

CAPÍTULO 4

PRECIPITAÇÃO ATMOSFÉRICA

1. INTRODUÇÃO

As precipitações constituem o mais importante componente do ciclo hidrológico, formando o elo de ligação entre a água da atmosfera e a água do solo, principalmente com respeito ao escoamento superficial. Por precipitação entende-se como sendo todas as formas de umidade transferida da atmosfera para superfície terrestre:

Saraiva é a precipitação sob a forma de pequenas pedras de gelo arredondadas com diâmetro em torno de 5 mm.

Granizo é a precipitação sob a forma de pedras de gelo, podendo ser de forma arredondada ou irregular, porém com diâmetro superior a 5 mm.

Neve é a precipitação sob a forma de cristais de gelo que durante a queda coalescem formando blocos de dimensões e formas variadas.

Orvalho é a condensação do vapor d'água do ar sobre objetos expostos ao ambiente durante a noite, devido a redução da temperatura do ar até o ponto de orvalho.

Geada é a formação de cristais de gelo a partir do vapor d'água, de maneira semelhante ao orvalho, porém à temperatura inferior a 0°C.

Chuvisco, neblina e garôa são formas de precipitação da água na fase líquida muito fina e de baixa intensidade.

Chuva é a ocorrência da precipitação na forma líquida com intensidades superiores à anterior.

Do ponto de vista do hidrólogo, na região tropical, as precipitações em forma de chuva, são as de maior interesse. Sua importância reside na recarga dos mananciais hídricos superficiais e subsuperficiais de onde dependem as quantidades demandadas da água para consumo humano, doméstico, industrial, animal e rural.

Na ótica agrícola as precipitações são de grande importância econômica, pois dela dependem a produção das culturas não irrigadas, o dimensionamento dos sistemas de drenagem, de barragens, pontes e outras estruturas hidráulicas, o planejamento da conservação dos solos e do manejo da irrigação, etc. As

precipitações têm também sua importância social, pois dela, dependem, muitos pequenos agricultores, para sua sobrevivência no campo. Os grandes períodos de estiagens provocam a redução das reservas de água nos mananciais, dificultando a agricultura de subsistência, empobrecendo os pequenos agricultores ainda mais, levando-os inúmeras vezes ao êxodo rural.

Em virtude da água ser o principal componente na constituição dos seres vivos, as distribuições temporal e espacial das precipitações são dois dos fatores que condicionam o clima e que estabelecem o tipo de vida de uma região.

O estudo das precipitações é, então, uma ferramenta de fundamental importância na agricultura, pois conhecendo-se a probabilidade de ocorrência de certos eventos, como por exemplo: de um veranico (curtos períodos secos dentro da estação chuvosa de uma região); de alguns dias consecutivos chuvosos; da ocorrência de chuvas intensas; bem das probabilidades associadas a esses eventos, pode-se fazer o planejamento do preparo, manejo e conservação do solo; da semeadura e colheita das culturas; da necessidade de estruturas hidráulicas como barragens, pontes, bueiros; da implantação e manejo de sistemas de irrigação, etc.

No presente texto serão abordados aspectos gerais das precipitações, tais como, os mecanismos de formação e tipos de chuvas, medidas, correção de dados inconsistentes, preenchimento de falhas, frequência e período de retorno de eventos de interesse e precipitação média.

2. MECANISMOS DE FORMAÇÃO DAS CHUVAS

A **precipitação**, como já citado acima, é o retorno, à superfície terrestre, da água que passou da fase líquida à fase gasosa, processo que recebe o nome de **evaporação**. Para tanto é necessário que a água receba ao redor de 590 cal/g_{água}, denominado **calor latente de evaporação**. Ao retornar à fase líquida liberará essa quantidade de energia, ou ainda, se sofrer o processo de solidificação haverá o despreendimento de algo em torno de 80 cal/g_{água}, valor este correspondente ao **calor latente de liquefação**, ou seja referente à passagem da água da fase sólida para fase líquida.

Para que haja precipitação, entretanto, é necessário que não somente a água retorne à fase líquida, processo que recebe o nome de **condensação**, como também que as gotas cresçam até um tamanho suficiente para que sob a ação da atração gravitacional vençam a resistência e as correntes de ar ascendentes. O crescimento das gotículas formadas por condensação é chamado **coalescência**.

Desta maneira conclui-se que mesmo que haja condensação, não necessariamente ocorrerá a precipitação, no caso de o processo de coalescência não ser intenso o suficiente para promover um crescimento das gotículas até uma dimensão que vençam as resistências do ar.

2.1. CONDENSAÇÃO

Suponha que uma parcela de ar não-saturada seja forçada a se elevar, porque sofreu maior aquecimento que sua vizinhança, diminuindo sua densidade, ou elevando-se porque uma massa de ar mais fria, portanto mais densa, em movimento força-a a subir. É sabido que a pressão atmosférica diminui com a altitude. Assim, ao elevar-se a parcela de ar expande rapidamente. Para essa expansão há um gasto de energia, na forma de trabalho pressão-volume. Com a redução da energia interna da parcela de ar, diminui sua temperatura, sem que existam significativas trocas de calor com o ambiente. Nessa ascensão a parcela de ar sofre o que se denomina **resfriamento adiabático**.

Ao resfriar, próximo à denominada *temperatura do ponto de orvalho*, inicia a **condensação**, se existirem na atmosfera os chamados **núcleos de condensação**, que são sais, partículas ou superfícies onde o vapor d'água possa ter como base de apoio para retornar à fase líquida. Os núcleos de condensação poderiam ser comparados em macroescala à superfície dos automóveis onde em noites frias acumula-se água ou o embaçamento que ocorre quando se dirige com os vidros fechados em dias frios. Na atmosfera núcleos de condensação eficientes são higroscópicos como o sulfato de amônio, emitido como resíduo de processos industriais e o abundante sal marinho, necessitando neste último caso de a umidade relativa estar entre 97-98% para o início da condensação. Os óxidos de enxofre e fósforo expelidos por chaminés industriais, também funcionam como núcleos de condensação, necessitando, nestes casos, que a umidade relativa esteja em torno de 80%. O enxofre reagindo com a água pode dar origem à chamada chuva ácida (H_2SO_4) em locais densamente industrializados.

Tanto mais água deverá condensar quanto maior a energia que a parcela de ar tenha para a ascensão. Entretanto, ao condensar ocorre a liberação do **calor latente de evaporação**, que promove um aumento, extra, de energia da parcela para continuar o processo de ascensão - na forma de calor sensível (temperatura) com conseqüente redução da sua densidade - que poderá levá-la mais ao alto, podendo assim, eventualmente, chegar ao nível onde ocorra o congelamento da água.

Do processo descrito acima surgirá a névum que é o resultado visível das gotículas formadas pelo processo de condensação, as quais recebem o nome de **elementos de névum**, pequeninas gotas de tamanho da ordem de 100µm.

