

**Universidade do Extremo Sul Catarinense
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

**Utilização da Modelagem Matemática no Planejamento
Ambiental no Litoral Sul de Santa Catarina**

Adriane Brogni Uggioni

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador:
Prof. Dr. Álvaro José Back

**Criciúma
2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Utilização da Modelagem Matemática no Planejamento Ambiental no Litoral Sul de Santa Catarina

Adriane Brogni Uggioni

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ecologia e Gestão de Ambientes Alterados

Orientador:
Prof. Dr. Álvaro José Back

**Criciúma
2005**

Comissão Julgadora:

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr. Álvaro José Back
Orientador

Em memória de meu amado pai Octávio Brogni, o qual tenho muito orgulho de fazer parte de sua existência. Obrigada meu pai querido!

AGRADECIMENTOS

Ao mestre Prof. Álvaro José Back, por sua orientação segura, conhecimentos transmitidos e pelas demonstrações de apoio, amizade e incentivo perante aos “desânimos” que surgiram ao longo da realização deste trabalho;

Aos amigos e aos meus colegas de classe mostrando que as diferenças, é que nos permitem crescer;

Aos meus companheiros professores das Escolas de Educação Básica João Frassetto e Padre Miguel Giacca, onde muito me incentivaram, ajudando e colaborando para que conseguisse terminar este trabalho;

À UNESCO, pela concessão das bolsas, pois só assim foi possível a realização desta obra;

Aos Cursos de Engenharia de Materiais, Engenharia Civil, Fisioterapia e principalmente aos cursos de Administração e Matemática, os quais na pessoa dos seus coordenadores deram todo apoio, incentivo e cooperação durante todo o processo de elaboração dessa tese;

À família, a minha mãe Zulma, que além de seu incentivo, deu sugestões e idéias para que esta obra pudesse ser concluída. Ao meu esposo e companheiro, Edison, também professor, e que ao lado de suas atividades profissionais e ocupações familiares, muito me auxiliou na elaboração e revisão do texto final, a ele e aos meus filhos: Hugo e Bruno, o reconhecimento pelo estímulo e compreensão das horas tomadas aos carinhos e ao lazer. Deixo aqui registrado a grande ajuda que meus filhos deram-me ao ditar os vários valores e a entender escutando as minhas palavras na preparação da apresentação deste trabalho.

Em fim a todos, que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

Foram analisados dados de precipitação de cinco estações pluviométricas localizadas no extremo sul catarinense, nos municípios de Araranguá, Forquilha, Içara, Meleiro e Timbé do Sul e ajustado um modelo para gerar séries sintéticas de dados de chuva. Para cada estação foram determinadas as características mensais (média, variância, assimetria, maior e menor valor) da precipitação total e do número de dias de chuva. Para simular ocorrência da chuva foi adotado o modelo de Markov de primeira ordem de dois estados, e para simular a quantidade de chuva nos dias com chuva foram testadas a distribuição exponencial e a distribuição gama. Também verificou-se as probabilidades de ocorrências de dias consecutivos de chuva e de dias secos, considerando dias seco todo o dia com precipitação inferior a 1,0 mm. Comparando-se as características da chuva nas séries observadas e das séries de cem anos simuladas observou-se que o modelo foi capaz de simular a chuva mantendo suas características (médias, variância e assimetria). Não foi verificada diferenças entre as séries simuladas com a distribuição exponencial e a distribuição gama. As seqüências observadas de dias secos e dias com chuva foram comparadas com as freqüências estimadas pela distribuição geométrica. Empregando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov observou-se que em todas as estações estudadas os valores de $D_{critico}$ foram superiores ao valor de D_{max} mostrando que distribuição geométrica pode ser utilizada para a estimativa das probabilidades de seqüências de dias com chuva ou de dias secos.

Palavras-chave: Modelagem, Precipitação, Probabilidade

ABSTRACT

This researcher analysed precipitation data collected from five pluviometric stations in the state of Santa Catarina, in the regions of Araranguá, Forquilha, Içara, Meleiro and Timbé do Sul. A model was adjusted to create synthetic series of rain's data. Each station had some monthly characteristics determined such as: average, variation, asymmetry and higher or lower value. All these characteristics related to total precipitation and the days of rain. Markov's model was adopted to simulate rain in two states, and in order to simulate the quantity of rain, in rainy days, the exponential distribution and the gamma distribution were used. Also analysed the probability of having rain in every other day and during dry days, considering dry days those days whose precipitation is lower than 1,0 mm. Comparing the rain characteristics observed and the one hundred year rain simulated, it is possible to claim that the model is able to simulate rain keeping its characteristics (average, variation and asymmetry). It was not figured out differences between the simulations with the exponential distribution and the gamma distribution. The dry and rainy sequences watched were compared to the frequencies estimated by the geometric distribution. The Kolmogorov-Smirnov' test showed that in all stations the figure in $D_{critical}$ were higher than in D_{max} proving that the geometric distribution can be useful to forecast rainy and dry day sequences.

Keyword : Modelling, Precipitation, Probability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação média mensal observada nas estações estudadas	24
Figura 2 - Número médio de chuva ($\geq 1,0$ mm) nas estações estudadas	25
Figura 3 - Precipitação total anual observada, simulada pela distribuição exponencial e simulada pela gama.....	26
Figura 4 - Número médio de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) para as séries observadas e simuladas	27
Figura 5 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Araranguá-SC.....	36
Figura 6 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Forquilha	37
Figura 7 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Içara.....	38
Figura 8 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Meleiro	39
Figura 9 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Timbé do Sul.....	40
Figura 10 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Araranguá-SC	49
Figura 11 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Araranguá-SC	49
Figura 12 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Forquilha-SC	50
Figura 13 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Forquilha-SC	50
Figura 14 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Içara-SC.....	50
Figura 15 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Içara-SC	51

Figura 16 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Meleiro-SC	51
Figura 17 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Meleiro-SC	51
Figura 18 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Timbé do Sul-SC	52
Figura 19 - Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Timbé do Sul-SC	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas.....	18
Tabela 2 – Estatísticas de precipitação total mensal observada de Araranguá/S.....	28
Tabela 3 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Araranguá/SC.....	28
Tabela 4 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Araranguá/SC.....	28
Tabela 5 - Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Araranguá/SC.....	28
Tabela 6 - Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Araranguá/SC	29
Tabela 7 – Estatísticas de precipitação total mensal observada de Forquilha/SC.....	29
Tabela 8 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Forquilha/SC.....	29
Tabela 9 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Forquilha/SC.....	29
Tabela 10 - Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Forquilha/SC.....	30
Tabela 11 - Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Forquilha/SC.....	30
Tabela 12 – Estatísticas de precipitação total mensal observada de Meleiro/SC...	30
Tabela 13 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Meleiro/SC.....	30
Tabela 14 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Meleiro/SC.....	31
Tabela 15 - Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Meleiro/SC.....	31
Tabela 16 - Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Meleiro/SC.....	31
Tabela 17 – Estatísticas de precipitação total mensal observada de Içara/SC	31
Tabela 18 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Içara/SC	32

Tabela 19 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Içara/SC	32
Tabela 20 - Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Içara/SC	32
Tabela 21 - Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Içara/SC	32
Tabela 22 – Estatísticas de precipitação total mensal observada de Timbé do Sul/SC	33
Tabela 23 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Timbé do Sul/SC	33
Tabela 24 - Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Timbé do Sul/SC	33
Tabela 25 - Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Timbé do Sul/SC	33
Tabela 26 - Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Timbé do Sul/SC	34
Tabela 27 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Araranguá-SC	36
Tabela 28 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Forquilha	37
Tabela 29 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Içara.....	38
Tabela 30 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Meleiro	39
Tabela 31 - Probabilidade de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Timbé do Sul.....	40
Tabela 32 - Média(X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo modelo exponencial e modelo gama para Araranguá, SC	41

Tabela 33 - Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo modelo exponencial e modelo gama para Forquilha, SC	42
Tabela 34 - Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo modelo exponencial e modelo gama para Içara, SC.....	42
Tabela 35 - Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo modelo exponencial e modelo gama para Meleiro, SC	43
Tabela 36 - Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo modelo exponencial e modelo gama para Timbé do Sul, SC	43
Tabela 37 - Parâmetros da distribuição exponencial (α) e distribuição gama (β , γ) ajustados para cada estação.....	44
Tabela 38 - Número máximo dias consecutivos de chuvas e de dias secos(N), desvio máximo (D.máx.) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo teste Kolmogorov –Smirnov para o nível de significância de 10% para Araranguá, SC.....	47
Tabela 39 - Número máximo dias consecutivos de chuvas e de dias secos (N), desvio máximo (D.máx.) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo teste Kolmogorov –Smirnov para o nível de significância de 10% para Forquilha, SC.....	47
Tabela 40 - Número máximo dias consecutivos de chuvas e de dias secos (N), desvio máximo (D.máx.) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo teste Kolmogorov –Smirnov para o nível de significância de 10% para Içara, SC	48
Tabela 41 - Número máximo dias consecutivos de chuvas e de dias secos (N), desvio máximo (D.máx.) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo teste Kolmogorov –Smirnov para o nível de significância de 10% para Meleiro, SC.....	48
Tabela 42 - Número máximo dias consecutivos de chuvas e de dias secos (N), desvio máximo (D.máx.) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo teste Kolmogorov –Smirnov para o nível de significância de 10% para Timbé do Sul, SC	49

Tabela 43 - Probabilidade de ocorrência de até três dias consecutivos com chuva.....	53
Tabela 44 - Probabilidade de ocorrência de até dez dias consecutivos sem chuva.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos.....	02
1.1.1 Objetivos Específicos.....	02
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Clima no Estado de Santa Catarina.....	03
2.2 Características de Precipitação	05
2.3 Diferenciação de dias secos e dias com chuvas.....	07
2.4 Modelo Matemático.....	08
2.5 Modelos Estatísticos de Precipitação.....	11
2.6 Cadeias de Markov	12
3 MATERIAL E MÉTODO.....	18
3.1 Dados Utilizados.....	18
3.2 Estatísticas Descritivas	18
3.3 Modelagem da Ocorrência de precipitação.....	19
3.4 Modelagem da Quantidade de precipitação.....	20
3.5 Modelagem de dias secos e chuvosos	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Estatísticas mensais de chuvas das séries observadas e simuladas.....	23
4.2 Parâmetro da cadeia de Markov	35
4.3 Parâmetro para simulação de quantidade de chuvas	41
4.4 Seqüência de dias com chuva e dias secos	45
5 CONCLUSÕES.....	54
6 REFERÊNCIAS	55
7 ANEXOS.....	59
7.1 Anexo 1.....	60

1 INTRODUÇÃO

Alguns dos principais desafios que o Brasil deverá enfrentar nas próximas décadas estão relacionados com o aproveitamento e controle dos recursos hídricos. Sabe-se também que este é um fato não específico do Brasil mas do mundo.

Infelizmente em questão de recursos hídricos, nenhuma decisão ou medida, tem-se certeza que estejamos certos, mas é vital que as decisões referentes a estes recursos sejam tomadas sob o menor grau de incertezas e riscos possíveis.

Em se tratando de recursos hídricos, a precipitação é de grande interesse para todos os envolvidos nessa empreitada. A precipitação é um dos elementos meteorológicos que exerce mais influência sobre as condições ambientais. Além do seu efeito direto sobre o balanço de água, ela influencia indiretamente outras variáveis, como a temperatura do ar e do solo, a umidade do ar e a radiação solar, que são fatores básicos para o crescimento e desenvolvimento dos seres vivos.

Em quase todas as atividades agrícolas e em muitas não agrícolas, mas com importância econômica ou social, a ocorrência de precipitação, bem como sua quantidade e intensidade, pode determinar o sucesso ou o fracasso de um empreendimento.

Tendo em conta estes aspectos relevantes existe, em todas as partes do mundo, um esforço institucional e pessoal muito grande no sentido de medir as quantidades de chuva, bem como prever sua ocorrência nos mais variados locais. Os resultados ainda infelizmente, não são os mais esperados, pois a ocorrência de chuva não é um processo nem de natureza puramente determinística nem puramente estocástica.

Assim, embora não exista ainda, nenhum meio rotineiro de se fazer previsões de caráter estacional e ou anual, algumas características das chuvas de um local ou região, podem ser extraídas da análise dos registros do que aconteceu no passado. É esta conceituação que tem sido utilizada na elaboração de modelos para descrever a ocorrência e a quantidade de chuvas. Entretanto, em muitos locais os registros históricos de chuva são relativamente curtos, e em muitas situações apresentam muitas falhas, impossibilitando assim inferências estatísticas seguras e confiáveis. Nestas condições pode-se utilizar séries hidrológicas de precipitação simuladas, para fazer as inferências estatísticas desejadas.

Considerando as limitações, tais modelos são úteis do ponto de vista do planejamento das atividades agrícolas, incluindo, principalmente o preparo do solo, a semeadura, a irrigação e a colheita, bem como atividades não agrícolas, que dependem das condições meteorológicas. É útil também para o dimensionamento e manejo de reservatórios de água para o abastecimento de centros urbanos bem como para o planejamento de atividades esportivas e turísticas.

1.1 Objetivos

O principal objetivo do presente trabalho é elaborar um modelo matemático que descreva a ocorrência e a quantidade de chuva com vista ao planejamento ambiental e testar sua adequacidade para as condições climáticas da região do litoral sul de Santa Catarina.

1.1.1 Objetivo Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Ajustar um modelo matemático para o cálculo da probabilidade de ocorrência de dias secos e dias com chuva;
- Ajustar um modelo de probabilidade para o cálculo das chuvas esperadas;
- Simular séries de chuvas diárias e comparar as estatísticas observadas (média, variância, assimetria, precipitações máximas) com as estatísticas observadas;
- Estabelecer as probabilidades de ocorrência de longos períodos sem precipitação bem como da seqüência de dias chuvosos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Clima no Estado de Santa Catarina

Segundo Vianello (1991), na definição clássica de clima é um conjunto de fenômenos meteorológicos, que caracterizam o estado médio da atmosfera, em um determinado ponto da superfície da Terra. Evidentemente, referindo-se à média de elementos meteorológicos, como a precipitação pluvial, a temperatura do ar, a velocidade do vento e demais variáveis meteorológicas, em um longo período de observação.

