra (Estado do Meio Ambiente e Retrospectivas, 2002).

Ainda, em relação à preocupação com o consumo de água, encontram-se os números dos principais consumidores de água do planeta, que encontram-se assim como apresentado na Figura 1 a seguir.

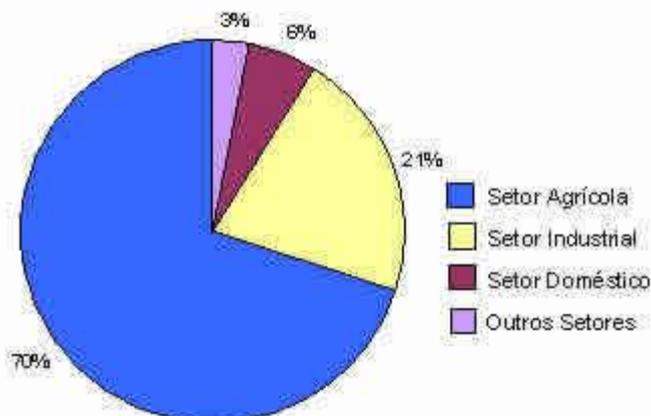


Figura 1 - Consumidores de água no Brasil.

FONTE: www.portalsaofrancisco.com.br

As inquietações relacionadas ao consumo da água não ficaram presas somente a debates de profissionais que se mostraram interessados pelo assunto, uma vez que a questão da água tomou proporções governamentais, sendo assim então motivo de sanções legais. Exemplo disso, está presente na Constituição Federal, onde no artigo 22, inciso IV está previsto que “compete privativamente à União legislar sobre as águas” (Brasil, 1988).

Também foi sancionada a Lei nº 9.433/1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Também como fruto das ações legislativas no que compete a água, foi sancionada a Lei nº 9.984/2000, regulamentada através do Decreto 3.692/2000, criou a Agência Nacional de Água (ANA) para atuar como responsável pelo gerenciamento do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2000).

No ano de 1986, por meio da Lei 6938/86 foi sancionada a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (Brasil, 1986).

Ainda entre as legislações pode ser mencionada a Resolução CONAMA 01/86, na qual o Conselho Nacional do Meio Ambiente (IBAMA), confere a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos

e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986).

Em 1999, o estado de Minas Gerais publicou a Lei 13199/99 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos além de dar outras providências no que diz respeito ao mesmo recurso no estado (Brasil, 1999).

Ainda no estado de Minas Gerais, destaca a Lei 15.190/2005 que dispõe sobre o Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais, criado pela Lei nº 13.194, de 29 de janeiro de 1999, e dá outras providências a qual foi atualizada pelas Leis Estaduais 16.315 de 10 de agosto de 2006 e 18.024 de 09 de janeiro de 2009 (Brasil, 2009).

2.2.CICLO HIDROLÓGICO

Na natureza, a água se encontra em uma contínua circulação, fenômeno conhecido como ciclo da água ou ciclo hidrológico. Tal é resumido pelo Ministério do Meio Ambiente (2008) como a evaporação da água dos rios, oceanos e das demais formas devido a ação dos raios solares, em sequência o vapor formado constitui nuvens que em condições adequadas condensam-se e precipitam-se na forma de chuva, neve ou granizo, assim parte desta água infiltra no solo, outra parte escorre pela superfície até os cursos de água ou regressa à atmosfera pela evaporação formando novas nuvens.

O ciclo hidrológico é o tema principal da hidrologia e envolve diversos processos hidrológicos, fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação, de que maneira ela interfere na dinâmica das bacias hidrográficas e qual é a sua importância para a manutenção destas (Balbinot et al., 2007).

De acordo com Carvalho e Silva (2009) a água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água. A água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos).

Segundo Allegre e Reis (1996) este ciclo da água constitui a grande fonte de vida à superfície terrestre: vida biológica, vida geológica. Este fenômeno pode ser observado na Figura 2 a seguir.

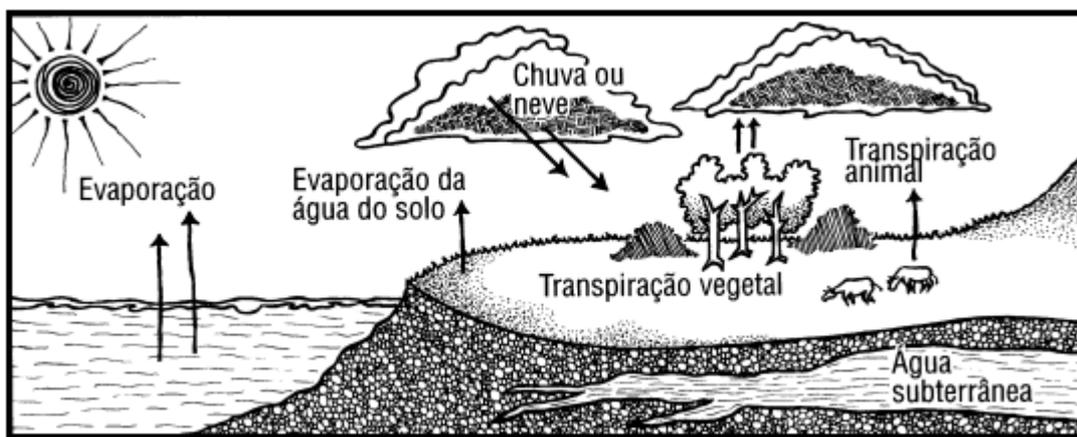


Figura 2- Ilustração do ciclo hidrológico.
Fonte: Google imagens.

2.3. PRECIPITAÇÃO

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (Silva, 2006).

A precipitação pluviométrica está entre os elementos meteorológicos mais importantes e influentes nas condições ambientais, em especial para a agricultura influenciando diretamente no desenvolvimento das culturas agrícolas e na produção final, logo merece ser estudada (Dallacort et al., 2008 citado por Moreira et al., 2010).

2.3.1. Processo de formação das precipitações

Como anteriormente mencionado quando se tratou do ciclo hidrológico, considera-se que a evaporação da água presente na superfície terrestre forma as nuvens, as quais precipitam, no entanto, apesar de todas as nuvens serem formadas por água, nem todas precipitam. Isso se explica devido ao fato de que algumas nuvens são formadas por gotículas muito pequenas, logo quando precipitam acabam evaporando antes mesmo de atingir a superfície da Terra (Santelha e Argelocci, 2009).

O acontecimento das chuvas não se prende somente ao fenômeno da evaporação, afinal está também ligada a outros fatores. Leite et al., (2010) em seus estudos apresenta que a ocorrência das chuvas está ligada intimamente ao processo de condensação, no entanto, o processo de condensação somente precipita quando facilitado pela presença de partículas ou moléculas, denominadas núcleo de condensação, onde se destacam o cloreto de sódio, produtos de combustão de enxofre e compostos de azoto.

Para a Silva (2006) para que as chuvas se aconteçam, é necessária a junção de um conjunto de elementos, sendo os mais importantes à umidade atmosférica, mecanismo de resfriamento de ar, presença de núcleos de condensação e o mecanismo de crescimento das gotas.