Além do processo de resfriamento adiabático, a condensação também pode ocorrer por resfriamento por contato e resfriamento por radiação. Estes últimos fenômenos formam geralmente o orvalho, geada e neblina.

2.2. COALESCÊNCIA

A névum, entretanto tem uma tendência a se auto-destruir devidos as forças que promovem a coalescência, ou seja a união das gotículas. A **coalescência** (do latim, *coalescere*, “aderir, unir, aglutinar”) é um processo que promove uma rápida união de um grande número de elementos de névum até um tamanho suficiente para transforma-los em **elementos de precipitação**.

A coalescência é o resultado de alguns processos físicos que são diferentes daqueles que regem a condensação. Dentre eles os mais importantes são:

- (a) Absorção de uma gotícula durante choque entre elas em virtude de movimentos turbulentos no interior da névum: este fenômeno é conhecido como coalescência direta. Consiste no fato de que partículas de diferentes diâmetros se movem no interior da névum com diferentes velocidades permitindo que elas colidam entre si, produzindo gotículas cada vez maiores. Como as gotas de maior diâmetro têm maior secção de choque e maior velocidade, maior quantidade de movimento, ocorrerão colisões adicionais num processo cada vez mais acelerado. Uma observação interessante é que são necessárias, em média, um milhão de gotículas para se formar uma gota de chuva. As teorias que explicam o movimento relativo entre as gotículas e seus conseqüentes choques sucessivos parecem não justificar satisfatoriamente o crescimento da gota d'água, pois este ocorre muito rapidamente. Esta teoria seria mais aceita após um crescimento da gota de diâmetro mínimo de 0,5mm, pois a probabilidade do número de choques entre partículas aumenta com sua dimensão.
- (b) diferenças de temperatura entre os elementos de névens: propicia um crescimento por condensação de vapor d'água sobre as gotículas. O vapor d'água do ar saturado que envolve uma determinada gotícula condensa-se sobre esta, aumentando o seu tamanho. Para que isto

ocorra é necessário que estas gotículas tenham tensão de vapor menor que a do vapor do ar circundante, ou que este ar esteja saturado. Isto ocorreria em três situações:

i. *Quando há cristais de gelo e gotas de água sobrefundidas que ocorrem em nuvens frias, com temperaturas abaixo de 0°C:* Nesta condição, a tensão máxima de vapor (pressão de saturação do vapor d'água) é menor para o gelo do que para a água sobrefundida, à mesma temperatura. Quando uma nuvem fria, devido a turbulência interna, contiver ao mesmo tempo cristais de gelo e gotículas de água sobrefundida, estas se vaporizam em prol dos cristais de gelo, que tornam-se centros de condensação, aumentando seu volume. Esta teoria explica a formação de chuvas em regiões frias e temperadas.

ii. *Quando há diferenças consideráveis de temperatura entre gotículas, comum em nuvens com temperaturas superiores a 0°C, o que ocorre por exemplo em condições de fortes turbulências:* Como as gotas de maior temperatura têm maior tensão de vapor do que as mais frias, ocorre vaporização da primeira em proveito da segunda, que crescem. Esta teoria explica a formação de algumas chuvas tropicais e de chuvas de região de média latitude.

iii. *Quando certas gotículas são formadas por soluções salinas, por exemplo, o sulfato de amônio e o cloreto de sódio:* As gotículas salinas desempenham o papel de gotículas frias, pois a água salina tem menor tensão de vapor em relação a água pura. Este fenômeno explica as chuvas nas regiões subtropicais.

(c) diferenças de tamanho entre os elementos de núvens: quanto maior o raio da gotícula menor a tensão superficial, isto é mais energética a superfície da gotícula. Assim as maiores partículas se dirigem de encontro às menores. A tendência é sempre o aumento da gotícula.

(d) existência de cargas elétricas entre os elementos de núvens: o processo de turbulência pode promover ionização de gotículas de aproximadamente igual tamanho, por atrito, sem necessariamente fusão das partículas. Aparece então uma outra forma de atração e repulsão eletrostática entre elas.

Deve-se ter em mente que esses processos de condensação e coalescência ocorrem simultaneamente, sem uma separação entre eles no espaço e tempo. Se dessa complexidade os tamanhos dos elementos de precipitação formados forem suficientes para vencerem a resistência do ar e os movimentos internos da núvem, então inicia a precipitação.

As gotas chegarão à superfície terrestre se a massa dos elementos de precipitação forem de tal ordem que resistam ao trajeto de queda, pois durante este a gota diminui sua massa, reevaporando com o atrito gerado com a atmosfera.

2.3. TIPOS DE PRECIPITAÇÃO

Em nossas condições a maioria das precipitações provém do resfriamento adiabático, cujos tipos podem ser divididos em (a) convectivo, (b) orográfico e (c) ciclônicas

2.3.1. PRECIPITAÇÃO CONVECTIVA

Na região tropical é o tipo de precipitação mais freqüente. São as chamadas chuvas de verão, caracterizadas por serem de abrangência local e de intensidade variando de média a alta.

O aquecimento desigual das camadas de ar, resulta em uma estratificação em camadas de ar que se mantém em equilíbrio instável. Qualquer perturbação que ocorra, como por exemplo uma rajada de ventos, provoca uma ascensão violenta das camadas de ar mais quentes, capaz de atingir a grandes altitudes. Ao elevar-se sofre uma rápida expansão adiabática resfriando-se, condensando e com os intensos movimentos turbulentos no interior da névem formada, devido à alta energia da parcela a coalescência forma gotas de grande tamanho. Isto pode originar as chuvas de grandes intensidades, com curtas durações e pequenas abrangências.