Conforme Vianello (1991), os fenômenos relacionados com a dinâmica da atmosfera (frentes meteorológicas) e fatores geográficos, como a orografia, a continentalidade e a maritimidade, são os determinantes das principais características climáticas do extremo sul do Brasil.

As massas de ar que influem na origem do clima do sul do Brasil são as seguintes:

- Massa Tropical Marítima (Tm): com origem no anticiclone do Atlântico (30°S), caracteriza-se como quente e úmida e atua durante todo o ano;
- Massa Polar Marítima (Pm): com origem em latitudes subpolares, caracteriza-se como fria e úmida e atua no Estado durante todo o ano, porém de forma mais ativa durante o inverno;
- Massa Tropical Continental (Tc); originária da região do Chaco, penetra em Santa Catarina pelo oeste, caracterizando-se como quente e seca e de atividade mais intensa no verão;
- Massa Equatorial Continental (Ec); massa quente e úmida penetra no Estado pelo noroeste, especialmente no verão.

Entre os aspectos estáticos, a orografia influi particularmente no regime de chuvas, e a continentalidade e a maritimidade, no regime térmico.

Conforme Herrmann (1997), o clima do litoral de Santa Catarina é classificado segundo a classificação de Koeppen como clima Cfa, ou seja, clima subtropical (mesotérmico) constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente (temperatura média do mês mais quente acima de 22,0 °C).

O regime de precipitação em Santa Catarina caracteriza-se por ser distribuído ao longo do ano. Em geral, as chuvas estão associadas à passagem dos sistemas

de escala sinótica (sistemas frontais que atingem as latitudes médias). Segundo Nimer (1979), na estreita área do litoral catarinense, o máximo pluviométrico ocorre no verão (janeiro, fevereiro e março), enquanto o índice mínimo, na maioria das vezes, é registrado no inverno e secundariamente, no outono.

A precipitação total anual no estado de Santa Catarina varia de 1220 a 2200mm, sendo os valores mais altos observados no litoral norte do Estado, e no extremo oeste. A região do litoral sul do estado é caracterizada pelos menores valores de precipitação total anual, variando de 1.220 a 1.660 mm, com o total anual de dias de chuva entre 98 e 150 dias (EPAGRI, 1999). No geral a precipitação está bem distribuída durante o ano devido às características do relevo e à atuação da Massa de ar Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica, que por sua constância fazem com que não ocorra uma estação seca (SANTA CATARINA, 1996).

Os menores valores observados no litoral sul de Santa Catarina, refletem a atuação de corrente fria das Malvinas e as modificações locais da circulação atmosférica, determinadas pela passagem livre de ventos vindos do oceano, que na sua rota do mar até as encostas da Serra Geral, perdem umidade (ORSELLI, 1991). O litoral centro-sul de Santa Catarina recebe diretamente os ventos polares de sul e sudeste trazidos pelo anticiclone polar e sua frente (NIMER, 1979).

No litoral centro-norte os valores pluviométricos mostram-se relativamente mais elevados. Particularmente, esta região sofre influência direta na Massa Tropical Marítima (Tm), o fato que pode ser explicado pela forma de relevo adquirido, voltado para a direção da fluência dos ventos originários da (Tm). Com seu anticiclone localizado na região sudeste do Brasil, os ventos que se originam desta, fluem do nordeste, na região centro-norte catarinense (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

Segundo Monteiro (1968), a Tm torna-se mais instável no inverno, devido à subsistência superior do centro de ação (Anticiclone). No verão, quando as massas polares encontram-se enfraquecidas, esta massa adquire considerável umidade, tornando-se instável. Esta estabilidade provém do aquecimento basal que sofre, ao contato com o continente, e também pelo efeito orográfico do conjunto Atlântico.

Observa-se uma acentuada variação na precipitação pluviométrica dentro da região sul catarinense, em geral a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores de pluviosidade, são observados próximos a encosta. Essa variação se explica em parte pelo efeito da orografia na origem das chuvas (Santa Catarina, 2000). Valdati (2000) instalou 6 pluviômetros na sub-Bacia do Rio da

Pedra, dispostos no sentido Oeste- Leste, com altitudes variando de 220 m até 60 m, distanciados de 12 km e encontrou variações de 2591,47 mm até 1766,79 mm na precipitação total do ano de 1998.

Quanto às características das precipitações, observa-se algumas diferenças sazonais. Os meses de dezembro a março são caracterizados por chuvas mais freqüentes e de maior intensidade. Por outro lado os meses de maio a setembro são caracterizados pela menor intensidade e menor freqüência das chuvas.

No território catarinense, evidenciam-se as características subtropicais, sendo que os valores de temperatura sofrem forte influencia da altitude, com os menores valores registrados nos pontos de cota mais elevada. Segundo EPAGRI (1999), na região Sul a temperatura média anual varia de 17,0 a 19,3 °C. A temperatura média das máximas varia de 23,4 a 25,9 °C, e das mínimas de 12,0 a 15,1 °C . Podem ocorrer, em termos normais, de 0,3 a 11,0 geadas por ano. Os valores de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2 °C são relativamente baixos (de 164 a 437 horas acumuladas por ano). A insolação total normal anual varia de 1.855 a 2.182 horas nesta sub-região (THOMÉ et al, 1999).

2.2.Características da Precipitação

A precipitação é o resultado de um complexo processo atmosférico, intimamente ligado à ascensão das massas de ar, onde a água proveniente do vapor d'água da atmosfera é depositada na superfície terrestre na forma de chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Neste trabalho só se considerará a precipitação sob a forma de chuva e os dois termos serão usados sem distinção. Existem muitas publicações sobre os processos atmosféricos e os mecanismos físicos geradores das precipitações, entre eles o trabalho de Occhipinti (1989).

Conforme o motivo que causa a ascensão das massas de ar, as chuvas se classificam em três formas:

- **Precipitações Frontais ou ciclônicas.** Resultam da ascensão do ar quente sobre o ar frio, na zona de contato entre duas massas de ar, com características diferentes. Quando a massa de ar frio se move em direção a massa de ar quente, a frente é conhecida como “frente fria”, e ao contrário é dita “frente quente”. Em Santa Catarina as frentes frias assumem grande importância na distribuição das chuvas durante o ano todo. As precipitações frontais se caracterizam por ser chuvas de intensidades médias porém com

- longa duração, abrangendo grandes áreas e podendo assim causar inundações em grandes bacias;
- **Precipitações Orográficas:** Chuvas causadas pelo resfriamento da massa de ar úmido, que ao encontrar uma barreira de montanhas é forçada a se elevar. São chuvas de intensidade variável e grande duração, abrangem áreas relativamente pequenas e caracterizam-se por serem freqüentes. Em Santa Catarina as chuvas orográficas determinam os maiores totais pluviométricos próximo a Serra do Mar (BACK, 2002);
 - **Precipitações Convectivas:** São chuvas causadas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, provocando uma elevação brusca da massa de ar à grandes altitudes. São características das tempestades ou trovoadas, ocorrendo com maior freqüência nos meses de verão. Essas chuvas são em geral de curta duração e alta intensidade, abrangendo áreas relativamente pequenas, causando portanto, alagamento em pequenas bacias hidrográficas (TUCCI, 1993).

É necessário lembrar que a ocorrência de um dos tipos de chuva, não exclui o outro. O efeito orográfico pode se fazer sentir tanto para as perturbações dos sistemas frontais, quanto para as trovoadas de convecção térmica. Na região Sul é comum nos meses mais quentes, as frentes frias virem acompanhadas de trovoadas. Observando-se pancadas de chuvas fortes seguidas de chuvas de menor intensidade e maior duração. As chuvas mais intensas e persistentes, tendem a ocorrer quando atividade convectiva é associada à frente fria. Nestas situações ocorrem as chuvas pré-frontais, em que elevados volumes são precipitados em curtos intervalos de tempo, funcionando a convecção térmica como o início da instabilidade.

Os principais instrumentos utilizados para medir a chuva, são o pluviômetro e o pluviógrafo. Os pluviômetros são aparelhos mais simples, que acumulam a água da chuva no interior de um recipiente. A altura pluviométrica é dada pela relação entre o volume de água coletado, e a área da superfície do pluviômetro, sendo geralmente expressa em mm. Os pluviógrafos são instrumentos que registram a altura pluviométrica, e a duração da chuva em gráficos, tendo a vantagem de fornecer a intensidade da chuva

A precipitação é um dos elementos climáticos que apresenta maior variação temporal e espacial, determinada principalmente pela movimentação contínua das

massas de ar. Embora existam um número relativamente grande de postos pluviométricos com registros de chuva, em muitos casos as séries históricas são relativamente curtas e apresentam diversas falhas nos registros. A modelagem matemática é uma ferramenta que pode ser importante na ausência de dados de chuva ou quando as séries de dados não são adequadas.

Clarke (1973), comenta que os modelos hidrológicos podem ser usados para diferentes propósitos como: fazer estimativas de frequências de eventos extremos; fazer investigação de regras de operação de sistemas hídricos; para estender séries curtas de dados hidrológicos, ou ainda, para fornecer seqüências sintéticas como parâmetros de entrada em modelos.

2.3 Diferenciação de Dias Secos e Dias com Chuvas

Existe na literatura uma conceituação confusa na definição de dias sem chuva e dias “secos” e, na definição de dias com chuva ou sem chuva: é necessário se estabelecer o critério de distinção. A seca, no entendimento de Monteiro (1968) é considerada como uma condição em que a quantidade de água disponível no solo é inferior àquela necessária para a planta atender à demanda atmosférica. É, portanto, dependente das condições do solo, da planta e da atmosfera. Mas a busca de simplificação tem levado alguns autores, a considerarem dia sem chuva como dia seco como Longley (1953); Lawrence (1954) e Amir et al (1977) entre outros. Já Silva et al (1977) e Wolf (1977) definiram dia seco como o dia em que a chuva não excedia a evapotranspiração.

Na grande maioria dos trabalhos, considera-se dias sem chuva como sendo os dias com precipitação pluviométrica menor ou igual a 0,1 mm (FEYERHERM; BARK, 1967;). Tal valor é equivalente à menor quantidade registrada pelo pluviógrafo. Valores superiores a 0,1mm também são considerados (ROBERTSON, 1976), dependendo da finalidade do estudo. Na avaliação da ocorrência de “períodos secos” em Brasília, Wolf (1977), por exemplo, considerou como dias com no mínimo 5,0 mm de chuva, assumindo este valor como representativo da evapotranspiração média da região. Já Milde (1983) utilizou como limite o valor de 0,5 mm, num estudo sobre chuva na região cacauzeira, o arredondamento dos valores de precipitação pluvial.

Mas na comparação entre dias sem chuva e chuvosos é importante observar-se (WILLIAMS, 1952) que a expressão “um dia sem chuva” significa no mínimo 24

horas sem chuva; “dois dias sem chuvas”, significa no mínimo 48 horas sem chuva e assim por diante. Por outro lado “um dia chuvoso”; pode representar desde 1,0 minuto até 24 horas sem chuva; “dois dias chuvosos” consecutivos podem ocorrer com apenas alguns minutos de chuva, que podem inclusive ocorrer na hora de separação entre dias sucessivos. Assim um pequeno período de chuva que ocorre em alguns minutos pode transformar um dia chuvoso em dois. Naturalmente o mesmo raciocínio não é verdadeiro para dias sem chuva.

Os dados de chuva tanto do ponto de vista da sua ocorrência, quanto da sua quantidade, podem ser analisados mediante a obtenção das frequências observadas dos seus registros históricos, ou através da elaboração de um modelo teórico. A modelagem teórica da chuva com vistas ao planejamento ambiental apresenta algumas vantagens sobre os modelos empíricos, ou seja os baseados em dados. Stern & Coe (1982) bem como Stern et al (1982), discutem estes aspectos, evidenciando o fato de que o modelo teórico apresenta a grande vantagem de resumir os dados de uma série histórica de forma bastante concisa. Os modelos teóricos também permitem, a utilização de técnicas de simulação (LARSEN; PENSE, 1982; RICHARDSON, 1981) e, com isso, a obtenção de séries climatológicas bem maiores de que as históricas.

2.4 Modelo Matemático

Para Clarke (1973) um modelo matemático é a representação de um sistema complexo por meio de equações junto com expressões lógicas, relacionando as variáveis e parâmetros. Segundo Quintela e Portela (2002), os modelos Hidrológicos Matemáticos podem ser classificados como modelos determinísticos e modelos não determinísticos.

Os modelos determinísticos, podem ser empíricos se a análise dos processos hidrológicos em jogo, se reduz à procura de uma relação causa-efeito entre variáveis de “entrada” (dados) e variáveis de “saída” (resultados), ou fisicamente baseados se procuram reproduzir as leis físicas, que regem os fenômenos.

Os modelos determinísticos, conforme estes autores, são caracterizados pelo fato de uma dada ação implicar uma mesma resposta. Se tal resposta é aleatória, pelo menos em parte, está-se perante um modelo não determinístico.

Os modelos não determinísticos podem ser considerados divididos em dois grupos: probabilísticos, quando as variáveis intervenientes têm comportamento

puramente aleatório e é, portanto, ignorada a seqüência temporal ou a seqüência espacial dos valores dessas variáveis, e estocáticos, quando, para além da componente aleatória, tem uma outra que permite contemplar a seqüência temporal ou a seqüência espacial dos valores das variáveis.

Na modelagem matemática de um fenômeno hidrológico, é muito importante distinguir o próprio fenômeno e o modelo matemático. Sabemos que não exercemos influência sobre aquilo que observamos. No entanto ao escolhermos um modelo matemático, estamos caracterizando nosso julgamento. Isto foi especialmente bem expresso pelo professor J. Neymann, que escreveu:

Toda às vezes que empregarmos Matemática, a fim de estudar alguns fenômenos de observação, deveremos essencialmente começar por construir um modelo matemático (determinístico ou probabilístico) para esses fenômenos. Inevitavelmente, o modelo deve simplificar as coisas e certos pormenores devem ser desprezados. O bom resultado do modelo, depende de que os pormenores desprezados sejam ou não realmente sem importância na elucidação do fenômeno estudado. A resolução do problema matemático pode estar correta e, não obstante, estar em grande discordância com os dados observados, simplesmente porque as hipóteses básicas feitas, não sejam confirmadas. Geralmente é bastante difícil afirmar com certeza se um modelo matemático especificado é ou não adequado, antes que alguns dados de observação sejam obtidos. A fim de verificar a validade de um modelo, deveremos deduzir um certo número de conseqüências de nosso modelo e, a seguir, comparar esses resultados previstos com observações (NEYMANN, 1958, 42p).