2.3.2. Classificação das precipitações

As chuvas podem ser classificadas de acordo com os processos que conduzem à sua formação, podendo ser segundo Leite et al., (2010):

Convectivas

Estas chuvas formam-se por processos de evaporação derivados da insolação, em que o ar úmido, formado nas camadas baixas da atmosfera, ascende às camadas altas, arrefecendo e dando origem à ocorrência de condensação e chuva. Este fenômeno é habitual durante o inverno, em zonas tropicais e em latitudes temperadas. Contudo, nestas mesmas regiões, podem existir fenômenos análogos, embora menos intensos, durante o verão, devido ao efeito da insolação. Este efeito é devido à produção de nuvens de desenvolvimento vertical que, na sua ascensão, passam por um processo de arrefecimento e podem originar tempestades.

O esquema das chuvas convectivas podem ser observado na Figura 3 a seguir.

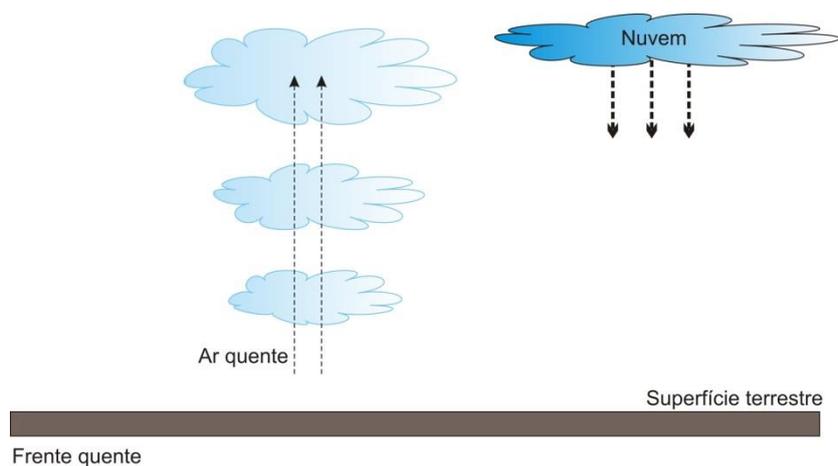


Figura 3 - Chuvas convectivas.

Orográficas

Este tipo de chuvas produz-se nas zonas montanhosas devido ao arrefecimento das massas de ar úmido que se elevam. Este arrefecimento acarreta a condensação e a posterior precipitação. Na Espanha, este é um fenómeno típico na cordilheira Cantábrica, a qual atua como uma barreira ao ar úmido proveniente do Atlântico, que faz com que existam zonas áridas por detrás dessa cadeia montanhosa. Para que se produza este tipo de chuvas, as montanhas devem ter uma altura superior a 1500 ou 2000 metros.

O esquema da chuva orográfica pode ser observadas na Figura 4 a seguir.

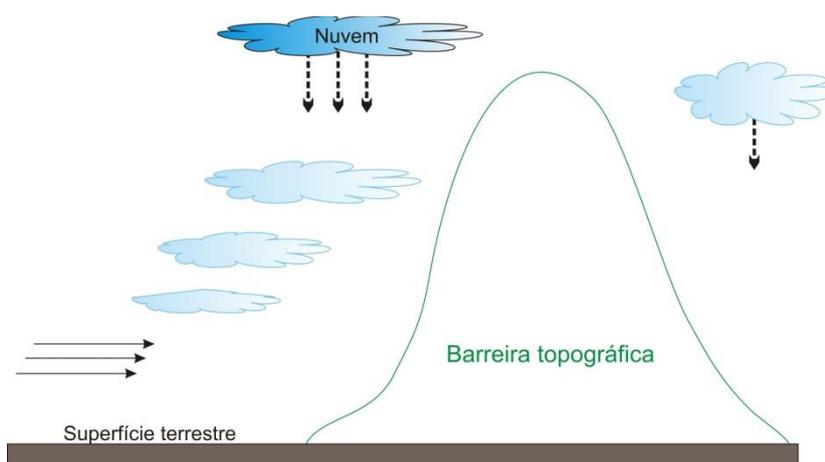


Figura 4 - Chuva orográfica.

Ciclônicas

Estas chuvas associam-se aos ciclones extra-tropicais ou tempestades e produzem chuvas generalizadas. Ocorrem no encontro de massas de ar de características distintas (ar quente + ar frio). São caracterizadas por serem contínuas, apresentarem intensidade baixa a moderada e abrangem grande área. Abaixo seguem as maneiras com que as frentes quentes e frentes frias se distribuem, originando a precipitação (chuva).

O esquema das chuvas ciclônicas podem ser observadas na Figura 5 a seguir.

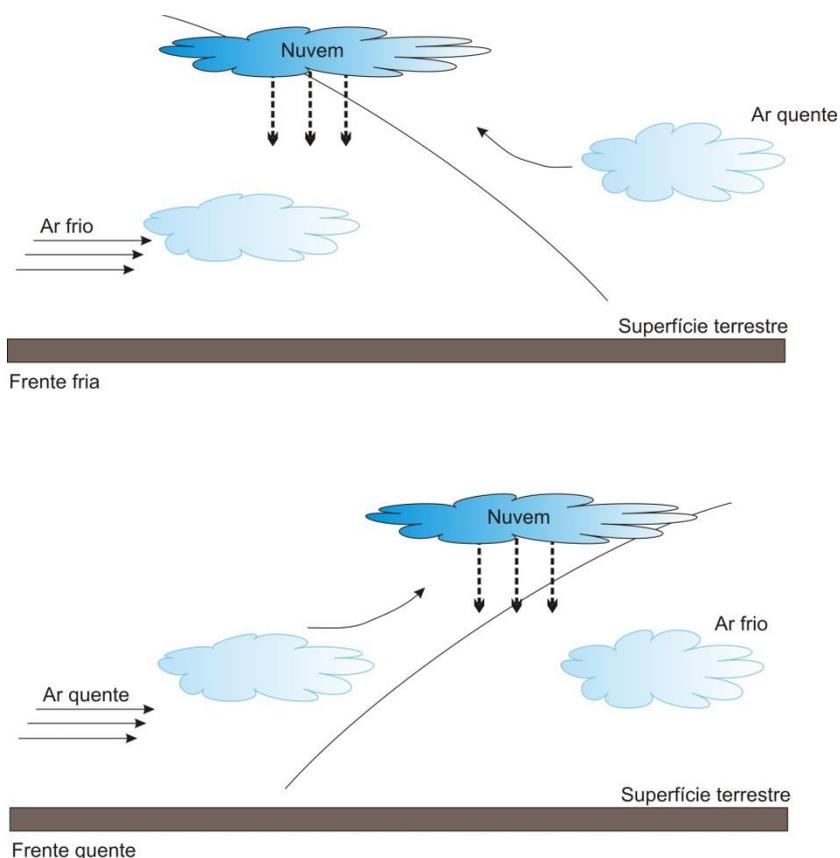


Figura 5 - Chuvas ciclônicas.