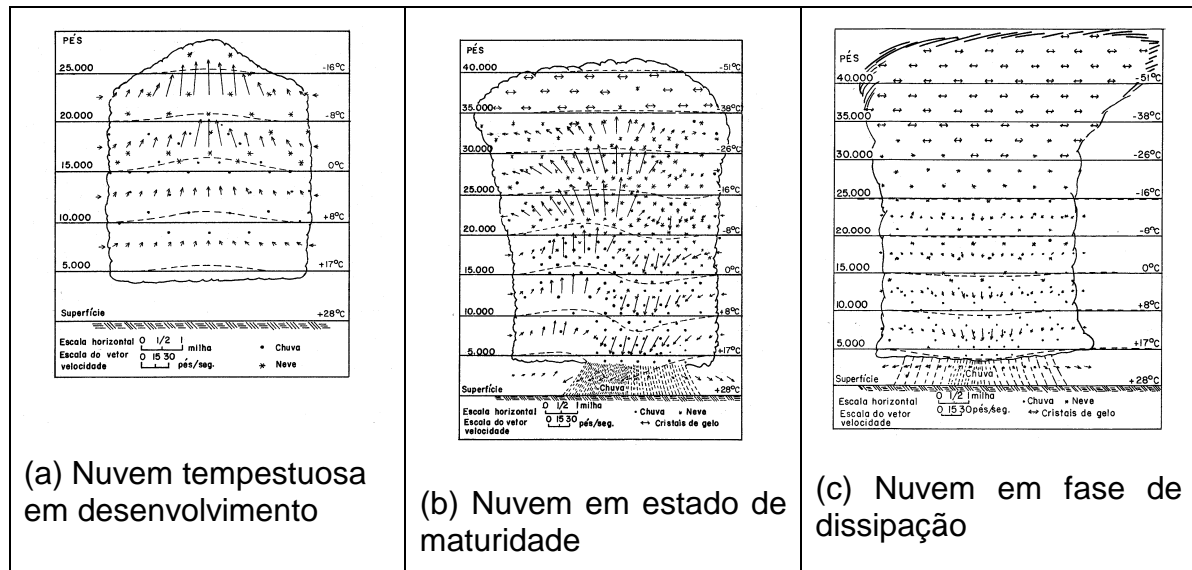


FIGURA 1 - Representação esquemática da evolução de uma chuva de verão (Segundo Petterssen, 1968) .

2.3.2. PRECIPITAÇÃO OROGRÁFICA

São os chuviscos, neblinas e garças típicas da Serra do Mar, no Brasil. Ocorre quando uma massa de ar úmido provinda do oceano é forçada a subir a grandes altitudes por encontrar uma cadeia montanhosa (do grego Oro, “montanha”) em sua rota, sofrendo resfriamento e condensando. As chuvas deste tipo atingem áreas de abrangência maiores do que as do caso anterior, tendo maior duração e menor intensidade.

Quando os ventos ultrapassam a barreira, se a maior parte do vapor d’água já tiver condensado e precipitado, do lado oposto da montanha, a sotavento (direção de onde o vento sopra), projeta-se a sombra pluviométrica, dando lugar a áreas secas ou semi-áridas causadas por esses ventos de ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta a barlavento (para onde o vento se dirige). Na vertente oriental das Montanhas Rochosas dos EUA e Canadá esse vento, quente e seco, recebe o nome de Chinook e na Europa, Mistral, sendo estes, no entanto, frios.

Entretanto, o ar também pode ser obrigado a subir, quando passa do oceano para o continente sem a presença de uma barreira de montanha. No inverno ou à noite, quando a terra está mais fria do que a água do oceano o ar carregado de umidade é obrigado a subir ao encontrar com a massa de ar em contato com o continente, mais fria, portanto mais densa.

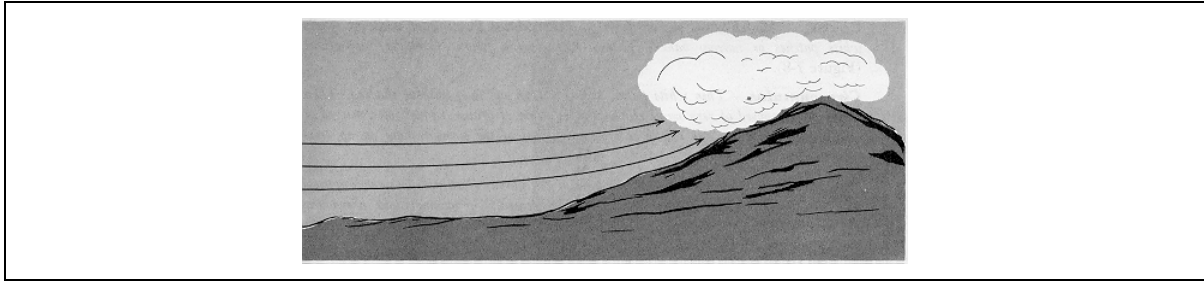


FIGURA 2 - Representação esquemática da transposição de uma massa de ar por uma barreira, com formação de nuvens e consequente precipitação.

2.3.3. PRECIPITAÇÃO CICLÔNICA

Estão associadas a movimentação de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, causada normalmente pelo aquecimento desigual, em grande escala, da superfície terrestre. Estas precipitações podem ser frontais e não-frontais. As **não-frontais** são originadas devido à convergência horizontal de duas massas de ar quente para regiões de baixa pressão culminando na ascensão vertical do ar no ponto de convergência. É o que ocorre na chamada zona de convergência intertropical (ZCIT), situada aproximadamente sobre o Equador (Figura 3), onde ocorre a convergência dos alísios do hemisfério sul e do norte, provocando a ascensão do ar. As precipitações **frontais** se originam devido a ascensão de uma massa de ar quente sobre uma de ar frio de características diferentes, na zona de contato entre elas. Quando a precipitação ocorre devido ao deslocamento de uma massa de ar quente por uma fria denomina-se chuva de frente fria, se a massa de ar frio é deslocada por uma quente, é denominada de chuva de frente quente. Normalmente são precipitações de longa duração e intensidade variável.

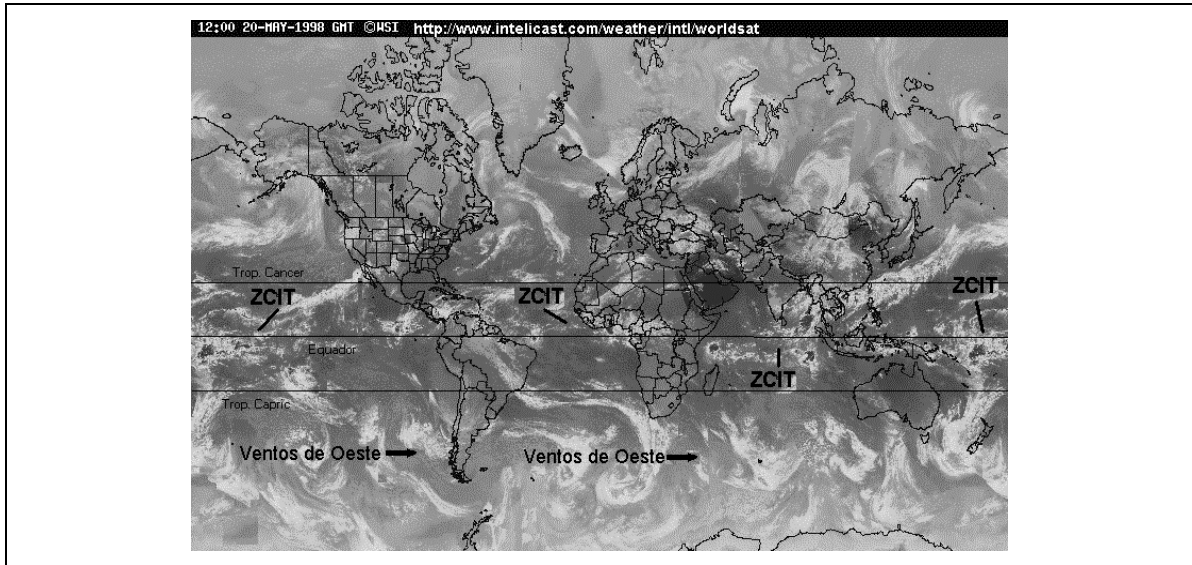


FIGURA 3 – Zona de convergência intertropical (ZCIT) e ventos de oeste no hemisfério Sul em 20/05/1998.