Para um grande número de situações, o modelo matemático determinístico apresentado acima é suficiente. Contudo, existem também fenômenos que requerem um modelo matemático diferente para sua investigação. São os que denominamos modelos não-determinísticos ou probabilístico, também conhecido como modelo estocástico.

Em outras palavras, em um modelo determinístico empregamos “considerações físicas” para prever o resultado, enquanto que em um modelo probabilístico, empregamos a mesma espécie de considerações para especificar uma distribuição de probabilidade.

Modelar matematicamente as precipitações, como um fenômeno contínuo - intermitente no tempo e no espaço, é uma tarefa difícil, talvez até impossível. Uma outra maneira de se abordar o assunto é modelar a chuva a partir das suas observações efetuadas em pluviômetro e pluviógrafos. A assim a modelagem

matemática iniciou-se a partir dos modelos ditos univariados, que apenas considera a variação temporal do fenômeno.

Os modelos univariados, de modo geral, foram formulados a partir das observações discretas das precipitações em um ponto. Entretanto, (RODRIGUES-ITURBE; GUPTA; WAYMIRE, 1984) consideraram o processo estocástico, não negativo como um processo estocástico generalizado, representando a intensidade instantânea da chuva, e formularam três modelos teóricos para representar o fenômeno. Estes modelos diferem entre si da estrutura de dependência temporal, variando desde a completa independência das precipitações (modelo de Poisson), à dependência Markoviana (modelos de pulsos retangulares) e finalmente, a uma estrutura de dependência não-Markoviana (modelo de Neyman-Scott, 1958). A partir destes modelos formulados, eles derivaram as propriedades probabilísticas da variável discreta, ou seja, dos valores da precipitação acumulada num intervalo de tempo arbitrário. Alguns autores como Diggle (1984) e Foufoula, Georgiou (1985) questionaram esta dedução: Qual é especificamente, um modelo adequado para um processo estocástico, e como interferências sobre o processo podem ser feitas, dado que as precipitações são observadas como valores acumulados em intervalos horários ou diários?

Uma característica importante do processo precipitação, que deve ser considerada e analisada, é a sazonalidade. Considera-se que o processo precipitação não é estacionário, ou, em outras palavras, que os parâmetros estatísticos da precipitação variam ao longo do tempo. Há duas abordagens para o problema. Uma delas é dividir o ano em estações e supor que, dentro de uma mesma estação, o processo é estacionário, ou seja, os parâmetros são constantes. No estabelecimento das estações, prevalece um forte fator subjetivo; mas a comparação de determinadas variáveis e parâmetros, como: número de dias chuvosos, precipitação média, variância e coeficientes de variação e assimetria das precipitações, torna as previsões confiáveis. Um problema que surge nesta abordagem, é a transição abrupta entre as estações, isto tem sido bastante utilizada pelos mais diversos autores, alguns procurando suavizar esta transição e outros simplesmente ignorando-a.

Uma outra abordagem para o problema da sazonalidade, é considerar os parâmetros estatísticos como uma função do tempo. Embora mais complicada, exigindo maior esforço computacional, esta abordagem, também tem sido bastante

empregada na modelagem dos processos estocásticos e nela, a transição abrupta é eliminada.

Um último aspecto a ser considerado no processo precipitação, é a persistência ou dependência temporal. A persistência pode ser medida pelos coeficientes de auto-correlação, os quais são determinados pela correlação entre observações separadas no tempo da mesma variável. É praticamente consenso, entre os pesquisadores, que a dependência temporal da precipitação é um fenômeno geral, sendo o grau de dependência menor, quanto maior o intervalo de tempo considerado. Assim, as precipitações mensais, exibem menor dependência do que as precipitações diárias. Outrossim, ela é menor nos períodos chuvosos do que nos secos (WISER, 1965): ao estudar as precipitações no estado da Carolina do Norte-EUA. Em muitos locais, apenas a informação do que aconteceu num determinado dia é relevante para se fazer previsões para o dia seguinte.

Testes para verificar as hipóteses de estacionariedade e persistência, foram desenvolvidos por Kelman (1987). Com relação à persistência, ele realizou 96 testes (8 estações pluviométricas x 12 períodos sazonais de dados diários) e, em dois casos, a hipótese nula ($H_0: r = \phi$, onde "r" é o coeficiente de auto-correlação serial de ordem 1) não foi rejeitada, fazendo com que o autor citado, propusesse reflexões sobre a representatividade dos modelos que negligenciem a dependência serial das precipitações diárias.

2.5 Modelos Estocásticos de Precipitação

Os modelos estocásticos de precipitação foram discutidos por Kelman (1987), Waymire e Gupta (1981) e Foufoula-Georgiou (1985). Clarke (2002) apresenta uma revisão de alguns métodos estocásticos, aplicados a hidrologia nos últimos 30 anos, período em que a potência de disponibilidade de computadores, cresceu rapidamente, e os métodos de modelagem de séries temporais, cuja aplicação era anteriormente limitada.

Rão & Biazi (1981) utilizaram a cadeia de Markov de primeira ordem, considerando dois estados para modelar a chuva em algumas estações pluviométricas do Estado de São Paulo. Também Pompeu e Rightto (1983) utilizaram a cadeia de Markov de primeira ordem para modelar a precipitação diária e horária da Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, SP. No trabalho 1,0 mm foi o limite observado, para se dizer que não houve chuva no dia em estudo. Procurou-se

adotar uma distribuição de probabilidades condicionadas, que mais se adaptassem as frequências dos dados históricos. Os resultados obtidos, devido ao reduzido número de chuvas de duração superior a sete horas, tanto as estimativas feitas a partir da amostra histórica quanto os resultados das gerações, não puderam ser adequadamente interpretadas.

Kelman et al (1987) utilizou a modelagem matemática para geração de precipitações extremas para auxiliar no dimensionamento de barragens na bacia do Rio Uruguai.

Sansigolo (1988) utilizou a modelagem estocástica, para chuva diária de Piracicaba SP, na simulação da quantidade e ocorrência de chuvas, com objetivos de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

A modelagem matemática pode ser empregada para modelar indiretamente a vazão por meio de modelos de transformação de chuva, em vazão. O método indireto pode ser vantajoso, nas regiões em que se disponha de um registro pluviométrico de melhor qualidade, do que o fluviométrico, o que é freqüente acontecer.

2.6 Cadeias de Markov

Neste desenvolvimento, as séries temporais de chuvas diárias consistem de dias secos e chuvosos e, portanto, podem ser vistas como séries binárias de “0”s e “1”s, com o “0” representando um dia seco e o “1” representando a um dia chuvoso.

O Método mais utilizado, por ser considerado mais simples tem sido a cadeia de Markov, que utiliza dois estados (dia seco ou chuvoso), podendo ser de primeira ordem, segunda ordem, e terceira ordem, sendo esta última muito pouco utilizada pois conforme os dados fica normalmente impossível de operar.

Uma cadeia de Markov e uma seqüência de variáveis aleatórias discreta (X_n) e é dita de ordem “k” se “k” é o menor inteiro positivo que satisfaz, para todo “n” a seguinte equação de probabilidades condicionais:

$$P(X_n / X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-k})$$

Formalmente, a cadeia de Markov de primeira ordem de dois estados, adequada para descrever se o estado do tempo num dia qualquer, é seco ou

chuvoso, pode ser completamente especificada pela matriz de probabilidade de transição:

	0	1
0	P_{00}	$1 - P_{00}$
1	$1 - P_{00}$	P_{11}

As probabilidades de transição P_{00} e P_{11} podem ser definidas, respectivamente, como as probabilidades de um dia seco ser seguido de um dia seco e de um dia chuvoso ser seguido de um dia chuvoso. Definindo-se a variável aleatória S_t (estado do tempo num dia qualquer) como:

$S_t = 0$, para dia seco;

$S_t = 1$, para dia chuvoso,

As probabilidades de transição acima definidas podem ser expressas por:

$$P_{00} = P [S_{t+1} = 0 / S_t = 0]$$

$$P_{11} = P [S_{t+1} = 1 / S_t = 1]$$

As probabilidades P_{00} e P_{11} podem ser estimadas através das chuvas observadas:

$$P_{00} = N_{00} / (N_{00} + N_{01})$$

$$P_{11} = N_{11} / (N_{10} + N_{11})$$

Onde:

N_{00} = Número de dias secos seguidos por dias secos;

N_{01} = Número de dias secos seguidos por dias chuvosos;

N_{10} = Número de dias chuvosos seguidos por dias secos;

N_{11} = Número de dias chuvosos seguidos por dias chuvosos.

As cadeias de Markov podem ser homogêneas ou não. No primeiro caso os parâmetros são constantes no tempo e, no segundo, os mesmos são variáveis. Adotando-se a abordagem sazonal e considerando-se o processo estacionário dentro de cada estação, pode-se adotar uma cadeia de Markov homogênea. No caso contrário, considerando-se o processo não estacionário, adota-se uma cadeia de Markov não homogênea e, neste caso, os parâmetros são variáveis no tempo.

Um trabalho marcante sobre modelagem matemática para descrever a ocorrência de dias sem chuva e/ou chuvosos em seqüência, foi desenvolvido por Gabriel & Neumann (1962) com dados de Israel. Eles mostraram que existia uma forte persistência entre dias chuvosos consecutivos, e obtiveram um bom ajuste teórico utilizando um modelo com base na cadeia de Markov de primeira ordem. O princípio básico no qual se baseia a cadeia de Markov, é que a probabilidade de um determinado dia encontrar-se em um estado particular, depende exclusivamente do estado dos dias precedentes. O número de dias precedentes considerados determina o grau da cadeia.

Depois de Gabriel & Neumann (1962), o princípio da cadeia de Markov tem sido utilizado extensivamente no desenvolvimento de modelos matemáticos para descrever a variabilidade de ocorrência de dias sem chuva e chuvosos. Evidências da exeqüibilidade da cadeia de Markov para descrever a ocorrência ou não de chuva, foram obtidas por Hopkins & Robillard (1964); Feyerherm et al (1967); Richardson (1981); Stern & Coe (1982); entre outros.

Markov Feyerherm e Bark (1967), mostraram que a cadeia de Markov de primeira ordem, era inadequada para descrever a dependência, de maior ordem nas ocorrências das chuvas diárias, em Indiana, Iowa e Kansas e propuseram uma cadeia de Markov de segunda ordem (FOUFOULA-GEORGIU, 1985). Em outras palavras, propuseram que na determinação do estado do tempo, num dia qualquer, fosse considerado os estados do tempo nos dois dias anteriores.

Um dos inconvenientes da cadeia de Markov é a definição do seu grau (KITE, 1977) para descrever adequadamente e com praticidade a ocorrência da chuva. Na prática, esta escolha recai, com freqüência, entre as cadeias de primeira e segunda ordem porque além deste limite o número de probabilidade de transição a ser determinado torna-se impraticável.

Roldan & Woolhiser (1982) compararam a cadeia de Markov de primeira ordem com a distribuição geométrica truncada, ajustada a seqüência de dias com chuva e com a distribuição binomial negativa truncada, ajustada para seqüências de dias sem chuva, em cinco locais dos Estados Unidos da América do Norte, concluindo que a cadeia de Markov foi superior as outras distribuições em termos de economia de tempo de computação dos parâmetros. Considerações de ordem estatística também admitiram a cadeia de Markov como mais adequada para séries de dados de 20 a 25 anos.

Oliveira e Buzati (1983). Previsão do número provável de dias trabalháveis em serviços rodoviários em Minas Gerais. Souza et al (1992) utilizaram a cadeia de Markov para determinar o número de dias trabalháveis com trator agrícola, modelando a umidade do solo com base na precipitação. Virgens Filho e Cataneo (1999) utilizaram a cadeia de Markov de primeira ordem em dois estados para simular a seqüência de dias úmidos, considerando o valor mínimo de 0,2 m para o dia ser considerado úmido.

Clarke (1988) apresenta descrição detalhada do modelo de Markov e cita diversas aplicações na hidrologia.

A segunda parte do modelo, representando a quantidade de chuva, geralmente é expressa por uma função de distribuição cumulativa de probabilidade. Diversas distribuições de probabilidade são utilizadas para modelar a quantidade de chuva, dos períodos chuvosos e a distribuição gama (THOM, 1958) pode ser considerada, como a mais adequada para períodos curtos (uma semana, cinco dias, um dia). Alguns exemplos da utilização da distribuição gama são encontrados em Buishand (1978); Sedyama et al (1978); Castro Neto & Silveira (1983), entre outros.

A distribuição gama, entretanto, apresenta o inconveniente de sua função de probabilidade acumulada, não apresentar solução imediata, exigindo técnicas trabalhosas de expansão em séries (ARRUDA; PINTO, 1980) ou de integração numérica. Este aspecto, quando considerado relevante, tem levado alguns autores a transformar previamente os dados com o propósito de normalização. Isto foi realizado, por exemplo, (AMARAL; SILVA, 1971), com base no pressuposto de que a **homogeneização** da variância, após transformação dos dados, conduz também a normalização da distribuição de probabilidade. Os resultados obtidos pelos autores e posteriormente por Arruda & Pinto (1984), estes últimos analisando os totais e máximas pentadais em Pelotas-RS, justificam o procedimento.

O conhecimento da probabilidade de ocorrência de períodos secos é de grande utilidade em vários setores, referente a economia. Por exemplo, na agricultura, a irrigação segundo Larsen e Pense (1982), quando se conhece os períodos secos é possível uma grande economia de água. Na construção de estradas, pontes e outras obras. Quando se sabe os períodos que serão seco ou que ocorrerão chuva numa quantidade que não prejudique o andamento das obras, com certeza a economia é certa, dos materiais, maquinários e mão de obra.