2.3.3. Fatores antrópicos que influenciam na ocorrência das chuvas

As atividades realizadas pelos seres humanos, são capazes de influenciar o meio como um todo, logo, não é diferente quando se trata das precipitações. De acordo com Lima et al., (2011) a mudança no regime de chuvas pode estar relacionada a diversos fatores, mas quando se trata de ações realizada pelos homens, destaca-se o

desmatamento, uma vez que a redução de área verde reduz a evapotranspiração local acarretando na redução da condensação.

Nobre (2011) menciona em seus estudos que o processo de desertificação dos solos, onde os solos deixam de possuir capacidade para assegurar qualquer tipo de vida também tem a capacidade de reduzir a evapotranspiração, conseqüentemente reduzindo a quantidade de chuvas no local. O mesmo autor afirma ainda que a mudança da ocorrência de chuvas para casos de chuvas intensas pode estar relacionada a longos processos de estiagem, visto que o processo de evaporação da água presente na superfície terrestre é mais rápido.

Segundo Souza et al., (2006) citado por Moreira et al., (2010) as quantidades relativas de precipitações, o volume, os regimes sazonais ou diários, a distribuição temporal e as intensidades de chuvas individuais, são algumas das características que afetam direta ou indiretamente as condições do ambiente.

No Brasil, o efeito de chuvas intensas e escassez são facilmente reconhecidos, tanto no campo quanto no meio urbano. No campo, pode-se considerar que as ocorrências de chuvas intensas ocasionam na perda de produtividade agrícola e pecuária, já no meio urbano, a frequência de inundações tem sido cada vez maior devido a falta de planejamento. Já a escassez de chuva no campo leva à perda da produtividade em áreas que não podem ser irrigadas e no meio urbano a influência está relacionada principalmente com a elevação dos preços, principalmente de alimentação (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2012).

2.4. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIAS DE CHUVAS

Água é essencial para os seres vivos e sendo as chuvas o grande repositório do equilíbrio hídrico é necessário de acordo com Silva (2010), conhecer as probabilidades de se obter quantidades de chuvas para a realização de planejamentos, tomadas de decisões e solução de problemas com irrigação, drenagem, escoamento superficial, estruturas hidráulicas e pesquisa agrícola.

A precipitação é um elemento meteorológico de grande importância, e seu conhecimento histórico torna-se relevante para o monitoramento de impactos causados pelo seu excesso ou falta prolongados (Pizzato et al., 2014).

A precipitação pluviométrica de um determinado local pode ser prevista em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição, ajustados a uma série de dados (Moreira et al., 2010).

O conhecimento da probabilidade de ocorrência de chuvas em determinado período é de fundamental importância para várias atividades agrícolas, entre as quais semeadura, poda, colheita, irrigação e pulverização (Conceição, 2005).

Os conhecimentos referentes ao regime de chuvas de uma determinada região contribuem para a tomada de decisões em diversas áreas estratégicas para o desenvolvimento econômico e social do País, como, por exemplo, a geração de energia elétrica, defesa civil e algumas atividades agrícolas e industriais (Queiroz et al., 2001 citado por Moreira et al., 2010).

Segundo Salgueiro (2005) citado por Pizzato et al., (2014), o conhecimento dos totais precipitados constitui elemento importante na determinação das vazões superficiais e, conseqüentemente, de suas disponibilidades, para um gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

De acordo com Silva e Clark (2007) um conhecimento da frequência de ocorrência de chuvas intensas é importante porque a precipitação pluviométrica atua sobre a erosão do solo, causa inundações em áreas rurais e urbanas, condiciona projetos de obras hidráulicas, notavelmente de sistemas de drenagem, dentre muitas outras aplicações.

No Brasil o registro hidrológico iniciou-se com a instalação de estações meteorológicas nos principais centros urbanos com o propósito da captação de dados pluviométricos. As estações mais antigas possuem séries centenárias utilizadas para a identificação de ciclos e tendências (Clarke e Dias, 2003).

2.5.DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

De modo geral ao estudarmos qualquer fenômeno devemos procurar um modelo matemático que nos ajude a descrever de forma satisfatória o fenômeno apresentado (Leite, 2007).

A seguir, é possível observar as várias distribuições utilizadas para a realização de estudos em que fazem uso implicações estatísticas. É importante ressaltar que para o uso destas distribuições é necessário a elaboração de dados, onde no âmbito

da hidrologia o conjunto de dados utilizados para realizar os cálculos é conhecido como séries históricas, que nada mais são que amostras extraídas de uma população (Mello, 2013).

Pode-se dizer que uma distribuição de probabilidade é aquela que faz que faz a ponte entre a distribuição empírica e (população conhecida) e a distribuição populacional (aquele que se deseja obter) (Tucci, 1993 citado por Alves et al., 2005).

Para realizar a análise das distribuições contou-se com a frequência observada. As frequências observadas (Fobs) são obtidas diretamente dos dados das amostras e o valor da frequência observada só deve assumir os valores de números inteiros, ou seja nunca haverá por exemplo 2,73 indivíduos observados (Conti, 2006).

Além da frequência observada foram analisados dados de tempo de retorno. Para Figueiredo (2011), o TR é também conhecido como período de ocorrência ou tempo de retorno é o intervalo de tempo estimada para a ocorrência de determinado evento, sendo assim utilizados em hidrologia e outros campos de estudo como climatologia, meteorologia entre outros.

O estudo do TR é considerado de grande relevância para a realização de vários planejamentos, como para situações de áreas que sofrem riscos de enchentes, o TR é utilizado como um dos critérios utilizados para planejar a vida útil das obras, o tipo de estrutura a ser usada entre outros (Vilela, 1975).

Para que os dados fossem melhor avaliados, foi utilizados o teste de Kolmogorov –sminov, o qual é usado para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma das distribuições de probabilidade subjacentes difere da distribuição em hipótese, em qualquer dos casos com base em amostras finitas (Campani e Menezes , 2011).

A seguir é possível observar como se dão as distribuições estatísticas de acordo com Mello (2013).

2.5.1. Gama

Gama é uma distribuição de probabilidade contínua, com dois parâmetros r (parâmetro de forma) e α (parâmetro de escala), dos quais se exige $r > 0$ e $\alpha > 0$; cuja função de densidade para valores $x > 0$ é:

$$f(x; \alpha, r) = \frac{\alpha}{\Gamma(r)} (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x} \quad (1)$$

para $x \leq 0$, temos:

$$f(x) = 0. \quad (2)$$

Aqui, Γ é a função gama, que é dada por:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt \quad (3)$$

A distribuição de Gama tem sido muito utilizada em estudos na área ambiental como na distribuição de chuvas, como no caso do estudo realizado por Moreira et al., (2010) como também em estudos de parâmetros para estudo da vegetação como realizado por Freitas e Magalhães (2012).