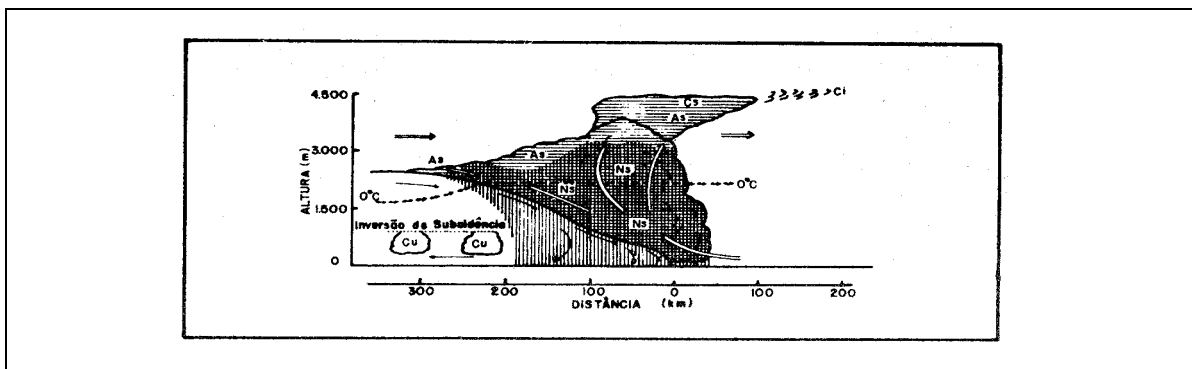


FIGURA 4- Representação esquemática de uma frente fria de deslocamento lento, mostrando a evolução das nuvens e conseqüente precipitação.

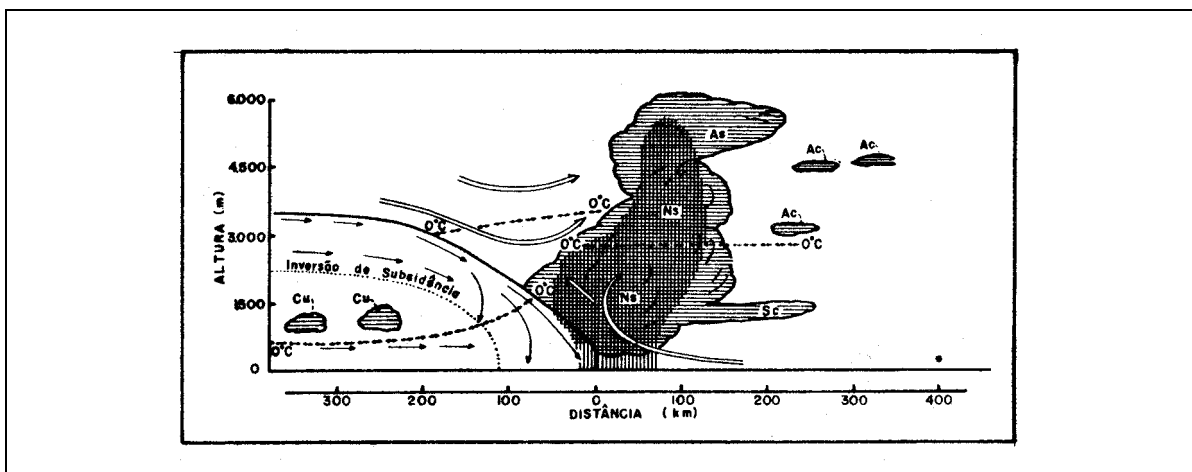


FIGURA 5- Representação esquemática de uma frente fria de deslocamento rápido, mostrando a evolução das nuvens e conseqüente precipitação.

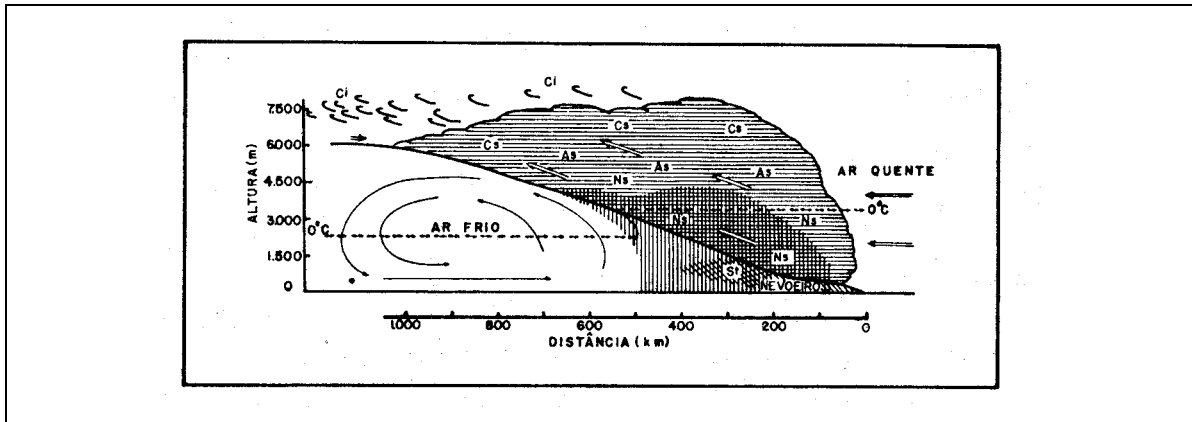


FIGURA 6- Representação esquemática de uma frente quente, mostrando a evolução das nuvens e conseqüente precipitação.

2.4. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRECIPITAÇÃO

As precipitações variam tanto do ponto de vista geográfico como também no aspecto sazonal (figuras 5 e 6). O conhecimento destas variações é de grande importância para o planejamento dos recursos hídricos como no estudo de chuvas prováveis, projeto de irrigação; estudo de chuvas intensas, secas, previsão de enchentes, dimensionamento de barragens de contenção de cheias e regularização das vazões em épocas secas, controle de erosão do solo, previsão de verânicos para escalonamento de plantio das culturas agrícolas, etc.