Estudos realizados em diversos locais por Cooke e Longley (1953), referentes à distribuição de frequência de períodos secos, indicaram que a esses dados ajusta-se muito bem a seguinte função potencial:

$$Y = a \cdot b^n \cdot e$$

em que:

Y = número de períodos contendo n ou mais dias secos;

a = constante;

b = constante (menor que 1);

n = número de dias do período;

e = erro.

De acordo com Longley (1953), para cada mês, transcorridos n dias secos, a probabilidade de que o dia seguinte também seja seco é dada por Y_{n+1} / Y_n , que é o coeficiente b da equação 1. Este valor independente de n, ou seja, a probabilidade de que um dia seja seco, dado que o dia anterior tenha sido seco, é constante, e independente do número de dias secos que tenham ocorrido anteriormente. Entretanto esta afirmação estará correta, se a relação entre Y e n for linear. Castro Neto et al (1983), utilizando este tipo de regressão para lavras, Minas Gerais, a partir de dados coletados num período de vinte e nove anos, obtiveram resultados bastante satisfatório.

Uma outra equação para determinar a duração de períodos secos é representada a seguir:

$$UD = \frac{1}{PCS}$$

em que:

UD = duração média do período seco, dias;

PCS = probabilidade de um dia ser chuvoso, desde que o dia anterior seja seco.

Esta baseia-se na pressuposição de que a duração dos períodos úmidos e secos sejam independentes e obedeçam a uma distribuição geométrica, podendo, assim ser empregada a primeira ordem da Cadeia de Markov.

Assis (1996) utilizou a distribuições Geométrica, Logarítmica e Binomial Negativa Truncada para a modelagem das probabilidades de seqüências de dias

sem chuva ou com chuva para Pelotas , RS e Piracicaba, SP. O autor observou que embora haja superioridade da distribuição binomial negativa truncada, a distribuição geométrica ajustou-se bem as seqüências de dias secos e de dias com chuva.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados Utilizados

Foram utilizados dados de precipitação diária de cinco estações pluviométricas localizadas na região sul de Santa Catarina, pertencentes a Agencia Nacional de Águas (ANA) cujas coordenadas constam na Tabela 1.

Tabela 1. Estações pluviométricas utilizadas

Código	Município	Latitude	Longitude	Período	Altitude
02849004	Ararangua	28°57'	49°36'	1946 – 2000	10
02849006	Forquilha	28°44'	49°28'	1946 – 2000	40
02849022	Içara	28°43'	49°18'	1977 – 2000	50
02849005	Meleiro	28°49'	49°38'	1942 – 2000	80
02849019	Timbé do Sul	28°49'	49°50'	1976 – 2000	115

3.2 Estatísticas Descritivas

Para cada uma das estações pluviométricas foram calculadas as estatísticas descritivas dos totais mensais de chuva e do número de dias de chuva conforme:

$$\bar{X} = \sum \frac{PM_i}{N}$$

em que:

\bar{X} é a média aritmética;

PM é a precipitação mensal ou número de dias de chuva mensal do ano i;

N é o número de anos com dados de chuva sem falha no mês.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (PM_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

em que:

S é o desvio padrão.

$$As = \left[\frac{N}{(N - 1)(N - 2)} \frac{\sum (PM_i - \bar{X})^3}{(S)^3} \right]$$

em que:

As = Coeficiente de assimetria.

Também foram obtidos os maiores e menores valores da série de dados observados.

3.3 Modelagem da Ocorrência de Precipitação

Para a modelagem da ocorrência de precipitação, foi considerado a cadeia de Markov de dois estados, em que o dia é considerado seco ou chuvoso. O critério adotado para dia ser seco foi de chuva inferior a 1,0 mm. Neste trabalho foi utilizado a cadeia de primeira ordem, em que a probabilidade de um dia ser seco (ou chuvoso) depende somente da condição do dia anterior.

Para levar em conta a estacionariedade, os parâmetros do modelo foram ajustados por períodos mensais. Dessa forma foram determinadas as matrizes de probabilidades de transição conforme:

$$P00_i = \frac{N00_i}{N00_i + N01_i}$$

$$P10_i = \frac{N10_i}{N10_i + N11_i}$$

$$P01_i = 1 - P00_i;$$

$$P11_i = 1 - P10_i.$$

em que:

P00 = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior também foi seco;

P10 = Probabilidade de um dia ser seco, dado que o anterior foi chuvoso;

P01 = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi seco;

P11 = Probabilidade de um dia ser chuvoso, dado que o anterior foi chuvoso;

N10 = freqüência observada da seqüência de dia chuvoso seguido por dia seco;

N11 = freqüência observada de seqüência de dois dias chuvosos;

N00 = freqüência observada da seqüência de dois dias secos;

N01 = freqüência observada de um dia seco seguido por dia chuvoso;

i = mês (1 a 12).

3.4 Modelagem da Quantidade de Precipitação

Para a simulação da quantidade de chuva nos dias chuvosos foram utilizados dois modelos, um baseado na distribuição exponencial e outro baseado na distribuição gama.

A distribuição exponencial tem como função cumulativa de probabilidade:

$$F(X) = P[X \leq x] = \int_{x=0}^x \alpha e^{-\alpha X} = 1 - e^{-\alpha x}$$

O parâmetro α dado distribuição exponencial foi estimado pelo método dos momentos como:

$$\alpha = \frac{1}{\bar{x}}$$

em que:

\bar{X} é a média observada de precipitação dos dias com chuva.

A precipitação X com uma probabilidade $P(X \leq x)$ pode ser estimada por:

$$X = -\frac{\ln(1 - P(X \leq x))}{\alpha}$$

A distribuição Gama tem como função cumulativa de probabilidade:

$$F(X) = P(X \leq x) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^\gamma} \int_0^x X^{\gamma-1} e^{-\frac{X}{\beta}} dx$$

em que:

β e γ são os parâmetros da distribuição.

Onde:

$\Gamma(\gamma)$ é a função gama.

Os parâmetros da distribuição gama foram estimados com base no método dos momentos por:

$$\beta = \frac{s^2}{x}$$

$$\gamma = \frac{x^{-2}}{s^2}$$

em que:

\bar{X} é a média observada de precipitação dos dias com chuva;
 S^2 é a variância dos dados observados.

A distribuição Gama não tem solução imediata, exigindo técnicas de integração numérica. Neste trabalho foi utilizado um processo iterativo no qual o algoritmo de Newton-Raphson descrito por Assis (1996).

Dessa forma foi elaborado um programa para a simulação das séries de cem anos de dados de precipitação com base na seguinte estrutura:

- 1) Gerar um número aleatório U;
- 2) Verificar se U for maior que a probabilidade de um dia do mês de janeiro ser seco (P0) então o dia anterior foi considerado chuvoso caso contrário o dia foi considerado seco;
- 3) para o dia d +1 gerar um numero aleatório U;
- 4) Verificar se $U \leq P10$ ou $P00$ então o dia era seco (chuva = 0 mm), retornando ao item 3, caso contrario era chuvosos e segue para o item 5;
- 5) Gera um número aleatório U e com este número foi determinado pela distribuição exponencial e pela distribuição gama o valor esperado de chuva para o dia em questão, e retorna para o item 3;

Para verificar a qualidade dos dados simulados foram calculadas as estatísticas descritivas e a matrizes de probabilidade de transição descritas no item 3.2 e 3.3 também para as séries de precipitação simuladas.

3.5 Modelagem da Seqüência de Dias Secos e Chuvosos

Para a simulação da seqüência de dias secos e chuvosos foi utilizada a distribuição Geométrica, em que a probabilidade de ocorrência de uma seqüência de r dias consecutivos com chuva pode ser estimada por:

$$P[X = r] = (1 - P11) P11^{(r-1)}$$

E a probabilidade de ocorrer uma seqüência de r dias secos pode ser estimada por:

$$P[X = r] = P01(1 - P01)^{(r-1)}$$

Para verificar a qualidade do ajuste da modelagem de seqüência de dias secos e chuvosos, empregou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Neste teste as freqüências cumulativas $F(X)$ dos dados observados e das distribuições teóricas são comparadas. A maior diferença absoluta dada por:

$$D_{\text{máx}} = |F(x) \text{ observada} - F(x) \text{ teórica}|$$

Para cada valor de X é comparada com valores tabelados (Anexo 1) de $D_{\text{crítico}}$ para dado nível de significância α e tamanho de amostra n . Se $D_{\text{máx}}$ calculada for maior que $D_{\text{crítico}}$ deve-se rejeitar a hipótese nula de concordância entre as distribuições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatísticas mensais de chuva das séries observadas e simuladas

Nas Tabelas 2 a 26 estão apresentadas as estatísticas dos totais mensais de chuva das séries observadas, da serie simulada pela distribuição exponencial e da série simulada pela distribuição gama, respectivamente para as estações de Araranguá, Forquilha, Meleiro, Içara e Timbé do Sul. Na Figura 1, estão representados os valores médios mensais de precipitação das séries observadas em cada um das estações estudadas. Observa-se que os meses com maiores valores médios são janeiro e fevereiro, e os menores valores ocorrem em maio e junho. Entre as estações utilizadas observa-se que em Timbé do Sul os valores médios de todos os meses são superiores as demais estações. Este fato deve-se em função do efeito da orografia, conforme já discutido por Occipinti (1989)

Os menores valores médios mensais são observados na estação de Araranguá, embora nos meses de maio a setembro não diferem muito dos valores observados em Forquilha e Meleiro. Os dados de Içara, que quanto a continentalidade está numa situação próxima a Araranguá apresentam valores médios no período de maio a agosto somente inferior a Timbé do Sul, sendo que nos meses de junho e julho os valores foram mais próximos a Timbé do Sul que as demais estações.

Com relação aos valores máximos observados verifica-se que não existe sazonalidade bem definida, isto é, os valores máximos podem ser observados em qualquer época do ano. Este fato já foi observado por Back (2002) que demonstrou que embora a maior frequência de chuvas intensas na região do Extremo Sul Catarinense ocorra nos meses de Dezembro a Março, estes eventos extremos podem ocorrer em qualquer época do ano.

Com relação aos valores mínimos, observa-se que os menores valores ocorrem nos meses do abril a agosto, embora em algumas estações também foram observados em novembro e dezembro.

O desvio padrão acompanha a variação anual dos valores extremos. O coeficiente de assimetria, na maioria apresentou valores positivos e próximos a zero, sendo que somente no mês de julho, para a estação de Forquilha, e mês de maio para a estação de Meleiro, o valor de coeficiente de assimetria foi superior a três. Estes dois valores são devidos a presença de eventos extremos que

elevaram a assimetria dos dados. Segundo Kitte (1977), os valores de assimetria inferiores a três indicam que as médias estão normalmente distribuídas, e assim pode-se utilizar a distribuição normal para as estimativas das probabilidades de ocorrência de valores mensais de chuva.

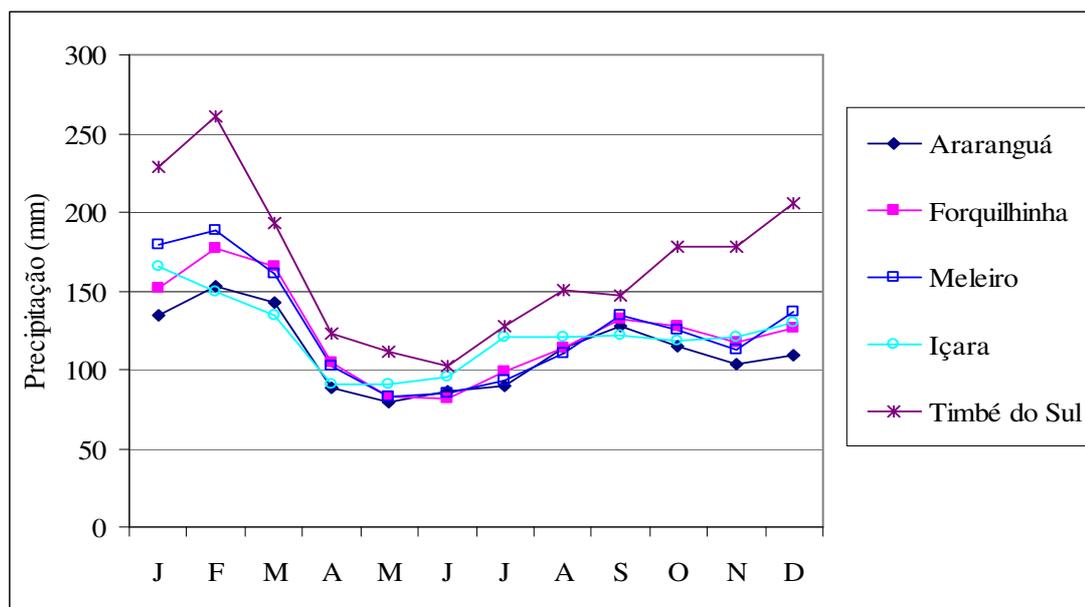


Figura 1. Precipitação média mensal observada nas estações estudadas.

Na Figura 2 está representada a variação anual dos valores médios do número de dias de chuva mensal, nas diferentes estações estudadas. O número médio de dias de chuva, variou entre 6 e 14, sendo que a variação anual acompanha a variação anual da chuva total. Observa-se que nos meses de dezembro a março existe uma diferenciação entre as estações, de acordo com a continentalidade, sendo os maiores valores observados nas estações mais próximas a serra. Durante os meses de abril a outubro, embora a estação de Araranguá apresente os menores valores, nas demais não há distinção nítida conforme a continentalidade.

Com relação aos eventos máximos e mínimos de número de dias de chuva, não se observa o efeito da sazonalidade, mantendo-se aproximadamente uniforme ao longo do ano em todas as estações. O coeficiente de assimetria para número de dias de chuva observada, foram inferiores a três, sendo que a maioria dos

meses apresentou valores inferiores a um, indicando também que o número de dias de chuva mensal segue a distribuição normal.