2.5.2. Gumbel

A Função Densidade de Probabilidade (FDP) de Gumbel é dada por:

$$\mathbf{FDP} = \alpha \cdot \mathbf{e}^{\left\{-\alpha(x-\mu) - e^{-\alpha(x-\mu)}\right\}} \quad (4)$$

A integração da FDP fornece a função cumulativa de probabilidades (FCP):

$$\mathbf{P}(x \leq x_i) = \mathbf{e}^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (5)$$

Esta distribuição apresenta os 2 primeiros parâmetros de uma distribuição de probabilidades, ou seja, μ e $\hat{\alpha}$, que são calculados pelas expressões abaixo, considerando-se o método dos momentos:

$$\hat{\alpha} = \frac{\mathbf{1,2826}}{\mathbf{s}} \quad (6)$$

$$\hat{\mu} = \bar{\mathbf{x}} - \mathbf{0,45} \cdot \mathbf{s} \quad (7)$$

Em que x e s correspondem, respectivamente, à média e o desvio padrão da série histórica. Para estimativa de uma variável hidrológica x em função do TR, aplica-se a equação abaixo, fruto da manipulação da equação 7 e da consideração de TR como função da probabilidade de excedência:

$$X_{TR} = \frac{-LN\left(-LN\left(1 - \frac{1}{TR}\right)\right)}{\alpha} + \mu \quad (8)$$

A aplicabilidade potencial da distribuição de Gumbel para representar a distribuição dos máximos, refere-se à teoria de valores extremos, que indica que o uso é apropriado se a distribuição da amostra de dados subjacente é do tipo normal ou exponencial (Lima, 2011).

A distribuição de Gumbel tem sido amplamente utilizada em estudos na área ambiental, principalmente àqueles voltados para o estudo de vazão e precipitação como realizado por Franco et al., (2014) e Almeida et al., (2014).

2.5.3. Weibull

A distribuição de Weibull é representada por uma variável aleatória x segue a distribuição de Weibull se sua função densidade de probabilidade é dada assim como apresentado na fórmula 9 a seguir.

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0, \end{cases} \quad (9)$$

A distribuição de Weibull, além de utilizada para estudos de vazão e distribuições de precipitação como realizada por Vieira et al., (2010) é destinada para estudos de regime eólico como utilizado por Filho et al., (2011).

2.5.4. Log-normal com 2 parâmetros

O modelo de Log –normal conta com uma variável aleatória X tem distribuição log-normal com parâmetros quando sua função densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

em que $x > 0$. Se é uma amostra aleatória de (10), as estimativas de máxima verossimilhança de μ e σ são:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \quad (11)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left(\log x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \right)^2 \quad (12)$$

A distribuição de Log – Normal com 2 parâmetros segundo Junqueira Junior et al., (2007) é especialmente indicada para estudos de precipitação afinal apresenta facilidade de entendimento além de otimizar a análise dos resultados em estudos nesta área.

2.5.5. Log-normal com 3 parâmetros

Neste caso, a FDP é dada em função de 3 parâmetros, tendo-se a seguinte estrutura:

$$\text{FDP: } f(x) = \frac{1}{(x - \beta) \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \left(\frac{\text{Ln}(x-\beta) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2}, \text{ com } x \geq \beta \quad (13)$$

Para estimar os parâmetros da distribuição log-normal, com base numa série histórica de dados, as seguintes equações são aplicadas:

$$\beta = \bar{x} - \frac{s}{\eta_y} \quad (14)$$

$$\eta_y = \frac{(1 - \phi^{2/3})}{\phi^{1/3}} \quad (15)$$

$$\phi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0,5}]}{2} \quad (16)$$

Com base no coeficiente de assimetria - Ca calcula-se γ . Com isto, estima-se ϕ (equação 16), η_y (equação 15) e com base neste último valor e na média e desvio padrão dos dados, o parâmetro β , na equação 14. Os parâmetros μ_n e σ_n são calculados com base nas seguintes equações:

$$\mu_n = \text{Ln}\left(\frac{s}{\eta_y}\right) - 0,5 \cdot \text{Ln}(\eta_y^2 + 1) \quad (17)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\text{Ln}(\eta_y^2 + 1)} \quad (18)$$

Neste caso, a variável x_{TR} é calculada por:

$$x_{TR} = e^{\mu_n + k_{TR} \cdot \sigma_n} + \beta \quad (19)$$

A distribuição Log-Normal de 3 parâmetros (LN3) é similar à distribuição de Log - Normal de 2 parâmetros, à exceção do fato de que da variável X deduz-se a quantidade a que representa um limite inferior. É utilizada em estudos de caráter hidrológico, porém seu uso é reduzido devido a maior complexidade para análise dos resultados (Serviço Hidrológico do Brasil, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Pouso Alegre está situado no sul do estado de Minas Gerais, localiza-se a uma latitude 22°13'48" sul e a uma longitude 45°56'11" norte, estando a uma altitude de 832 metros. Possui uma área de 543,068 km². A população estimada pelo IBGE em 2013 é de 140.223 (IBGE, 2010).

O município encontra-se em meio a Bacia Hidrográfica do Rio Grande e possui um clima tropical de altitude (CBHRG, 2012).

3.2. BANCO DE DADOS

Os dados para a análise estatística da análise de probabilidade de ocorrências de chuvas no município de Pouso Alegre, tem origem de campo oriundos da na estação meteorológica da ANA (ANA, 2013).

Os dados para realização dos cálculos foram obtidos através do site oficial da Agência Nacional das Águas com o auxílio do software Hidroweb (Procedimentos descritos a seguir), disponibilizado na mesma plataforma online.

1 – Página inicial do Hidroweb.

The screenshot shows the Hidroweb homepage with a dark blue background featuring a map of Brazil. The main title is "HidroWeb Sistema de Informações Hidrológicas" with the ANA logo. A navigation menu on the left lists: Bem-vindo, Dados Hidrológicos (highlighted), Mapas, Documentos, Glossário, Softwares, Publicações, and Links. A secondary menu on the right lists: Bacias, Sub-Bacias, Rios, Estados, Municípios, Entidades, Estações, and Séries Históricas. At the bottom, there are logos for CPRM, Epagri, AGUASPARANÁ, ICAM, Furnas, Eletronorte, ITAIPIU BINACIONAL, hobeco, and COHIDRO. A counter at the bottom indicates "1565909 acessos registrados desde 1/02/2005".

2 - Na página inicial você deve clicar em Dados Hidrológicos.

This screenshot is identical to the one above, showing the Hidroweb homepage. The "Dados Hidrológicos" option in the left navigation menu is highlighted with a green border. The secondary menu on the right lists: Bacias, Sub-Bacias, Rios, Estados, Municípios, Entidades, Estações, and Séries Históricas. The rest of the page content, including logos and the access counter, remains the same.

3 – Depois você deve entrar em séries históricas. Assim, você será redirecionado para a página abaixo, onde deverá escolher o tipo de estação que deseja trabalhar e o município.

Séries Históricas

Escolha as estações para consulta às respectivas séries históricas de dados **brutos** e **consistidos** (cota, vazão, resumo de medição de descarga líquida, perfil transversal, sedimento, chuva, clima):

Formulário de Consulta

Código (8 dígitos): até (Ex.: 00047000 até 90300000)

Tipo de Estação:

Nome: (Ex.: Barra Mansa)

Rio: (Ex.: Rio Javari)

Sub-bacia (código): (Ex.: 10)

Bacia (código): (Ex.: 1)

Município: (Ex.: Itaperuna)

Estado: (Ex.: Rio de Janeiro)

Responsável (sigla): (Ex.: ANA)

Operadora (sigla): (Ex.: CPRM)

Estação telemétrica:

Altitude (m): até (Ex.: 1 até 9999)

Área de drenagem (km2): até (Ex.: 1 até 9999999)

* A consulta pode ser feita por qualquer campo.