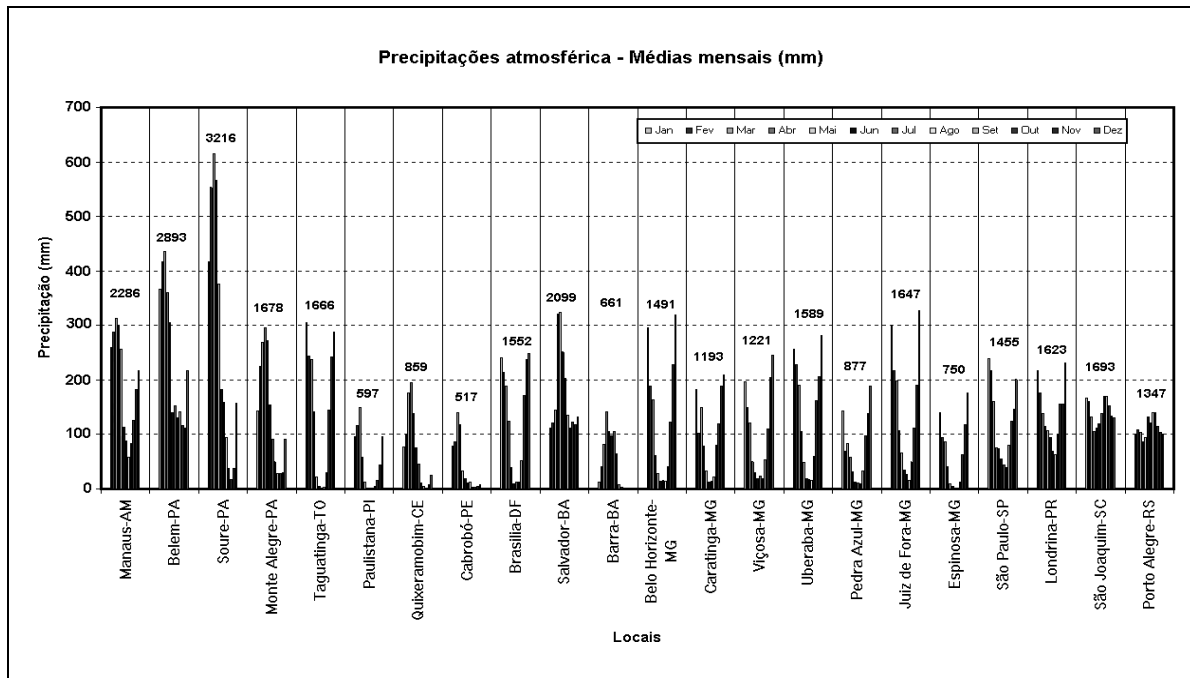


Figura 7. Precipitações atmosféricas médias mensais e total anual esperado em algumas cidades brasileiras.

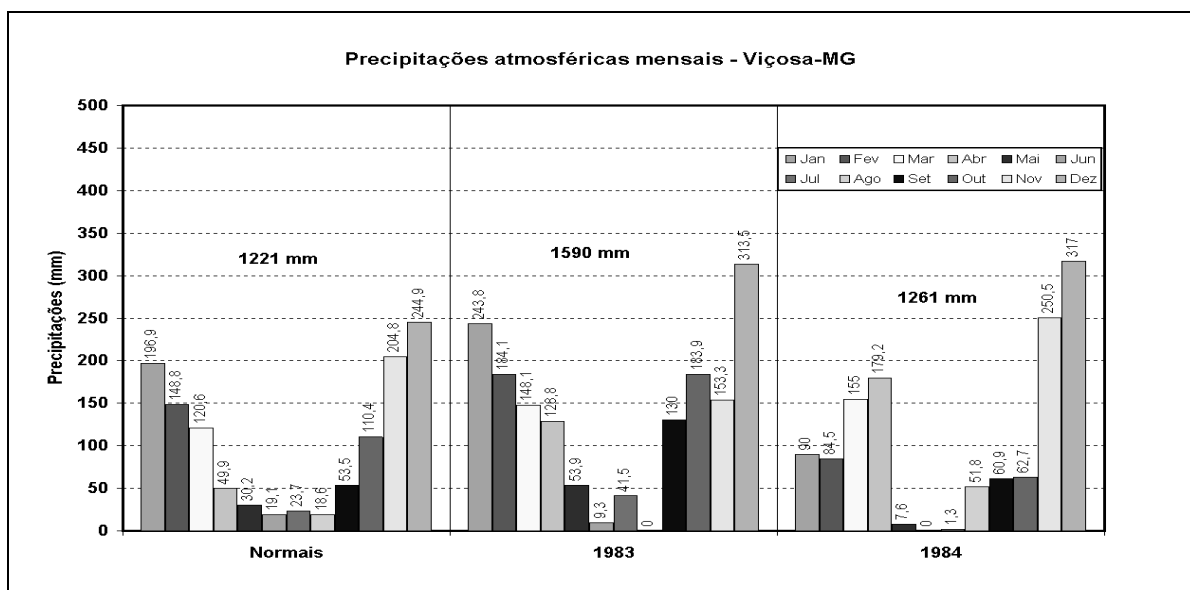


Figura 8. Precipitação atmosférica normal e as ocorridas nos anos de 1983 e 1984 em Viçosa-MG.

Do ponto de vista geográfico, a precipitação é máxima na região equatorial e decresce com o aumento da latitude em direção aos polos. Porém as isoietas de mapas de precipitação anual mostram que outros fatores, além do geográfico, têm grande influência sobre a distribuição geográfica da precipitação

(figuras **XX**). Dentre os fatores que influenciam a distribuição da precipitação citam-se:

* **latitude** - influi na distribuição desigual das pressões e temperaturas no globo e na circulação geral da atmosfera. Essa influência só pode ser percebida em grandes áreas;

* **distância do mar ou de outras fontes de água**- à medida que as nuvens se afastam do mar, em direção ao interior do continente, elas vão se consumindo de forma que se pode esperar uma redução total da precipitação com o aumento da distância da costa ou de alguma outra fonte de umidade;

* **altitude** - a pluviosidade aumenta com a altitude até um certo ponto, passando a reduzir a partir daí. A altitude de máxima precipitação é em torno de 2500m nos Alpes, onde a variação das alturas pluviométricas com a altitude é entre 0,5 e 1,5 mm por metro;

* **orientação das encostas** - sendo a precipitação influenciada por correntes eólicas, o fato de uma encosta ou vertente estar mais ou menos exposta aos ventos tem reflexos nas quantidades precipitadas. Essa influência ocorre tanto em grandes extensões como também em pequenas áreas restritas em terrenos muito acidentados;

* **vegetação** - a evapotranspiração das culturas tenderia a aumentar as precipitações locais, porém este efeito é discutível.