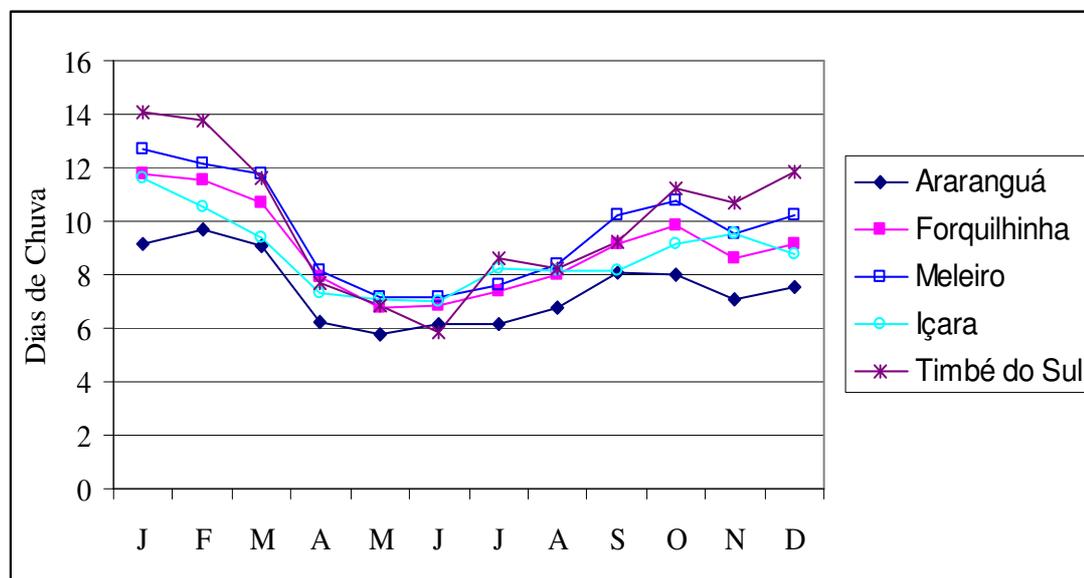


Figura 2. Número médio de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) nas estações estudadas.

Com relação às séries de chuva simulada, observa-se que tanto o uso da distribuição exponencial quanto à distribuição gama, mantiveram as características das chuvas observadas. As diferenças entre as médias mensais de precipitação total observadas e simuladas foram inferiores a 10 %, e na média anual foram inferiores a 5 %. Na Figura 3 está representado os valores médios dos totais anuais das séries observadas, e da série simulada com a distribuição exponencial e distribuição gama. Observa-se que a distribuição exponencial apresentou a mesma eficiência da distribuição gama, na simulação da quantidade de chuva, e por ser de solução matemática mais fácil, pode ser utilizada nestes modelos de simulação de chuva.

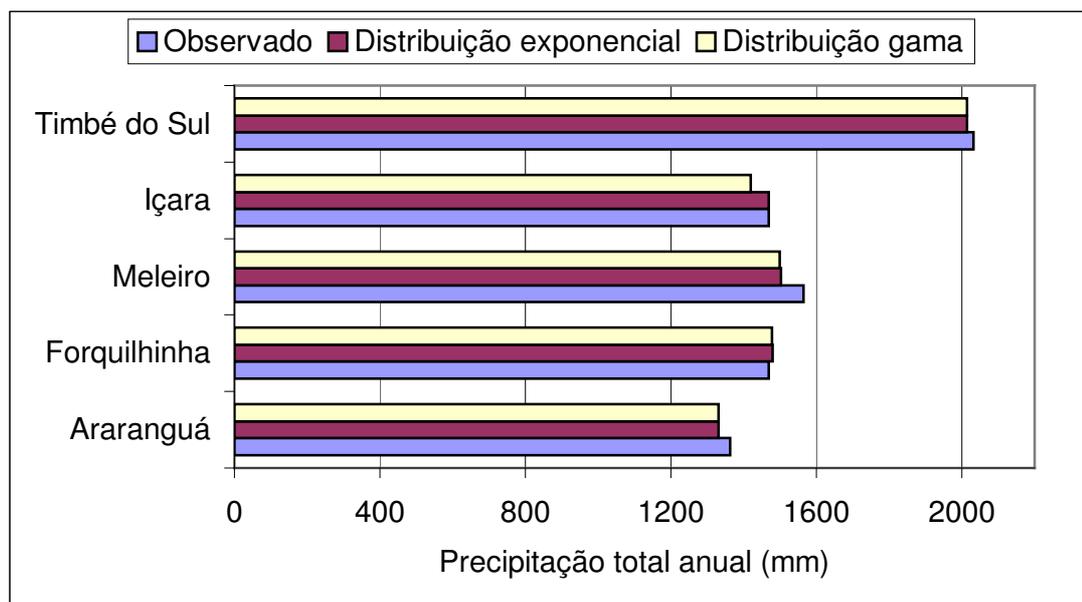


Figura 3. Precipitação total anual observada, simulada pela distribuição exponencial e simulada pela distribuição gama.

Com relação aos eventos extremos, não cabe comparação direta dos valores, pois podem no período de observação, ter ocorrido eventos extremos com período de retorno superior a cem anos. Para a utilização deste modelo para simular eventos extremos, há necessidade de testes específicos, para verificar a sua adequação. Como o uso geral de modelos de simulação, é para a geração de séries de precipitação para simulação de quantidades e distribuição das chuvas, e/ou estimativas de vazões, a ocorrência de eventos extremos tem importância secundária.

O número de dias de chuva simulado apresentou valores próximos aos valores observados. Observa-se que em todas as estações os valores médios mensais observados e simulados, a diferença é inferior 1 dia, e na média anual as diferenças foram inferiores a 4%. Ressalta-se que nas séries observadas, apresentam diversas falhas, nos dados, com períodos de dias ou meses sem registro nos dados de chuva, e em parte as diferenças entre as séries simuladas e observadas se devem a essas falhas nos registros e conseqüentemente nas estimativas dos parâmetros do modelo. Os eventos extremos de número de dias de chuva das séries simuladas, e observadas para os diversos meses do ano apresentam valores próximos, mostrando da adequação da cadeia de Markov para simular seqüência de dias secos e chuvosos.

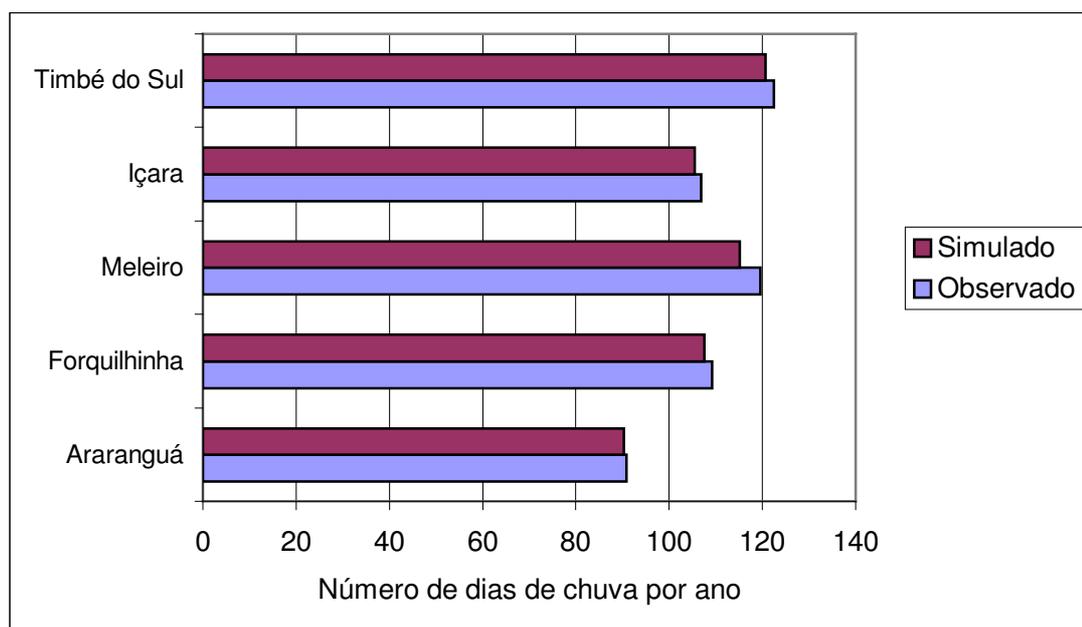


Figura 4. Número médio de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) para as séries observadas e simuladas.

Tabela 02. Estatísticas de precipitação total mensal observada de Araranguá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	133,94	152,36	142,73	88,36	79,75	86,15	89,48	114,20	127,63	114,82	103,01	109,65	1363,23
Máximo	306,6	325,6	282,8	273,4	391,0	219,5	388,2	430,0	293,0	299,0	268,2	310,4	2047,2
Mínimo	13,4	32,8	30,4	8,6	0,0	0,0	8,4	0,0	25,2	17,6	17,8	0,0	870,0
Desvpad.	69,54	70,79	61,50	53,80	70,03	50,50	61,43	90,08	66,24	60,68	55,55	64,47	281,87
C. Assim	0,64	0,70	0,31	1,05	2,81	0,48	2,31	1,58	0,74	1,07	1,06	0,94	0,33

Tabela 03. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Araranguá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	128,43	152,71	142,48	89,47	81,64	85,31	80,13	106,37	133,98	110,01	106,25	114,02	1330,79
Máximo	310,2	362,6	354,	315,8	258,6	232,6	300,6	253,8	355,0	234,5	280,1	254,4	1963,3
Mínimo	9,50	25,80	42,80	0,00	5,10	14,70	5,30	5,90	18,20	2,00	16,40	19,30	839,60
Des pad	56,88	77,04	63,92	58,60	49,06	45,60	54,53	56,88	71,02	55,69	62,44	58,48	212,25
C.Assim	0,55	0,60	0,90	1,45	0,85	0,94	1,35	0,34	0,65	0,35	0,82	0,64	0,25

Tabela 04. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Araranguá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	129,07	152,08	142,54	89,31	81,64	84,82	80,01	106,65	133,43	110,00	106,31	114,41	1330,25
Máximo	304,40	347,20	341,40	321,70	258,50	242,80	293,10	245,20	338,60	226,30	275,10	261,60	1959,00
Mínimo	12,60	27,80	44,50	0,00	5,40	13,60	5,70	6,60	21,50	2,20	16,60	17,20	856,80
Desvpad	54,58	73,67	61,67	59,77	48,59	46,37	52,97	55,46	67,66	54,86	59,92	59,84	206,40
C. Assim	0,54	0,54	0,83	1,49	0,85	0,95	1,32	0,28	0,58	0,33	0,79	0,65	0,23

Tabela 05. Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Araranguá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	9,15	9,70	9,10	6,25	5,78	6,19	6,15	6,74	8,11	8,02	7,08	7,57	90,89
Máximo	19	19	17	12	14	12	19	14	16	18	16	14	122,0
Mínimo	1	3	5	1	0	0	1	0	3	2	1	0	52,0
Desvpad.	4,25	3,39	2,97	2,63	2,91	2,82	3,33	3,33	3,40	3,19	3,34	3,08	17,58
C. Assim	0,30	0,47	0,34	0,12	0,52	0,02	1,20	0,27	0,66	0,39	0,54	-0,14	-0,22

Tabela 06. Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Araranguá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	9,20	9,59	9,33	6,52	6,03	6,23	5,65	6,60	8,35	7,99	7,41	7,39	90,29
Máximo	18	20	17	18	18	13	14	14	18	16	15	17	121
Mínimo	3	2	3	0	1	2	1	1	2	1	1	1	69
Desvpad.	3,27	3,53	2,88	2,92	3,10	2,70	2,69	2,92	3,50	2,96	3,05	2,79	11,01
C.Assim	0,43	0,17	0,27	0,49	0,74	0,84	0,66	0,29	0,40	0,36	0,27	0,31	0,27

Tabela 07. Estatísticas de precipitação total mensal observada de Forquilha (1946 –2000)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	151,59	177,20	165,22	104,44	83,06	81,34	98,88	114,15	132,57	127,24	117,08	126,84	1469,01
Máxima	322,4	417,4	493,6	277,4	312,0	208,0	491,6	537,2	320,2	314,0	289,2	351,5	2823,2
Mínimo	20,8	54,9	33,7	14,9	8,3	0,0	13,4	0,0	11,8	11,7	22,8	16,6	860,7
Desvpad	73,31	83,11	90,79	62,28	63,32	50,39	73,06	91,46	74,50	61,78	60,42	63,89	367,54
C Assim	0,35	0,70	1,19	0,83	1,74	0,65	3,41	2,23	0,76	0,87	0,77	0,91	1,28

Tabela 08. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Forquilha

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	150,89	181,02	166,22	108,17	76,19	78,67	107,88	110,54	136,79	121,21	118,58	123,17	1479,31
Máxima	409,9	364,7	339,3	258,8	210,7	211,0	332,3	296,0	430,9	276,9	391,5	324,1	2141,70
Mínimo	35,2	21,4	40,8	3,2	0	2,9	0	1,9	16,9	28,8	20,5	14,4	982,4
Desvpad	64,94	71,31	71,84	56,45	47,94	53,18	61,65	60,91	74,69	56,99	62,32	60,18	205,14
C.Assim	1,15	0,33	0,41	0,44	0,69	0,84	0,92	0,48	0,92	0,61	1,52	0,89	0,22

Tabela 09. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Forquilha

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	150,2	180,9	166,1	108,1	75,7	79,7	107,8	110,2	136,9	120,9	118,6	122,9	1478,0
Máxima	421,5	368,3	354,3	266,7	213,7	229,8	350,2	313,9	438,4	289,5	391,5	333,4	2184,3
Mínimo	30,7	19,7	38,2	2,5	0,0	1,7	0,0	1,3	14,4	24,0	20,5	12,6	966,7
Desvpad	69,0	72,6	76,8	58,1	48,3	58,2	64,7	62,6	77,6	59,9	62,3	62,8	213,4
C.Assim	1,2	0,3	0,5	0,4	0,7	0,9	1,0	0,5	0,9	0,6	1,5	0,9	0,2