Listar

4 – Você será redirecionado para a página onde você deve clicar no código da estação que deseja trabalhar, e posteriormente fazer o seu download.

Séries Históricas

Consultando o banco de dados... [Nova Consulta](#)

10 registros selecionados.

Resultado da Consulta							
Código	Nome	Sub-bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora
01439056	FAZENDA POUSO ALEGRE	53	-	BAHIA	CAMACAN	SUDENE	SUDENE
02245077	POUSO ALEGRE	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	ANA	IGAM
02245093	POUSO ALEGRE	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	DAEE-MG	DAEE-MG
02245100	POUSO ALEGRE (ETA)	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	DNOS	DNOS
02245203	POUSO ALEGRE	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	COPASA	COPASA
02245208	SE POUSO ALEGRE I	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	CEMIG	CEMIG
02246143	SE POUSO ALEGRE	61	-	MINAS GERAIS	POUSO ALEGRE	CEMIG	CEMIG
02248088	FAZENDA POUSO ALEGRE	62	-	SÃO PAULO	JAÚ	DAEE-SP	DAEE-SP
02248107	POUSO ALEGRE	62	-	SÃO PAULO	JAÚ	DAEE-SP	DAEE-SP
02451049	POUSO ALEGRE	64	-	PARANÁ	JARDIM ALEGRE	AGUASPARANÁ	AGUASPARANÁ

Escolha as estações para consulta às respectivas séries históricas de dados **brutos** e **consistidos** (cota, vazão, resumo de medição de descarga líquida, perfil transversal, sedimento, chuva, clima):

A fim de reduzir a probabilidade de erro, foram coletados dados em um intervalo de 50 anos, variando entre o ano de 1949 a 1999, que com o auxílio do Microsoft Excel foram calculados de acordo com as distribuições estatísticas assim como apresentado no Anexo I. A opção pelo intervalo de 50 anos se deu, devido ao fato de que este período apresentou dados completos para a análise proposta pelo estudo.

3.3. DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

O modelo estatístico utilizado para a realização dos cálculos de probabilidade de ocorrência e distribuição de chuva no município de Pouso Alegre se deram em dois diferentes modelos, sendo eles Gumbel e Log-Normal.

3.3.1. Frequência observada

Para cálculo das frequências observadas foram utilizadas a fórmula descrita a seguir.

$$F_{obs} = \frac{i}{N + 1} \quad (20)$$

Onde:

F_{obs} = Frequência observada.

I = Ordem que o dado ocupa.

N = Tamanho da série histórica.

3.4. TESTE ESTATÍSTICO

Para verificar a aderência das distribuições descritas, foi utilizado o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov, que além de não depender do número de classes do agrupamento dos dados, oferece mais vantagens computacionais. Esse teste fundamenta-se na discrepância entre as distribuições, $D_n = \sqrt{n} \sup_x |F_n(x) - F_0(x)|$ em que $F_n(x)$ denota a distribuição teórica e $F_0(x)$ a distribuição ajustada. Essa estatística é usada para testar a hipótese nula $H_0 : F = F_0$ versus hipótese alternativa $H_1 : F \neq F_0$.

3.5.TEMPO DE RETORNO

Ao se ajustar uma distribuição de probabilidades aos dados de frequência de uma série histórica, utiliza-se a probabilidade de excedência para estimar um tempo de retorno, que é obtido em anos. Por definição, tem-se:

$$TR = \frac{1}{F(X > xi)} \quad (21)$$

Ao se assumir uma distribuição de probabilidades com $F(X > xi)$ estimado por $P(X > xi)$, tem-se:

$$TR \equiv \frac{1}{p(X > xi)} \quad (22)$$

Quando o objeto de estudo consiste de uma série histórica de dados hidrológicos mínimos ou dados que apresentem distribuição normal, o tempo de retorno a ser estimado também está associado à probabilidade com que o valor mínimo considerado pode ser inferior ao esperado, ou seja:

$$TR = \frac{1}{F(X < xi)} \equiv \frac{1}{P(X < xi)} \quad (23)$$

3.6.DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Para realização dos cálculos, foram utilizadas as distribuições de Gumbel e Log-Normal com 2 parâmetros, assim como observado a seguir. O uso da distribuição desenvolvida por Gumbel (1958), tem apresentado grande importância em vários campos da pesquisa, e tem sido aplicada com grande frequência na análise estatística de variáveis ligadas a fenômenos meteorológicos, entre os quais a precipitação pluviométrica máxima (Beijo et al., 2006). A distribuição de Log -normal foi escolhida devido ao fato de segundo Rosal e Montenegro (2003) é a distribuição que possui maior facilidade de emprego.

3.6.1. Gumbel

A Função Densidade de Probabilidade (FDP) de Gumbel é dada por:

$$\mathbf{FDP} = \alpha \cdot e^{\left\{-\alpha(x-\mu) - e^{-\alpha(x-\mu)}\right\}} \quad (24)$$

A integração da FDP fornece a função cumulativa de probabilidades (FCP):

$$\mathbf{P}(x \leq x_i) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (25)$$

Esta distribuição apresenta os 2 primeiros parâmetros de uma distribuição de probabilidades, ou seja, μ e σ , que são calculados pelas expressões abaixo, considerando-se o método dos momentos:

$$\hat{\alpha} = \frac{\mathbf{1,2826}}{s} \quad (26)$$

$$\hat{\mu} = \bar{x} - \mathbf{0,45} \cdot s \quad (27)$$

Em que x e s correspondem, respectivamente, à média e o desvio padrão da série histórica. Para estimativa de uma variável hidrológica x em função do TR, aplica-se a equação abaixo, fruto da manipulação da equação 28 e da consideração de TR como função da probabilidade de excedência:

$$\mathbf{X}_{TR} = \frac{-\mathbf{LN}\left(-\mathbf{LN}\left(1 - \frac{\mathbf{1}}{TR}\right)\right)}{\alpha} + \mu \quad (28)$$

3.6.2. Log-normal com 2 parâmetros

O modelo de Log-normal conta com uma variável aleatória X tem distribuição log-normal com parâmetros quando sua função densidade de probabilidade é:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (29)$$

em que $x > 0$. Se é uma amostra aleatória onde as estimativas de máxima verossimilhança de μ e σ são:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \quad (30)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left(\log x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \log x_i \right)^2 \quad (31)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir pode-se observar os resultados obtidos através dos cálculos estatísticos de acordo com Gumbel e Log-Normal. Desse modo, é possível notar na Tabela 1 as probabilidades de pluviosidades máximas encontradas após os cálculos de acordo com o modelo de Gumbel e na Tabela 2 as probabilidades de pluviosidade mínima encontradas após os cálculos da distribuição de Log-Normal.