3. MEDIDAS DA PRECIPITAÇÃO

A medida da precipitação é feita de uma maneira bastante simples. Usa o princípio de medir a quantidade de água que cai sobre uma superfície como se fosse uma altura da coluna de água que seria formada se a superfície estivesse impermeabilizada (Figura 10)

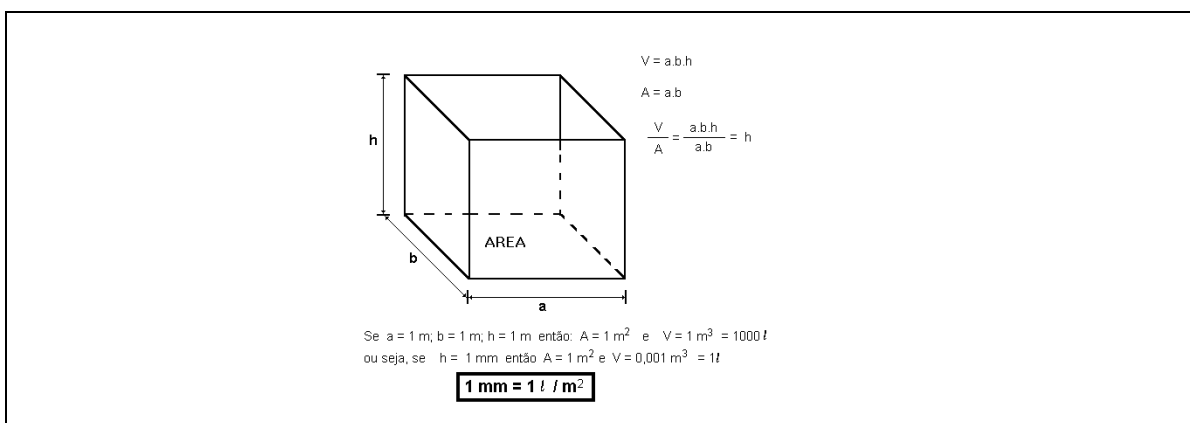


Figura 10. Representação esquemática da medida da precipitação. (**V** é o volume de chuva coletado numa caixa regular de área **a.b**; **h** é a altura da precipitação).

Para tanto basta dividir o volume de precipitação coletado pela área do coletor (Figura 11):

$$h = \text{Volume} / \text{Área}$$

Isso transforma a quantidade de água numa grandeza que independe da área onde essa precipitação ocorreu. A altura de uma coluna de água pode ser tanto sobre 1m^2 como sobre 1ha . Os volumes coletados nestas diferentes áreas, obviamente serão diferentes para uma mesma altura de coluna de água.

A unidade básica de medida da precipitação usada em meteorologia é o milímetro. 1mm corresponde a altura da coluna da água formada quando despejamos 1 litro sobre uma superfície impermeabilizada de área igual a 1m^2 . (Demonstre que essa relação é verdadeira, lembrando que 1m^3 é igual a 1000 litros).

Os equipamentos utilizados para a medida da precipitação são chamados de pluviômetros, esquematizado na Figura XX, ou pluviógrafos. Esses equipamentos funcionam basicamente coletando o volume da água precipitada sobre uma área entre 200 e 500cm^2 . No pluviômetro obtém-se a precipitação acumulada em um intervalo de tempo de 1 dia, (por isso é chamado de pluviômetro integrador, pois integra a precipitação pluviométrica no tempo), cujas leituras normalmente são realizadas às 0h , hora do meridiano de Greenwich, que corresponde a $9:00\text{h}$ da manhã, hora oficial de Brasília. No pluviógrafo, obtém-se informações relativas à duração da chuva e sua intensidade. Detalhes sobre os equipamentos, instalação e manutenção serão descritos no capítulo sobre equipamentos e apresentadas em visita ao posto meteorológico.

As principais grandezas de medidas da precipitação são: altura pluviométrica, ou precipitação total - que é, geralmente, expressa em mm ; duração - que é o tempo transcorrido desde o início até o final da precipitação; intensidade - que é a relação entre a altura de precipitação com a sua duração, por exemplo mm/h ; freqüência - que expressa o número de ocorrências de uma determinada precipitação, num determinado intervalo de tempo, por exemplo, 1 ano.

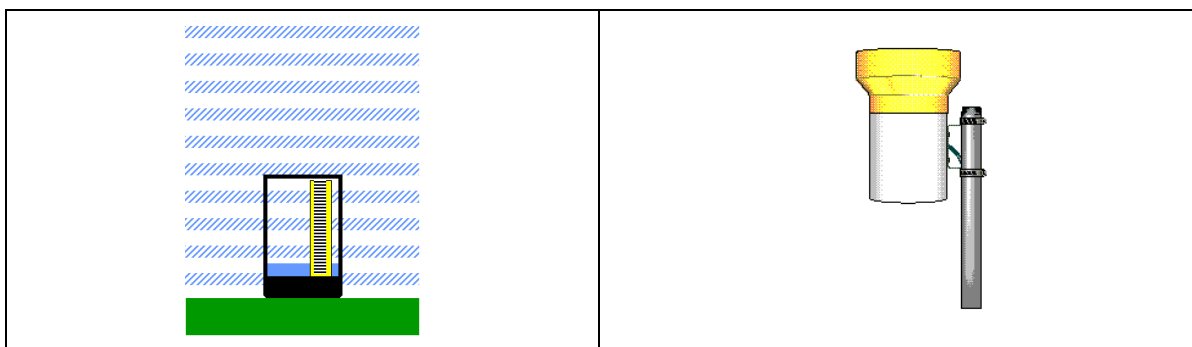


Figura 11. Esquema de um pluviômetro.

A obtenção dos dados de precipitação normalmente estão ligados a dificuldades que podem, muitas vezes, inutilizar ou distorcer as informações. Entre elas pode-se citar:

- a quantidade de água recolhida pode ser afetada por turbulências nas correntes de ventos.
- a área representada pelo pluviômetro muitas vezes é bem maior que área de abrangência da chuva. Isto ocorre com frequência no caso das chuvas convectivas, quando pode ter chovido sobre o pluviômetro e não ter ocorrido a 500m de distância dali.
- falta de preparo adequado dos operadores que pode levar a erros grosseiros de leitura e/ou anotação/digitação por desconhecerem a importância desse dado.

As alturas pluviométricas devem então ser cuidadosamente coletadas e anotadas diariamente formando uma seqüência, denominada **série de dados**. O apêndice A mostra uma série de 10 anos para Viçosa-MG.

Analisando-se os dados de 153 estações meteorológicas de todo o mundo, para verificar o afastamento da média de determinado período amostral em relação ao período total de dados existentes, concluiu-se que as médias correspondentes a períodos de 20 ou 30 anos pouco diferiram da média calculada para longos períodos e poderiam ser adotadas com suficiente precisão. Baseado nestas conclusões, a **Organização Meteorológica Mundial (OMM)** recomenda que se adote séries não inferiores a 30 anos de duração, para estudos da precipitações.

As séries podem ser dos seguintes tipos:

série completa, é aquela que contém todos os valores diários para o período considerado, ou seja, aquela que apresenta os 365 valores do ano, trata-se, portanto, de uma série com um volume muito grande de informações;

série anual, é aquela formada por apenas um valor de cada ano, que no caso de precipitações, é formada pelo maior valor de cada ano, não considerando os demais valores;

série parcial, é aquela que é formada pelos **n** maiores valores, considerando toda a série. Neste caso, pode se ter mais de um valor, em um mesmo ano.