Tabela 10. Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Forquilha

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	11,80	11,57	10,69	7,96	6,78	6,86	7,35	7,98	9,18	9,83	8,60	9,15	109,15
Máxima	21,0	20,0	17,0	14,0	20,0	13,0	20,0	14,0	20,0	18,0	17,0	17,0	156,0
Mínimo	3,0	4,0	2,0	1,0	2,0	0,0	2,0	0,0	1,0	5,0	2,0	2,0	52,0
Desvpad	3,93	3,76	3,41	3,23	3,67	2,89	3,19	3,43	4,00	3,04	3,65	3,60	19,52
C.Assim	-0,13	0,01	-0,08	-0,29	1,68	-0,06	1,22	-0,26	0,60	0,41	0,34	0,16	-0,23

Tabela 11. Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Forquilha

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	11,99	11,6	10,78	7,98	6,64	6,13	8,16	8,03	9,06	9,66	8,75	8,84	107,62
Máxima	20	20	20	16	15	15	16	22	21	18	19	19	137
Mínimo	5	4	3	1	0	1	0	1	3	3	2	2	83
Desvpad	3,15	3,40	3,53	3,21	3,24	2,93	3,48	3,78	3,53	3,15	3,38	3,13	10,83
C.Assim	-0,17	0,24	0,32	0,34	0,05	0,40	0,25	0,51	0,64	0,30	0,71	0,39	0,15

Tabela 12. Estatísticas de precipitação total mensal observada de Meleiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	179,58	189,08	161,26	102,50	83,12	85,07	93,11	110,74	134,61	125,14	112,92	137,32	1565,07
Máxima	437,1	556,8	454,3	238,8	526,2	184,3	392,8	389,3	364,1	296,9	279,4	359,4	2323,6
Mínimo	18,8	54,7	37,3	11,4	3,5	6,6	10,5	0,0	46,5	17,1	24,0	0,5	720,7
Desvpad	94,27	93,62	83,46	57,87	81,14	49,10	65,54	77,22	71,90	56,01	56,76	77,35	307,04
C.Assim	0,64	1,34	0,99	0,34	3,46	0,31	2,02	1,30	1,10	0,65	0,48	0,74	0,05

Tabela 13. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Meleiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	179,12	175,18	151,59	102,83	89,31	85,52	99,76	111,51	136,63	125,74	107,90	137,05	1502,13
Máxima	343,9	411,7	365,1	335,8	237,7	274,2	256,7	331,3	313	284,8	308,9	316,6	1947,7
Mínimo	52,1	41,1	11	16,4	0	6	7,2	8,1	9,4	21,3	26,6	30,2	972,5
Desvpad	65,25	74,49	66,57	52,35	50,63	52,75	57,38	66,53	63,28	50,79	53,87	60,18	201,32
C.Assim.	0,39	0,69	0,78	1,43	0,62	0,96	0,57	0,89	0,54	0,31	1,03	0,81	0,11

Tabela 14. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Meleiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	178,22	174,69	150,26	102,85	89,31	86,10	100,55	111,05	136,30	125,31	107,65	136,96	1499,23
Máximo	344,30	420,30	382,80	362,10	250,80	289,20	267,10	333,40	327,40	288,00	314,80	335,00	1976,80
Mínimo	51,30	38,20	9,90	13,80	-	3,70	5,50	6,70	8,60	19,50	24,40	26,70	968,40
Desvpad	65,24	76,53	70,70	56,02	53,10	56,77	60,47	67,70	65,44	52,16	55,25	63,40	208,91
C.Assim	0,36	0,72	0,88	1,53	0,66	1,07	0,62	0,92	0,56	0,32	1,02	0,90	0,18

Tabela 15. Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Meleiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	12,66	12,16	11,79	8,16	7,18	7,19	7,64	8,36	10,23	10,75	9,54	10,21	119,52
Máxima	21,0	20,0	21,0	15,0	17,0	14,0	18,0	15,0	21,0	19,0	18,0	19,0	156,0
Mínimo	2,0	4,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	0,0	1,0	4,0	2,0	0,0	76,0
Desvpad	4,24	3,59	3,63	3,40	3,48	2,76	3,24	3,44	3,96	3,47	3,53	3,90	18,35
C. Assim	-0,11	-0,06	0,26	-0,05	0,76	0,34	0,64	0,07	0,87	0,12	0,08	-0,30	0,23

Tabela 16. Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Meleiro

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	12,82	11,58	11,55	8,39	7,57	6,83	7,66	8,18	10,35	10,66	9,35	10,22	115,16
Máxima	22	19	20	19	18	16	16	19	20	20	20	18	146
Mínimo	4	5	3	3	0	1	1	2	2	4	4	4	80
Desvpad	3,52	3,17	3,52	3,19	3,44	3,29	3,47	3,75	3,45	3,43	3,19	3,26	12,86
C.Assim.	-0,09	0,30	0,08	0,64	0,38	0,37	0,25	0,53	0,44	0,17	0,83	0,21	-0,23

Tabela 17. Estatísticas de precipitação total mensal observada de Içara/SC

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	165,33	149,67	135,04	91,03	91,30	95,10	120,75	120,99	121,65	118,50	120,60	130,08	1468,56
Máxima	388	302,8	241,2	213,4	445,2	177,6	426,2	364,2	339,4	245,4	240,5	344,4	2117,2
Mínimo	7	51,5	18,6	11,2	20,6	20	34,2	14,6	37,4	31,2	15	24	816,5
Desvpad	94,74	65,09	55,88	53,72	94,62	48,74	80,74	88,91	78,99	53,65	71,41	78,37	313,16
C.Assim.	0,47	0,62	0,08	0,72	2,80	0,41	2,51	1,09	1,12	0,60	0,48	1,22	-0,17

Tabela 18. Estatísticas de precipitação total mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Içara

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	167,86	151,47	118,43	86,09	93,14	101,52	122,82	128,49	132,11	128,86	119,42	118,06	1468,27
Máxima	417,4	342,8	301,1	217,3	209,3	271,5	455	325,7	353,6	270,2	274,4	269,9	1899,8
Mínimo	34	14,1	17,2	3,4	11,3	3	17,3	1,7	13,1	22,3	15,6	0	957,6
Desvpad	67,19	66,51	58,70	48,62	44,90	53,80	68,20	66,85	76,38	59,87	59,43	57,51	201,33
C.Assim	0,63	0,65	0,73	0,84	0,28	0,66	1,46	0,63	0,64	0,64	0,58	0,53	-0,12

Tabela 19. Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Içara

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	167,6	151,0	119,1	85,8	92,9	102,0	123,1	129,2	131,3	128,0	119,2	117,0	1466,2
Máxima	411,5	335,9	294,3	227,0	246,2	289,8	434,4	341,1	346,1	264,3	279,8	282,1	1896,2
Mínimo	36,0	14,4	19,7	3,0	7,3	2,2	19,9	1,1	15,8	26,5	13,0	0,0	955,1
Desvpad	65,7	64,6	56,5	50,7	50,5	57,1	66,0	70,1	72,3	56,1	61,6	61,0	201,9
C.Assim	0,6	0,6	0,7	0,9	0,5	0,8	1,4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-0,1

Tabela 20 . Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Içara

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	11,60	10,52	9,38	7,30	7,10	7,00	8,22	8,13	8,14	9,14	9,55	8,75	106,83
Máxima	19	20	16	14	15	15	18	14	13	15	17	16	127
Mínimo	1	3	2	1	1	2	2	3	4	5	2	4	62
Desvpad	5,09	4,77	3,15	3,29	3,77	3,01	3,27	3,35	2,71	3,09	4,27	3,37	20,54
C.Assim.	-0,37	0,17	-0,08	0,28	0,95	0,55	0,92	0,23	0,40	0,49	0,10	0,34	-1,07

Tabela 21. Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Içara

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	11,97	10,49	8,86	7,08	7,14	7,44	8,58	8,38	8,69	9,72	8,81	8,3	105,46
Máxima	25	22	17	15	13	15	20	16	21	17	18	18	123
Mínimo	4	2	3	2	2	2	3	1	2	4	2	0	82
Desvpad	3,61	3,72	3,04	2,73	2,69	3,05	3,57	3,33	3,77	3,07	3,22	3,00	10,42
C.Assim.	0,32	0,26	0,24	0,42	0,00	0,04	0,79	0,36	0,16	0,07	0,50	0,30	-0,23

Tabela 22. Estatísticas de precipitação total mensal observada de Timbé do Sul (1946 –2000)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	228,80	260,84	192,82	122,65	111,58	102,77	127,26	150,92	147,64	177,62	178,23	205,43	2032,18
Máxima	414,7	482,3	292,8	240	464,4	192	425,1	438,8	305	374,1	326,5	482,2	2760,8
Mínimo	43,2	127,2	68	33,6	17,2	21,8	26,4	25,4	57,2	75,4	61,4	52,8	1623
Desvpad	104,88	99,46	64,16	60,03	99,00	55,32	89,93	108,80	77,49	76,04	70,63	108,07	343,86
C.Assim.	0,20	0,77	-0,19	0,55	2,34	0,13	2,09	1,03	0,57	0,87	0,38	0,98	0,79

Tabela 23. Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo exponencial para Timbé do Sul

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	234,64	254,60	196,66	112,12	105,44	110,47	138,19	157,39	157,97	175,88	169,42	201,49	2014,26
Máxima	507,2	598,7	422,7	273,7	284,5	298,5	403,6	398,2	371,6	406,7	372,5	431,2	2768,6
Mínimo	100,1	51,5	30,8	3,8	0	5,1	14,9	37,1	32,3	17,1	19,5	33,4	1261,2
Desvpad	77,00	97,15	84,94	58,40	60,73	68,96	71,66	79,82	73,29	73,18	78,94	75,53	246,39
C.Assim.	0,87	0,61	0,37	0,64	0,59	0,58	0,69	0,60	0,75	0,36	0,42	0,57	0,16

Tabela 24. Estatísticas de precipitação mensal da série de precipitação simulada pelo modelo gama para Timbé do Sul

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	234,62	253,35	196,58	111,76	105,51	111,68	137,62	157,01	157,59	175,67	169,45	201,18	2014,26
Máxima	506,50	610,70	415,80	265,10	287,80	346,20	402,40	401,60	371,10	415,50	366,80	439,00	2768,6
Mínimo	100,20	43,10	32,30	3,80	0,00	2,30	14,90	33,10	32,30	14,30	20,40	30,20	1261,2
Desvpad	76,89	102,08	82,73	57,91	63,23	76,62	70,91	82,45	72,85	75,51	77,68	78,89	246,39
C.Assim.	0,87	0,63	0,35	0,62	0,61	0,73	0,66	0,61	0,74	0,40	0,40	0,61	0,16

Tabela 25 . Estatísticas do número de dias de chuva observada ($\geq 1,0$ mm) para Timbé do Sul

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	14,04	13,75	11,58	7,71	6,88	5,83	8,61	8,21	9,22	11,21	10,67	11,82	122,53
Máxima	20	22	17	15	16	12	22	15	14	19	18	21	157
Mínimo	5	4	4	3	2	3	3	2	4	4	5	6	100
Desvpad	3,80	4,85	3,53	3,34	3,67	2,55	3,80	3,83	2,66	3,59	3,14	4,07	14,20
C.Assim	-0,76	0,07	-0,34	0,48	1,00	1,09	2,11	0,42	-0,10	0,11	0,32	0,52	0,76

Tabela 26. Estatísticas do número de dias de chuva ($\geq 1,0$ mm) simulados num período de cem anos para Timbé do Sul

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Média	14,65	13,58	11,76	7,64	6,45	5,99	9,29	8,6	9,87	11,05	10,24	11,54	120,66
Máxima	23	19	21	16	15	13	18	17	21	21	18	20	150
Mínimo	6	6	3	1	0	1	2	3	4	3	3	3	97
Desvpad	3,61	3,01	3,78	3,24	2,85	2,80	3,44	3,17	3,40	3,90	3,59	3,03	10,39
C.Assim.	-0,12	-0,17	0,17	0,61	0,58	0,32	0,41	0,47	0,56	0,37	0,16	0,05	0,29

4.2 Parâmetro da Cadeia de Markov

Nas Tabelas 27 a 31, estão representadas as probabilidades de ocorrência de dias secos (P_0), e probabilidades de ocorrência de dias secos seguido por dias secos (P_{00}) e a probabilidade de ocorrência de dia chuvoso seguido de dias seco (P_{10}) para as séries observadas e simuladas nas estações de Araranguá, Forquilha, Içara, Meleiro e Timbé do Sul. Nas Figuras 5 a 9 essas probabilidades estão representadas.

Observa-se que as probabilidades de ocorrência de dias secos (P_0) e de seqüência de dias secos (P_{00}) apresenta em geral valores menores nos meses de janeiro e fevereiro e os maiores valores em maio e junho. Não existe variação brusca entre as probabilidades ao longo do ano, indicando que utilização de valores médios mensais não implicará em erros nas simulações. De modo geral as séries simuladas reproduzem as séries observadas, sendo que somente em alguns meses a diferença entre as probabilidades observadas e simuladas é superior a 5 %. Estas maiores diferenças ocorrem nos meses em que havia muitas falhas nos registros implicando em menor precisão nas estimativas dos parâmetros.

Tabela 27. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Araranguá, SC.