É possível notar que a partir dos dados analisados entre os anos 1949 e 1999, foram pré-determinadas as probabilidades de precipitação possíveis nos tempos de retorno de 5, 10, 20, 30, 50, 100 e 500. O tempo de retorno (TR) representa o inverso da frequência com que um evento pode ser igualado ou superado, ou seja, reflete a probabilidade com que uma dada variável hidrológica possa ser igualada ou superada, pelo menos uma vez, num ano qualquer (Mello, 2013).

Na Tabela 1 a seguir, é possível observar que a probabilidade do volume de chuvas em relação ao TR de acordo com a distribuição de Gumbel. Nota-se que o volume de chuva aumenta de forma exponencial, ou seja, quanto maior o TR maior o volume de chuva esperado.

Tabela 1 - Nível máximo de precipitação de acordo com Gumbel.

Tempo de retorno	Precipitação Máxima
TR	Mm
5	377.2
10	423.4
20	467.8
30	493.3
50	525.2
100	568.2
500	667.6

Beijo et al., (2006) realizou o estudo de tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) através da distribuição de Gumbel, aplicando o método de verossimilhança para estimação de parâmetros de distribuição. Assim concluiu que as estimativas intervalares fornecem valores mais seguros de precipitações diárias máximas prováveis, e podem ser usadas para auxiliar no planejamento de obras de engenharia hidráulica e agrícola na região de Lavras (MG). Logo, no caso deste estudo, os dados fornecidos através da precipitação máxima podem ser utilizado nos mais diversos projetos no município onde o estudo foi realizado.

Oliveira et al., (2008) concretizou um trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de metodologias de desagregação, isozonas e Gumbel, empregadas na estimativas de precipitações máximas associadas a uma duração e frequência no estado de Goiás. Avaliou-se o desempenho dos modelos através do coeficiente de Willmott que permitiu análise porcentual dos desvios entre os valores estimados e os obtidos pelas relações precipitação-duração-frequência, ajustadas a partir de pluviogramas e concluiu que o método de Gumbel mostrou-se adequado na estimativa das precipitações máximas de curta duração, indicando uma metodologia alternativa na determinação das chuvas críticas de projeto.

Na Tabela 2 a seguir, permite-se observar os dados obtidos através da distribuição de Log-Normal. Nota-se que assim como apresentado na Tabela 1, o volume mínimo de chuvas é exponencial ao TR, ou seja, quanto maior o TR, maior o volume mínimo de chuva esperado.

Tabela 2 - Nível mínimo de pluviosidade de acordo com Log-Normal.

Tempo de retorno	Precipitação Mínima
TR	Mm
5	36.3
10	53.6
20	70.2
30	79.8
50	91.7
100	107.8
500	145.0

Na Figura 6 a seguir, pode-se observar a Frequência Observada (Fobs) a partir dos dados matemáticos utilizados (1949 a 1999) junto da distribuição de Gumbel. Nota-se que a distribuição de Gumbel ajustou-se razoavelmente a Fobs, de maneira que nas probabilidades de ocorrência próximas de 200 e 400 mm houve diferenças de maior relevância entre Gumbel e Fobs.

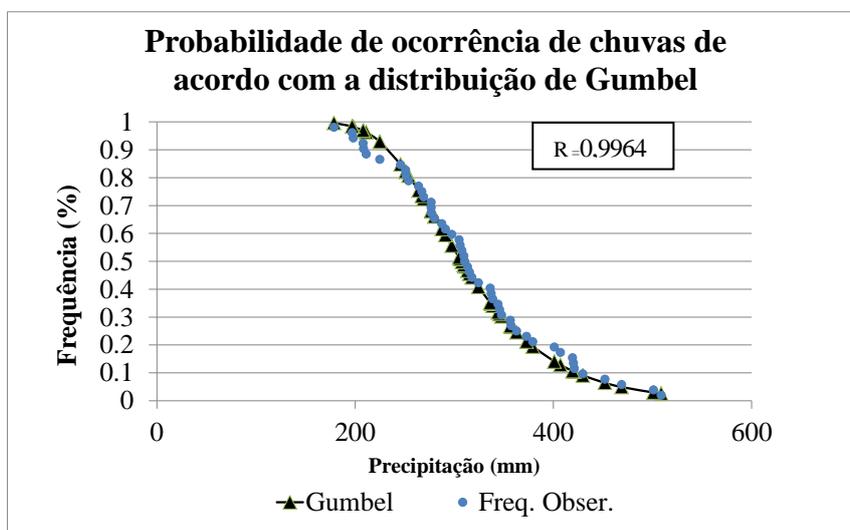


Figura 6 - Probabilidade de ocorrência de chuva de acordo com a distribuição de Gumbel.

Araujo et al., (2007) dedicou seus estudos a área de hidrologia junto da estatística de maneira que realizou uma análise de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. A metodologia utilizada para a realização deste estudo foi a coleta de dados durante 5 dias em postos de coleta do estado em 33 postos de 84 municípios dentro da bacia e utilizou-se da distribuição de Gumbel conciliada ao teste

de Kolmogorov-Smirnov. Ao final do trabalho, foi concluído que a distribuição de Gumbel é realmente apropriada para realizar análises de eventos extremos da natureza como as chuvas.

Garcia et al., (2011) realizou um estudo na área de hidrologia com o objetivo de determinar a equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas pertencentes à rede hidrometeorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado de Mato utilizando-se as metodologias de análise através da distribuição de Gumbel. Ao final, concluiu que para as três localidades estudadas a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada na estimativa dos valores de intensidade máxima média " i_m " a nível de significância de 5%, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

A utilização de distribuições estatísticas como Gumbel e Log-Normal mesmo que complexa é comum em estudos que envolvem a hidrologia. Como exemplo de tal utilização, pode-se citar Silva et al., (2002) que analisou séries históricas de precipitação pluvial de 19 estações pluviográficas localizadas no estado da Bahia, com o objetivo de ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade de chuvas intensas e estabelecer relação entre intensidade, duração e frequência de precipitação. Para realização de tal estudo foram testados Gumbel, Log-Normal, Pearson e Log-Pearson III. Ao final do estudo, Silva et al., (2002) concluiu que Gumbel foi o que melhor se ajustou para a maior parte dos estudos.

Na Figura 7 a seguir, observa-se a probabilidade de ocorrência de chuva de acordo com a distribuição de Log-Normal. Nota-se que a distribuição de Log-Normal ajusta-se satisfatoriamente a FO. Contudo, assim como Gumbel é apresentada um pequeno distanciamento do Log-Normal para Fobs nas probabilidades de ocorrência para 200 e 400 mm.