3.1. CORREÇÃO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados coletados devem, inicialmente, ser submetidos a uma avaliação e preparo prévios que permitam sua utilização posterior. Esta análise deve ser feita o mais rápido possível, para que as dúvidas que surgirem possam ser esclarecidas.

O preparo inicial consta de duas ações assim descritas:

- **correção**, é a primeira análise a ser feita, trata-se do expurgo e correção dos erros sistemáticos e grosseiros, para posterior tabulação e/ou disposição em fichas;
- **análise comparativa da validade dos dados médios**, é sempre útil comparar as precipitações mensais, anuais ou semanais ou ainda, determinadas chuvas e suas distribuições com as obtidas em outras estações, para mesmo período, ou período equivalente. Estas comparações podem fornecer indicações sobre a consistência dos dados.

O **preenchimento de falhas** é uma técnica usualmente empregada quando em uma estação pluviométrica apresenta falhas de dados, ou por ausência do operador ou por defeitos nos aparelhos. Esta ausência de dados pode ser corrigida por uma técnica bastante simples, bastando para isto que se tenha pelo menos três estações pluviométricas próximas do local onde a informação é faltosa. *Além da proximidade das estações pluviométricas, é necessário que a região de abrangência destas estações seja homogênea.*

Esta técnica consiste em: designando de **x** a estação que representa a falha e por **A**, **B** e **C** as estações vizinhas, pode-se determinar a precipitação **P_x** da estação **x** pela média ponderada do registro das estações vizinhas (**P**), onde os pesos são as razões entre as precipitações normais anuais (**N**) (médias de pelos menos 30 anos), como segue:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Após as correções, deverão ser feitas a análise e a interpretação da homogeneidade dos novos dados com as séries das observações na mesma estação. Para isto, deve-se aplicar a “**análise de duplas massas**”. Na **análise de homogeneidade**, verifica-se se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, como por exemplo mudanças de localização da estação, das condições do aparelho ou modificações nos métodos de observação. Esse procedimento pode ser encontrado em bons textos de hidrologia.

4. ESTUDOS DE PRECIPITAÇÃO NUMA REGIÃO

4.1. PRECIPITAÇÃO MÉDIA

Em muitos casos, no estudo dos dados pluviométricos de uma região, por exemplo uma microbacia hidrográfica, necessita-se da estimativa da quantidade total de água precipitada sobre ela ou, a lâmina média precipitada em um certo intervalo de tempo.

A precipitação média é estimada com base na hipótese de que seja representativa das precipitações ocorridas na área como um todo. O cálculo desta média é realizado por quatro métodos que serão brevemente discutidos.

- **Média aritmética simples:** é a forma mais simples de se determinar a precipitação média de uma bacia. Consta de se determinar a média aritmética das estações compreendidas na área considerada ou nas vizinhanças. Esta média será representativa se a amplitude de variação das precipitações entre as estações for pequena e a distribuição geográfica das estações de coleta for uniforme em toda a área.
- **Média ponderada,** considera as características físicas da região. Normalmente a característica considerada é a altitude. Obtém-se a estimativa, relativamente precisa, da precipitação média, quando se consegue estabelecer uma lei segura, relacionando a precipitação com a característica física da região, subdividindo-a em áreas homogêneas, aplicando em cada uma delas a respectiva altura pluviométrica indicada pela lei de variação. Este método é empregado em áreas muito acidentadas, quando se utilizam as curvas de nível para delimitar as zonas parciais. Este método é válido quando se tem uma marcante influência da característica física sobre a precipitação.
- **Método das isoietas,** (isoietas são linhas de mesma precipitação) é o método mais racional para se determinar a lâmina média em uma área. Este método, apesar das imprecisões oriundas do traçado das isoietas, tem a vantagem de poder englobar todos os fatores que possam influenciar na distribuição das precipitações. A precisão deste método depende da habilidade do analista em locar as isoietas. O traçado destas curvas é simples e semelhante ao das curvas de nível, onde a altura de precipitação substitui a cota do terreno, para tal deve-se considerar os efeitos orográficos e geomorfológicos, de modo que um mapa final represente um modelo de precipitação mais real do que poderia ser obtido por medidas isoladas.

- **Método de Thiessen**, pode ser aplicado mesmo para uma distribuição não uniforme das estações pluviométricas. O método consiste basicamente em atribuir pesos aos totais precipitados em cada aparelho, proporcionais à área de influência de cada um. Estas áreas são determinadas considerando também, as estações vizinhas, unindo-as por meio de linhas retas, formando triângulos entre as estações, em seguida traça-se mediatrizes dessas retas formando polígonos. O limite das áreas de influência de cada estação pluviométrica é, então, dado pelo polígono obtido. Este método tem como limitação não considerar as influências orográficas, admitindo simplesmente uma variação linear da precipitação entre as estações; admite que a precipitação seja constante em toda a área do polígono definido.