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Jan	0,7049	0,7811	0,5214	0,7032	0,7810	0,5195
Fev	0,6576	0,7204	0,5363	0,6605	0,7359	0,5111
Mar	0,7042	0,7716	0,5484	0,6990	0,7660	0,5434
Abr	0,7927	0,8405	0,6116	0,7827	0,8329	0,6045
Mai	0,8135	0,8600	0,6084	0,8055	0,8487	0,6309
Jun	0,7937	0,8496	0,5811	0,7923	0,8465	0,5828
Jul	0,8017	0,8517	0,5938	0,8177	0,8656	0,6021
Ago	0,7826	0,8543	0,5234	0,7871	0,8597	0,5204
Set	0,7274	0,8127	0,4977	0,7205	0,8171	0,4668
Out	0,7401	0,7902	0,5977	0,7423	0,7943	0,5938
Nov	0,7642	0,8213	0,5844	0,7530	0,8102	0,5784
Dez	0,7534	0,7980	0,6143	0,7616	0,8042	0,6262

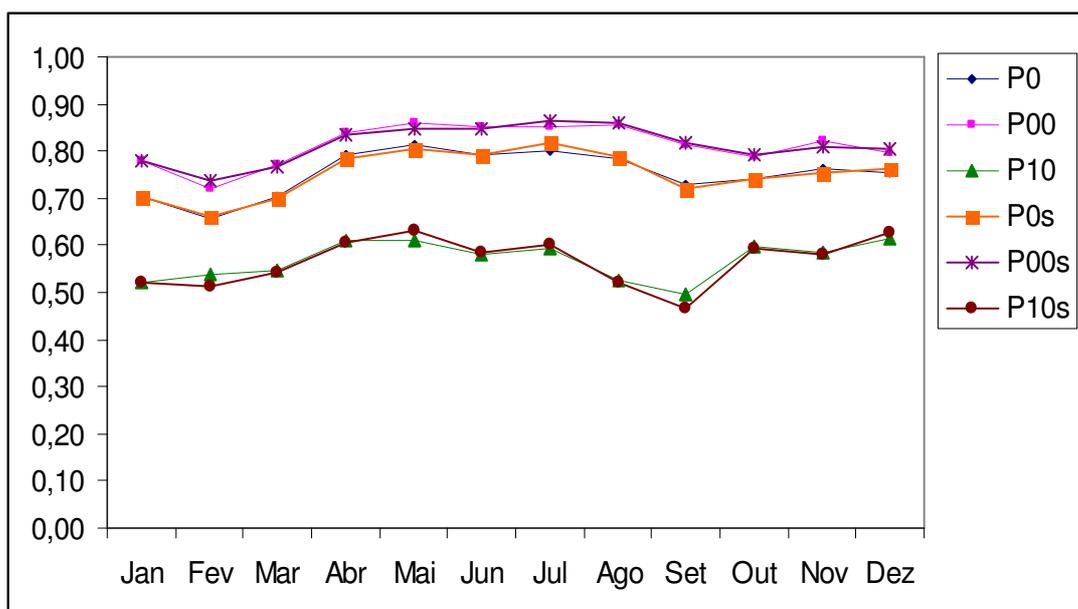


Figura 5. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Araranguá, SC.

Tabela 28. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Forquilha, SC.

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Jan	0,6194	0,7115	0,4653	0,6132	0,7127	0,4548
Fev	0,5888	0,7023	0,4259	0,5894	0,7010	0,4282
Mar	0,6522	0,7563	0,4625	0,6523	0,7456	0,4803
Abr	0,7389	0,8160	0,5230	0,7340	0,8185	0,5025
Mai	0,7816	0,8475	0,5455	0,7858	0,8531	0,5418
Jun	0,7769	0,8455	0,5434	0,7957	0,8556	0,5614
Jul	0,7658	0,8269	0,5615	0,7368	0,8206	0,5037
Ago	0,7432	0,8401	0,4589	0,7410	0,8433	0,4447
Set	0,6921	0,8033	0,4405	0,6968	0,8143	0,4243
Out	0,6822	0,7540	0,5287	0,6884	0,7547	0,5397
Nov	0,7136	0,8049	0,4912	0,7083	0,7976	0,4966
Dez	0,7044	0,7712	0,5445	0,7148	0,7809	0,5464

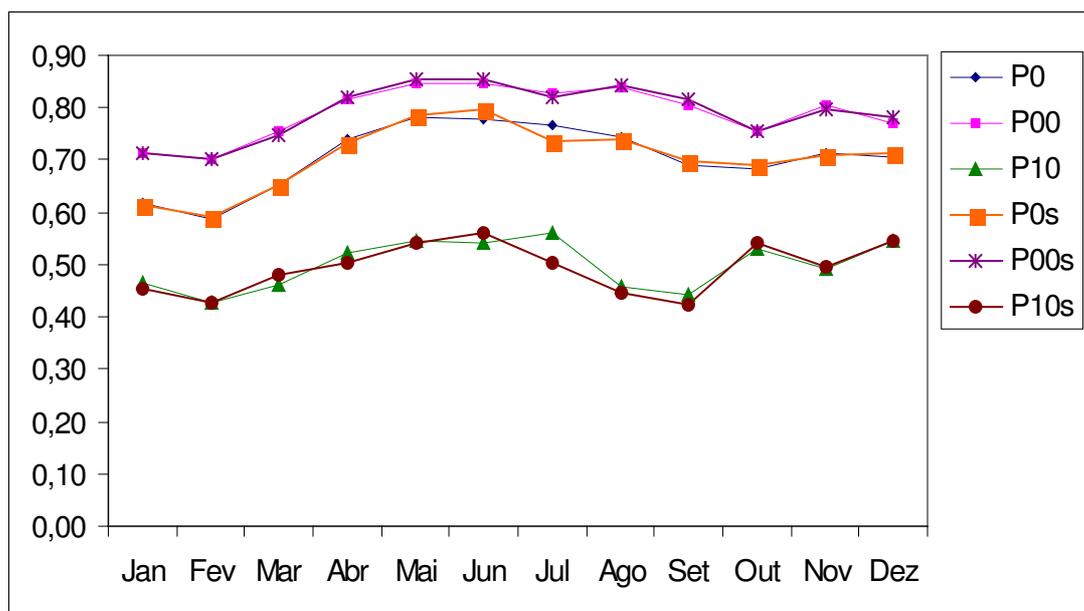


Figura 6. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Forquilha, SC.

Tabela 29 . Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Içara, SC.

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Jan	0,6250	0,7424	0,4211	0,6134	0,7164	0,4488
Fev	0,6273	0,7419	0,4344	0,5992	0,7120	0,4300
Mar	0,6974	0,7650	0,5450	0,6677	0,7547	0,4957
Abr	0,7624	0,8115	0,6090	0,7415	0,8158	0,5307
Mai	0,7742	0,8283	0,5855	0,7818	0,8452	0,5559
Jun	0,7677	0,8355	0,5488	0,7848	0,8477	0,5550
Jul	0,7392	0,8097	0,5294	0,7334	0,8145	0,5106
Ago	0,7379	0,8175	0,5153	0,7381	0,8368	0,4582
Set	0,7258	0,8184	0,4844	0,7057	0,8150	0,4412
Out	0,6948	0,7764	0,5114	0,6879	0,7563	0,5350
Nov	0,7022	0,7729	0,5366	0,7078	0,7927	0,5065
Dez	0,7301	0,7891	0,5729	0,7192	0,7845	0,5500

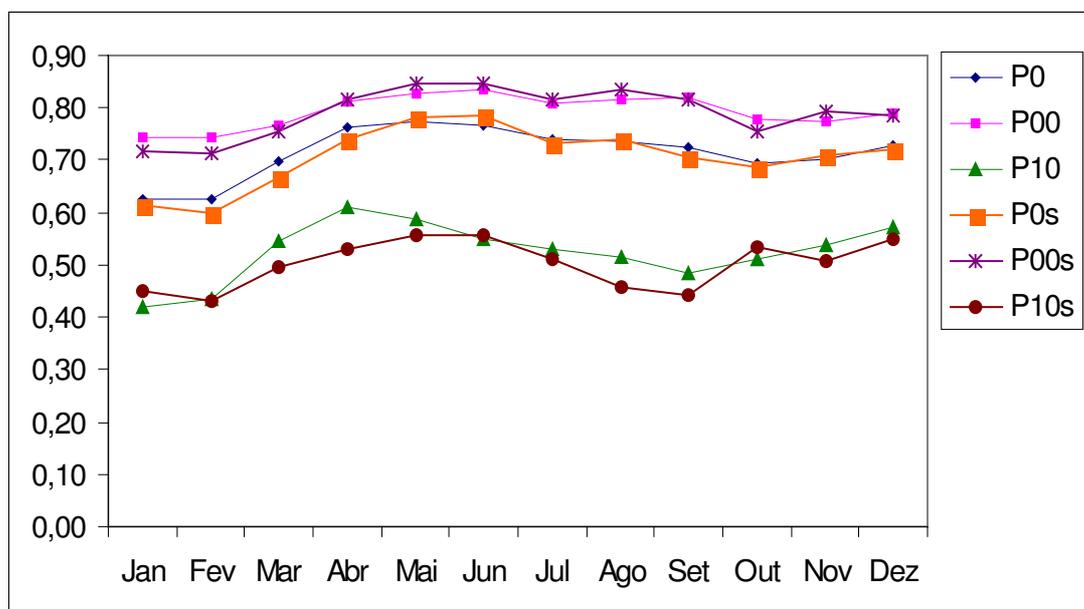


Figura 7. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Içara, SC.

Tabela 30. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Meleiro, SC.

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Jan	0,5875	0,7088	0,4076	0,6107	0,7165	0,4434
Fev	0,5718	0,6715	0,4414	0,6012	0,7118	0,4339
Mar	0,6225	0,7209	0,4626	0,6684	0,7544	0,4974
Abr	0,7277	0,7971	0,5472	0,7416	0,8122	0,5416
Mai	0,7671	0,8390	0,5288	0,7780	0,8418	0,5554
Jun	0,7603	0,8308	0,5386	0,7802	0,8444	0,5526
Jul	0,7528	0,8110	0,5718	0,7343	0,8121	0,5189
Ago	0,7303	0,8175	0,4936	0,7371	0,8329	0,4674
Set	0,6525	0,7634	0,4437	0,7058	0,8102	0,4524
Out	0,6484	0,7210	0,5152	0,6846	0,7536	0,5330
Nov	0,6820	0,7578	0,5199	0,7057	0,7882	0,5117
Dez	0,6647	0,7482	0,5000	0,7156	0,7832	0,5442

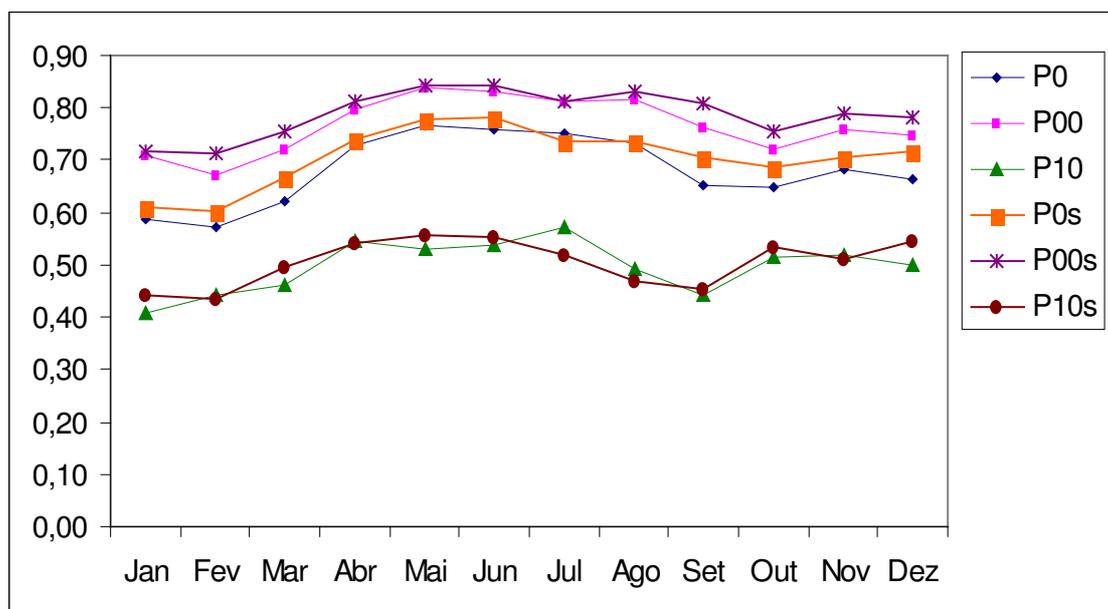


Figura 8. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Meleiro, SC

Tabela 31. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Timbé do Sul, SC.

Mês	Série observada			Série simulada		
	P0	P00	P10	P0	P00	P10
Jan	0,5414	0,6576	0,4012	0,6008	0,7104	0,4345
Fev	0,5133	0,6667	0,3515	0,5932	0,7051	0,4292
Mar	0,6263	0,7328	0,4500	0,6618	0,7510	0,4894
Abr	0,7449	0,8154	0,5464	0,7466	0,8087	0,5669
Mai	0,7781	0,8441	0,5465	0,7737	0,8387	0,5519
Jun	0,8058	0,8610	0,5809	0,7756	0,8403	0,5520
Jul	0,7223	0,8140	0,4822	0,7343	0,8106	0,5228
Ago	0,7349	0,8370	0,4518	0,7363	0,8288	0,4770
Set	0,6865	0,7913	0,4450	0,7036	0,8024	0,4661
Out	0,6384	0,7521	0,4412	0,6779	0,7495	0,5259
Nov	0,6485	0,7453	0,4710	0,6993	0,7815	0,5114
Dez	0,6240	0,7275	0,4533	0,7038	0,7776	0,5275

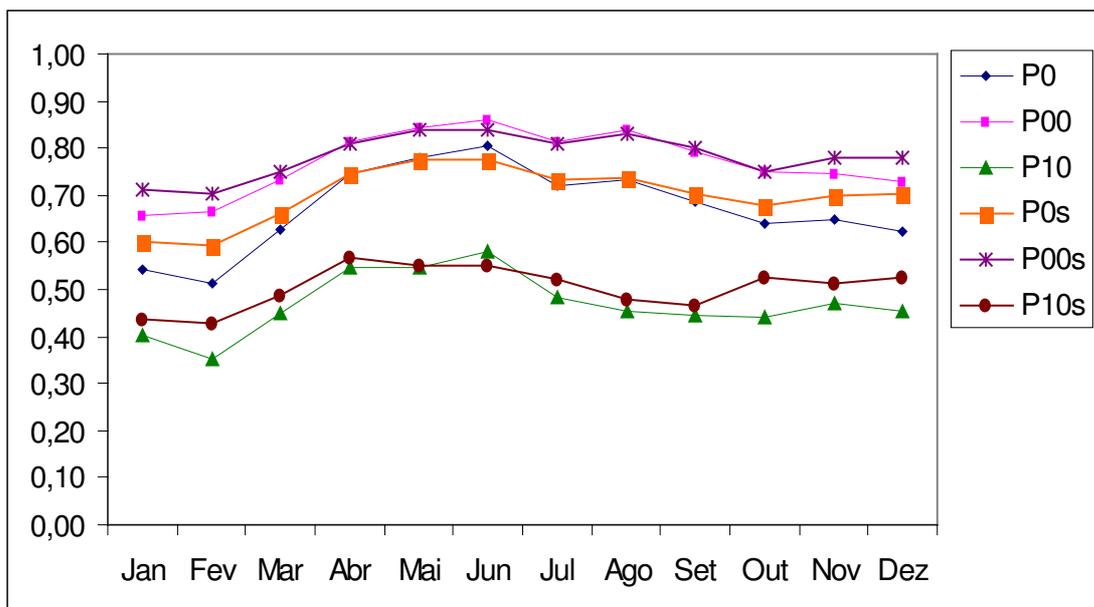


Figura 9. Probabilidades de dias secos (P0) e seqüência de dia seco seguido por dia seco (P00) e seqüência de dia chuvoso seguido de dia seco (P10) da série de precipitação observada e simulada para Timbé do Sul, SC.