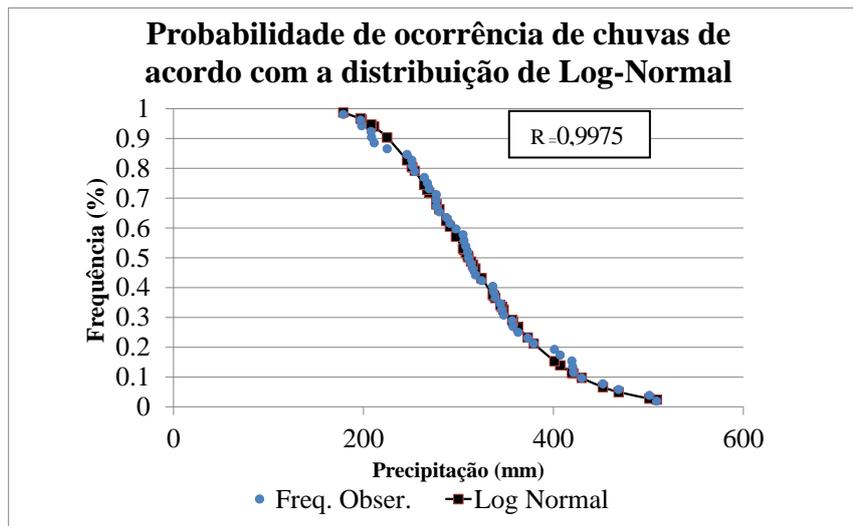


Figura 7 - Probabilidade de ocorrência de chuva de acordo com a distribuição de Log-Normal.

Dourado Neto et al., (2005) realizaram o estudo de ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba – SP. Para análise foram utilizadas a distribuição de Weibull, Gama, Exponencial e Log-Normal. Ao final do trabalho, Dourado et al., (2005) concluiu que Log-Normal foi a distribuição que melhor se ajustou aos dados.

Catalunha et al., (2009) realizou a avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais através do uso de das distribuições: exponencial, gama, log-normal (a dois e três parâmetros), normal e Weibull. Conclui assim que para as estimativas diárias (decendiais e mensais) da probabilidade, destaca-se o desempenho da distribuição Weibull, com exceção dos decêndios do período seco, em que predomina a distribuição exponencial.

Cruciane et al., (2002) analisou dados de pluviogramas da cidade de Piracicaba, SP, do período de 1966 a 2000 através da distribuição de Log-Normal e Gama e concluiu que a distribuição de Log-Normal foi a que melhor se ajustou aos dados.

A fim de verificar quais das distribuições apresentaram resultados mais satisfatórios em relação à probabilidade de ocorrências de chuvas, foi reproduzido o gráfico apresentado na Figura 4 a seguir. Observa-se que ambas as distribuições apresentaram resultados satisfatórios, assim como todas apresentaram distanciamento de Fobs nas probabilidades de 200 e 400 mm.

Contudo, ao realizar uma análise mais criteriosa em relação as distribuições com relação à Fobs através da Figura 8, permite-se afirmar a distribuição de Log-

Normal apresentou dados mais próximos da Fobs, assim sendo a distribuição mais satisfatória em relação aos dados reais.

O maior ajuste da distribuição de Log-Normal em relação a distribuição de Gumbel está explícito no teste de correlação (R).

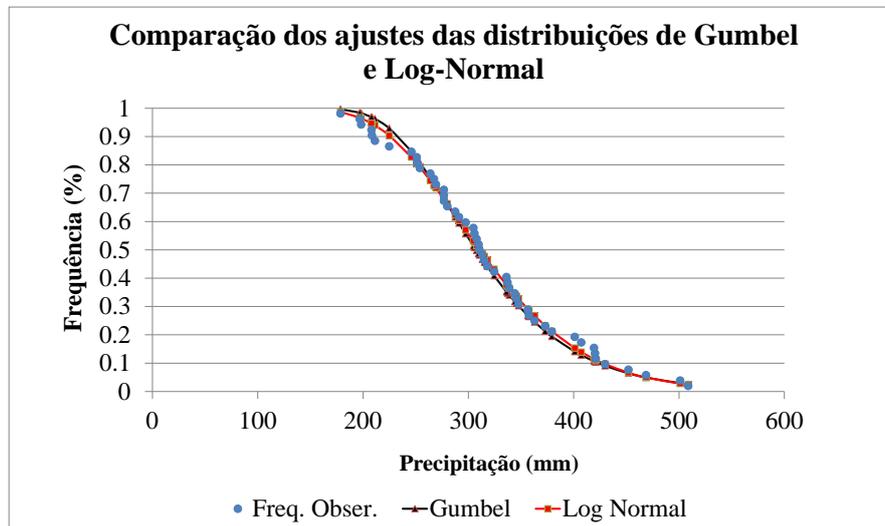


Figura 8 – Comparação dos ajustes ocorrência de chuvas de acordo com a distribuição de Gumbel e Log-Normal.

5. CONCLUSÕES

Concluiu-se ao final da observação e comparação dos dados que a distribuição de Log-Normal foi a que apresentou melhor ajuste para os dados analisados no presente estudo de caso.

Ainda foi possível concluir através do estudo de caso que o tempo de retorno, tanto para as precipitações máximas quanto para as precipitações mínimas apresentaram crescimento linear, ou seja, quando maior o tempo para retorno, maior a concentração de precipitação.

6. REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALLEGRE, C. e REIS, M.J. **Os ciclos da água**. 1996.

ALMEIDA, I.K. et al. Métodos estatísticos na determinação de vazão de referência. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n.1, p. 11-17, 2014.

ALVES, C. M. A.; BARROS, F.V.F & MENDONÇA, G.M,Jr. Desenvolvimento do protótipo do sistema de Informação para Gerenciamento da Alocação de Água-SIGA, Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá-PE. 2005.

ANA. Agência Nacional das Águas. (ANA, 2013). **Sobre a ANA – Missão**. Acesso online. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/abaservinter1.aspx>. Acessado em 22 de julho de 2014.

ARAUJO et al. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2007.

BALBINO, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v.4, n.1, p.131-149, 2008.

BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A. e NETO, P.C. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo. 2006.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASIL. **Lei 13199 de 29 de Janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial em 30 jan 1999.

BRASIL. Lei nº 13.194, de 26 de dezembro de 2009. Dispõe sobre o Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais, criado pela Lei nº 13.194, de 29 de janeiro de 1999. Publicada no Diário oficial em 27 dez 2009.

BRASIL. Lei nº 4.333, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Publicada no Diário Oficial da União em 9 de jan 1997.

BRASIL. Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. Publicada no Diário Oficial da União em 18 jul 2000.

CAMPANI, C.A.P. e MENEZES, P.B. Teorias da Aleatoriedade. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, v. 11, n.2, p.75-98, 2011.

CARVALHO, D.F. e SILVA, L.D.B. **Capítulo 2 - ciclo hidrológico.** 2009.

CATALUNHA et al. **Avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais.** 2009.

CBHRG – Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Grande. **A Bacia.** 2012. Acesso online. Disponível em: <http://www.grande.cbh.gov.br/Bacia.aspx>. Acessado em 05 out 2014.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e Meio Ambiente. **Seca atual na região de São Paulo é a maior em 45 anos.** 2014.

CLARK, R.T. e DIAS, P.L.D. **Observational and Monitoring Requirments for Water Resource Management in Brazil.** CTHidro 05. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos *Ciência, Tecnologia e Inovação* 2003.