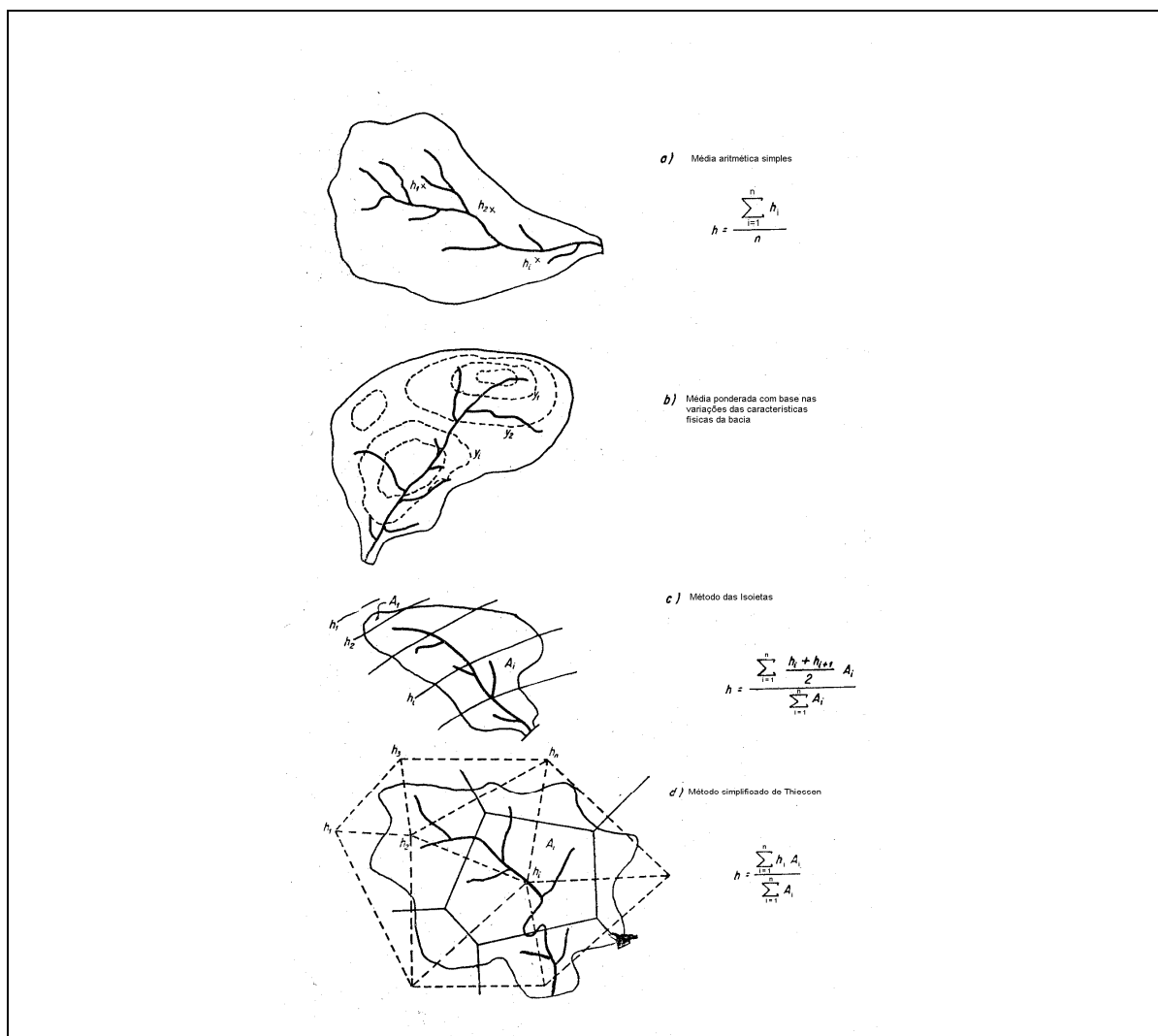


Figura 12. Ilustração dos métodos da média aritmética, média ponderada, Isoietas e Thiessen.

4.2. FREQUÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E GRAU DE RISCO

A hidrologia é um ramo da ciência que está relacionada com fenômenos ou eventos naturais no decurso do tempo e as análises dos problemas, causados por eles, dependem das observações da magnitude, duração e localização destes eventos. Nestes estudos, a estatística é uma ferramenta de grande valia. Pode-se, por meio dela, reduzir extensas séries de dados disponíveis em um certo número de elementos característicos que pretendem definir sinteticamente as observações.

Os principais elementos que caracterizam uma chuva são:

- * **valor central ou dominante**, é um número único que representa toda a série e que pode ser definido pela média aritmética, mediana ou moda. A média é a somatória de todas as observações dividida pelo número das mesmas. A mediana corresponde ao valor da variável com uma frequência acumulada de 50%. A moda é definida como o valor da variável que aparece maior frequência na série de dados, ou grosso modo aquele que se repete o maior número de vezes.
- * **dispersão ou flutuação em torno da média**, é usualmente definida pelo desvio padrão amostral (**S**), ou pelo coeficiente de variação (**cv**)

A frequência de ocorrência de um determinado evento, ou seja, sua probabilidade de ocorrência, é de grande valia para projetos de engenharia pois, para o dimensionamento de obras é preciso conhecer a intensidade e a frequência da ocorrência do evento considerado.

Na análise da frequência de uma série de **n** dados, eles devem ser dispostos em ordem crescente ou decrescente, dependendo do caso, e a cada observação atribui-se um número de ordem **m**. A **frequência (F)** com que um evento de ordem **m** é *igualado ou superado* (se a ordenação for decrescente), ou *menor ou igual*, (se a ordenação for crescente) pode ser obtida pelo **Método de Kimbal**, expresso da seguinte forma:

$$F = \frac{m}{n + 1}$$

A principal limitação destes métodos é a existência de um evento com mais de uma ocorrência, encontrando-se dois valores de frequência para um mesmo evento o que não seria, rigorosamente falando, correto.

Uma boa estimativa da **probabilidade** teórica de ocorrência de um determinado evento é obtido pelo **tempo de recorrência**, que é definido como sendo o tempo médio, em anos, em que um determinado evento deve ser

igualado ou superado em pelo menos uma vez. O **tempo de recorrência** ou **período de retorno (T)** é obtido por:

$$T = \frac{1}{F}$$

Para $T < n$ o valor de **F** fornece uma boa estimativa do valor real da probabilidade.

Se **F** é a frequência ou probabilidade com que um evento seja igualado ou superado ao menos uma vez num determinado período de anos então, $(1 - F)$ é a probabilidade de que ele não seja igualado ou, mesmo, não ocorra.

Os projetos de drenagem de superfície são realizados com a expectativa de que os canais tenham a sua capacidade volumétrica superada, em média, uma vez a cada 5, dez ou mais anos. O tempo deve ser escolhido em função de uma análise econômica, considerando os prejuízos resultantes de uma inundação e os custos de estruturas de maior capacidade. Quanto maior o período de retorno, maiores serão os valores das vazões de pico e conseqüentemente, maior será a segurança na obra.

Em projetos de barragens, onde existem riscos de vida humana os períodos de retorno devem ser de 1000 a 10000 anos. Para tal é necessário que se tenha uma longa série de dados, de maneira que seja possível extrapolar os dados para grandes períodos de retorno. Em obras de canalização de cursos d'água de pequenas bacias de drenagem para controle de inundação, o período de retorno pode ser de 5 a 50 anos. A escolha da altura da lâmina de chuva para o projeto, visando a eliminação do escoamento superficial, é obtida com base em fatores econômicos. Em projetos agrícolas é freqüente a previsão dos fenômenos meteorológicos com período de retorno de 10 anos. Estas informações podem variar com a região, como por exemplo para o Sul de Minas Gerais, onde é recomendado um período de retorno de 20 anos.

Nem todo projeto deve ser dimensionado para o evento máximo, pois, neste caso, a obra, superdimensionada, tornar-se-ia extremamente custosa economicamente. Deve-se, então, trabalhar com um certo grau de risco, que varia dependendo do tipo da obra a ser realizada, por exemplo uma barragem a montante de uma cidade ou um projeto de drenagem, e as estruturas e comunidades que seriam eventualmente afetadas. O **grau de risco (J)** é definido como sendo a probabilidade do evento ser superado em pelo menos uma vez dentro do período considerado e é obtido da seguinte forma:

$$J = 1 - (1 - F)^N$$

em que

N = número de anos considerados;

F = probabilidade de que o evento seja superado ou igualado ($1/T$).

Para maior detalhamento dessa metodologia recomenda-se também a consulta de textos de hidrologia básica.