CONAMA. **Resolução 01/1986.** Estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Publicada no Diário Oficial em 24 jan 1986.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Probabilidade de ocorrência de chuvas na região de Jales, SP.** 57. ed. Bento Gonçalves: Mapa, 2005. 3 p.

CONTI, K.C. Projetos colaborativos entre estagiários licenciandos em Matemática e professores da escola básica: a Estatística na Educação de Jovens e Adultos. Submetido à Fapesp (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo) em 2006.

CRUCIANE, D.E.; MACHADO, R.E. e SENTELHAS, P.C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.76-82, 2002.

DOURADO NETO et al. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial diária em Piracicaba – SP. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, v.13, n.2, p. 273-283, 2005.

ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RETROSPECTIVAS. **Perspectivas do meio ambiente mundial**. 2002.

FIGUEIREDO, W.C. **Introduzindo a hidrologia**. 2011.

FILHO, L.A.G. et al. Caracterização analítica e geométrica da metodologia geral de determinação de distribuições de *Weibull* para o regime eólico e suas aplicações. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, 2011.

FRANCO, C.S. et al. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.18, n.7, 2014.

FREITAS, W.F. e MAGALHÃES, L.M.S. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no extrato arbóreo. **Floresta e ambiente**, v.19, n.4, p.12-17, 2012.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. 1ª ed. FDBS: São Paulo, 2012. 76 f.

GARCIA, S.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G. e STOPA, W.H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.575–581, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População de Pouso Alegre (MG) – Censo 2010**. Acesso online. Disponível em: http://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/webservice/frm_pr_hom_mul.php?codigo=315250 Acessado em 01 de julho de 2014.

JUNQUEIRA JUNIOR, J.A. et al. Precipitação provável para a região de madre de deus, alto rio grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 842-850, 2007.

LEITE, I.C.C. **Probabilidade distribuição de probabilidade**. 2007.

LEITE, M.M.V.; ALVES, G.J.; SILVA, A.M. e MELLO, C.R. comparações de distribuições de probabilidade para uma série de vazões máximas para curso d'água Rio do Veado, ES. In: XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 2010.

LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B. e MARIM, A.M.P. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**. 1ª ed. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, 2011. 211f.

LIMA, V.N. **Elaboração de manchas de inundação para delimitação de apps de cursos d'água no município de Pouso Alegre-MG.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Curso de Engenharia de Energia. 2011. 142f.

LOPES, C.V.M., NETO, O.G. e KRUGUER, V. **Águas.** Notas de aula – área de química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

MELLO, M. **Hidrologia estatística: uso e aplicações.** 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água: um recurso cada vez mais ameaçado.** 2008.

MOREIRA, M.P.S.P. et al. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de nova Maringá-MT. *Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta*, v.8, n.1, p.9- 20, 2010.

MOREIRA, P.S.P.; DALLACORT, R.; MAGALHÃES, R.A.;INOUE, M.H.;STIELLER, M.C.;SILVA, J.C. e MARTINS, J.A. Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Nova Maringá –MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.8, n.1, p.9- 20, 2010.

NETO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKI, C. C. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n.4, p. 369-378, 2005.

NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. 2011. Acesso online. Disponível em: http://plutao.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.17.03.30/doc/Nobre_Mudancas.pdf. Acessado em 06 de julho de 2014.

OLIVEIRA, L.F.C.; ANTONINI, J.C.; FIORIZE, A.P. e SILVA, M.A. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.620–625, 2008.

PIZZATO, J.A.;DALLACORT, R.;TIEPPO,R.C.;MODOLO,A.J.;CREMON, C. e MOREIRA, P.S.P. Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). **Revista Pesquisa Agropecuária. Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 137-142,. 2012

Portal São Francisco. **Água.** Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-agua/agua.php>. Acessado de 24 nov. 2014.

ROSAL, M.C.F. e MONTENEGRO, S.M.G.L. Estudo da distribuição de probabilidade para precipitações máximas na bacia do rio mundaú. *IV: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico.* 2003.

SENTELHAS, P.c.; ANGELOCCI, L.S. **Umidade do ar, chuva e vento.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009. 52 slides

SERVIÇO HIDROLÓGICO DO BRASIL. **Variáveis aleatórias contínuas: distribuições e aplicações.** 2005.

SILVA, B.C. e CLARKE, R.T. Análise Estatística de chuvas intensas na bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, p.265-272, 2004.

SILVA, D.D.; GOMES E FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, P.B. e NOVAES, L.F. **Chuvas intensas no Estado da Bahia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SILVA, J.C.;HALDWEIN, A.B.;MARTINS, F.B. e TRENTIN, G. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.67-72, 2007.

SILVA, J.C.;HALDWEIN, A.B.;MARTINS, F.B. e TRENTIN, G. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.67-72, 2006..

SILVA, J.G.F.; MORELI, A.P.; REIS, E.F. e CALIMAN, L.F. probabilidade de ocorrência de chuvas em Venda Nova do Imigrante – ES. IN: *IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA*. Vitória, 2010

SILVA, R. M.; Teodoro, S. M.; Bonomo, P.; Chaves, M. A. Precipitação pluviométrica mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. *Ciência Agrotécnicas*, v.29, p.988-994, 2005.

SOUZA, K.M. **Avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluviométrica no estado de Minas Gerais.** 2003.

VIEIRA, J.P.G. et al. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, n.7, 2010.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Editora Mc Graw Hill, São Paulo. 1975. 245p.

7. ANEXOS

ANEXO I – dados utilizados para realização dos cálculos no Microsoft Excel.

Anos	Precipitação Máxima (mm)		Ordem	Precipitação Máxima Decrescente (mm)
1949	337,3		1	508,8
1950	254		2	501,1
1951	344,2		3	468,8
1952	251		4	452,1
1953	178,7		5	429,8
1954	310,6		6	421,1
1955	452,1		7	420,4
1956	224,9		8	419,4
1957	280		9	407,2
1958	267,4		10	401,1
1959	297,5		11	379,3
1960	356,6		12	373
1961	338,8		13	362,9
1962	313,4		14	357,5
1963	197		15	356,6
1964	420,4		16	347,7
1965	357,5		17	345,7
1966	501,1		18	344,2
1967	429,8		19	338,8
1968	324,5		20	337,3
1969	269,2		21	336,3
1970	304,9		22	324,5
1971	317,9		23	317,9
1972	287,5		24	315,4
1973	419,4		25	313,4
1974	309,8		26	310,6
1975	276,9		27	309,8
1976	315,4		28	307,8
1977	362,9		29	305,9
1978	305,9		30	304,9
1979	307,8		31	297,5
1980	336,3		32	291,1
1981	407,2		33	287,5
1982	421,1		34	280
1983	508,8		35	276,9
1984	211,3		36	276,7
1985	347,7		37	276,7
1986	468,8		38	269,2
1987	276,7		39	267,4
1988	276,7		40	264

1989	379,3		41	254
1990	198,2		42	251,4
1991	291,1		43	251
1992	251,4		44	245,9
1993	208,1		45	224,9
1994	264		46	211,3
1995	373		47	208,5
1996	245,9		48	208,1
1997	345,7		49	198,2
1998	401,1		50	197
1999	208,5		51	178,7