4.3 Parâmetro para simulação de quantidade de chuvas

Nas Tabelas 32 a 36 são apresentados os valores mensais de média e desvio padrão de chuva dos dias chuvosos, isto é, considerando somente os dias com chuva igual ou superior a 1,0 mm. Também são apresentados os valores máximos e mínimos diários das séries observadas e simuladas. Com as médias e desvio padrões observados foram estimados os parâmetros da distribuição exponencial e distribuição gama, utilizados na simulação da quantidade de chuva. Na Tabela 37 estão apresentados os parâmetros da distribuição exponencial (alfa) e gama (beta e gama). Observa-se que em geral os valores do parâmetro γ da distribuição gama estão próximos de 1,0, explicando a observação de comportamento semelhante das distribuições exponencial e gama, pois conforme Assis(1996) e Clarke(1994) a distribuição exponencial é um caso particular da distribuição gama com parâmetro $\gamma = 1,0$.

Tabela 32. Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo Modelo Exponencial e Modelo Gama para Araranguá, SC.

mês	Série Observada				Série Simulada							
					Modelo Exponencial				Modelo Gama			
	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min
Jan	14,64	12,81	80,2	1,0	13,96	13,49	84,5	1,0	14,03	11,84	69,9	1,3
Fev	15,68	14,44	93,8	1,0	15,92	16,20	112,1	1,0	15,86	14,81	98,7	1,2
Mar	15,50	14,54	97,0	1,0	15,27	14,61	116,2	1,0	15,28	13,68	105,1	1,1
Abr	14,14	14,75	137,4	1,0	13,72	13,05	74,9	1,0	13,70	13,54	78,3	1,0
Mai	13,80	13,31	92,8	1,4	13,54	13,01	81,7	1,0	13,54	12,53	77,4	1,0
Jun	13,92	15,02	131,4	1,0	13,69	13,77	112,0	1,0	13,61	14,50	105,3	1,0
Jul	14,55	13,84	88,8	1,0	14,18	15,19	102,7	1,0	14,16	14,35	95,0	1,0
Ago	16,94	15,75	101,4	1,0	16,12	16,06	117,8	1,0	16,16	14,88	105,0	1,2
Set	15,74	13,85	93,2	1,2	16,05	16,22	159,3	1,0	15,98	14,09	128,7	1,4
Out	14,26	13,79	115,0	1,0	13,77	13,70	109,9	1,0	13,77	13,18	104,1	1,0
Nov	14,52	13,15	90,6	1,6	14,34	13,84	80,0	1,0	14,35	12,54	69,5	1,2
Dez	14,33	15,21	150,4	1,2	15,43	14,87	86,2	1,0	15,48	15,71	91,0	1,0

Tabela 33. Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo Modelo Exponencial e Modelo Gama para Forquilha, SC.

mês	Série Observada				Série Simulada							
					Modelo Exponencial				Modelo Gama			
	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min
Jan	12,80	14,47	121,2	1,0	12,58	13,17	110,2	1,0	12,53	14,47	106,1	1,0
Fev	15,35	16,17	133,0	1,0	15,60	15,35	99,8	1,0	15,59	16,04	102,2	1,0
Mar	15,26	17,74	133,2	1,0	15,42	15,32	109,1	1,0	15,41	17,59	124,4	1,0
Abr	12,84	14,10	84,2	1,0	13,56	14,49	114,2	1,0	13,54	15,48	101,8	1,0
Mai	12,15	12,66	98,4	1,0	11,47	11,72	105,6	1,0	11,40	11,89	87,8	1,0
Jun	11,84	14,31	136,3	1,0	12,83	12,38	88,4	1,0	13,01	14,81	105,2	1,0
Jul	13,22	14,89	118,2	1,0	13,22	13,30	87,4	1,0	13,21	14,84	97,7	1,0
Ago	14,09	15,66	127,2	1,0	13,77	13,56	95,8	1,0	13,72	14,89	104,1	1,0
Set	14,40	15,83	104,1	1,0	15,10	14,94	111,6	1,0	15,11	16,22	111,1	1,0
Out	12,83	14,27	127,8	1,0	12,55	12,29	80,6	1,0	12,51	13,54	89,6	1,0
Nov	13,59	13,59	100,0	1,0	13,55	12,73	70,3	1,0	13,55	12,73	70,3	1,0
Dez	13,96	15,53	120,6	1,0	13,93	13,54	97,4	1,0	13,91	14,88	104,9	1,0

Tabela 34. Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo Modelo Exponencial e Modelo Gama para Içara, SC.

mês	Série Observada				Série Simulada							
					Modelo Exponencial				Modelo Gama			
	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min
Jan	14,25	13,65	91,2	1,0	14,02	14,2	98,2	1,0	14,01	13,55	91,9	1,0
Fev	14,18	13,17	73,5	1,0	14,44	13,72	84,0	1,0	14,40	12,71	75,4	1,0
Mar	14,31	13,12	62,3	1,0	13,37	12,88	110,7	1,0	13,44	11,81	96,5	1,1
Abr	12,50	13,73	91,4	1,0	12,16	12,34	78,1	1,0	12,12	13,44	85,5	1,0
Mai	12,98	16,49	119,8	1,1	13,04	12,68	85,9	1,0	13,01	15,93	107,8	1,0
Jun	13,39	15,55	96,6	1,2	13,65	13,25	75,8	1,0	13,71	15,19	87,3	1,0
Jul	14,86	13,60	76,0	1,0	14,31	13,82	92,9	1,0	14,35	12,67	81,5	1,2
Ago	14,85	16,42	101,0	1,0	15,33	16,04	92,9	1,0	15,42	17,61	102,6	1,0
Set	14,96	13,37	63,7	1,0	15,20	16,12	127,1	1,0	15,10	14,15	106,0	1,3
Out	12,99	11,52	62,1	1,0	13,26	13,43	88,7	1,0	13,17	11,80	73,9	1,1
Nov	13,28	14,62	116,4	1,0	13,55	13,17	93,3	1,0	13,53	14,31	98,6	1,0
Dez	14,75	16,93	120,0	1,0	14,22	13,83	126,1	1,0	14,10	15,47	125,4	1,0

Tabela 35. Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo Modelo Exponencial e Modelo Gama para Meleiro, SC.

mês	Série Observada				Série Simulada							
					Modelo Exponencial				Modelo Gama			
	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min
Jan	13,93	14,49	106,3	1,0	13,97	13,82	130,3	1,0	13,90	13,92	101,1	1,0
Fev	15,43	16,38	135,0	1,0	15,13	14,83	105,5	1,0	15,09	15,64	107,0	1,0
Mar	13,60	15,56	130,0	1,0	13,12	12,72	109,6	1,0	13,01	14,22	113,4	1,0
Abr	12,40	14,25	82,2	1,0	12,26	12,50	74,5	1,0	12,26	14,22	82,9	1,0
Mai	11,52	13,42	90,0	1,0	11,80	12,85	105,7	1,0	11,80	14,53	101,7	1,0
Jun	11,73	13,99	100,4	1,0	12,52	11,81	77,9	1,0	12,61	13,93	87,7	1,0
Jul	12,06	13,76	106,4	1,0	13,02	12,52	69,5	1,0	13,13	14,20	77,6	1,0
Ago	13,54	14,67	97,3	1,0	13,63	13,90	115,3	1,0	13,58	14,69	104,3	1,0
Set	13,19	14,41	91,4	1,0	13,20	13,38	98,2	1,0	13,17	14,42	99,4	1,0
Out	11,46	12,44	80,6	1,0	11,80	11,49	92,4	1,0	11,76	12,24	87,6	1,0
Nov	11,68	12,50	92,4	1,0	11,54	11,69	94,6	1,0	11,51	12,34	87,3	1,0
Dez	13,08	14,73	101,3	1,0	13,41	13,41	111,0	1,0	13,40	14,84	107,5	1,0

Tabela 36. Média (X), desvio padrão (S), maior valor (Max) e menor valor (Min) da série de precipitação mensal observada e simulada pelo Modelo Exponencial e Modelo Gama para Timbé do Sul, SC.

mês	Série Observada				Série Simulada							
					Modelo Exponencial				Modelo Gama			
	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min	X	S	Max	Min
Jan	16,34	16,31	108,5	1,0	16,02	15,23	135,8	1,0	16,02	15,19	135,4	1,0
Fev	18,97	20,92	135,3	1,0	18,75	19,35	166,3	1,0	18,66	20,92	151,2	1,0
Mar	16,63	15,68	93,0	1,0	16,72	15,84	128,6	1,0	16,72	14,92	117,1	1,1
Abr	15,55	15,56	94,0	1,0	14,68	15,10	108,1	1,0	14,63	14,91	98,8	1,0
Mai	16,20	18,00	118,8	1,1	16,35	16,09	96,8	1,0	16,36	17,69	108,3	1,0
Jun	17,62	21,72	138,8	1,1	18,44	18,95	123,0	1,0	18,64	23,13	142,4	1,0
Jul	14,77	14,72	96,4	1,0	14,88	15,02	111,8	1,0	14,81	14,76	96,3	1,0
Ago	18,37	19,93	133,6	1,0	18,30	17,88	99,6	1,0	18,26	19,26	105,5	1,0
Set	16,39	16,41	95,4	1,0	16,01	15,44	111,9	1,0	15,97	15,33	103,4	1,0
Out	15,84	17,20	130,0	1,0	15,92	15,40	101,3	1,0	15,90	16,56	108,7	1,0
Nov	16,72	16,13	126,2	1,2	16,55	16,14	129,0	1,0	16,55	15,50	121,8	1,0
Dez	17,02	18,36	129,4	1,0	17,46	17,21	122,7	1,0	17,43	18,41	124,1	1,0

Tabela 37. Parâmetros da distribuição exponencial (α) e distribuição gama (β , γ) ajustados para cada estação.

	Araranguá			Forquilha			Içara			Meleiro			Timbé do Sul		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
Jan	0,0683	11,209	1,306	0,0781	16,358	0,782	0,0702	13,075	1,090	0,0718	15,073	0,924	0,0612	16,280	1,004
Fev	0,0638	13,298	1,179	0,0651	17,034	0,901	0,0705	12,232	1,159	0,0648	17,388	0,887	0,0527	23,070	0,822
Mar	0,0645	13,639	1,136	0,0655	20,623	0,740	0,0699	12,029	1,190	0,0735	17,802	0,764	0,0601	14,784	1,125
Abr	0,0707	15,386	0,919	0,0779	15,484	0,829	0,0800	15,081	0,829	0,0806	16,376	0,757	0,0643	15,570	0,999
Mai	0,0725	12,837	1,075	0,0823	13,191	0,921	0,0770	20,949	0,620	0,0868	15,633	0,737	0,0617	20,000	0,810
Jun	0,0718	16,207	0,859	0,0845	17,295	0,685	0,0747	18,058	0,741	0,0853	16,685	0,703	0,0568	26,774	0,658
Jul	0,0687	13,165	1,105	0,0756	16,771	0,788	0,0673	12,447	1,194	0,0829	15,700	0,768	0,0677	14,670	1,007
Ago	0,0590	14,644	1,157	0,0710	17,405	0,810	0,0673	18,156	0,818	0,0739	15,894	0,852	0,0544	21,622	0,850
Set	0,0635	12,187	1,292	0,0694	17,402	0,827	0,0668	11,949	1,252	0,0758	15,743	0,838	0,0610	16,430	0,998
Out	0,0701	13,335	1,069	0,0779	15,872	0,808	0,0770	10,216	1,271	0,0873	13,504	0,849	0,0631	18,677	0,848
Nov	0,0689	11,909	1,219	0,0736	13,590	1,000	0,0753	16,095	0,825	0,0856	13,378	0,873	0,0598	15,561	1,074
Dez	0,0698	16,144	0,888	0,0716	17,277	0,808	0,0678	19,432	0,759	0,0765	16,588	0,789	0,0588	19,805	0,859

4.4 Seqüência de dias com chuvas e dias secos

Nas Tabelas 38 a 42 constam o número máximo de dias consecutivos de chuva e número máximo de dias consecutivos de dias secos com início no mês, para as diversas estações utilizadas. Também constam os valores de desvio máximo ($D_{m\acute{a}x}$) entre as freqüências empírica e a freqüências teórica e o valor crítico ($D_{cr\acute{i}tico}$) segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 10%. Na estação de Araranguá observa-se que número máximo observado de dias consecutivos com chuva foi de 10 dias, tendo a seqüência iniciada no mês de fevereiro e também outra de mesma duração em agosto. Para a seqüência de dias secos (chuva menor que 1,0 mm) a maior seqüência observada foi de 68 dias, tendo a seqüência iniciado no mês de julho. Para todos os meses os valores de $D_{m\acute{a}x}$ da seqüência de dias de chuva foram inferiores a 4%, mostrando o bom ajuste da distribuição. Como os valores de $D_{cr\acute{i}tico}$ foram superiores aos valores de $D_{m\acute{a}x}$ em todos os meses, aceita-se a hipótese de igualdade das distribuições teóricas e empíricas e conclui-se que a distribuição geométrica pode ser utilizada para a estimativa das probabilidades de seqüências, de dias com chuva ou de dias secos.

Na estação de Forquilha a duração máxima da seqüência de dias chuvosos foi de 17 dias, ocorrendo no mês de janeiro, enquanto que a duração máxima de dias secos consecutivos foi de 53 dias, ocorrendo no mês de julho. Para a estação de Içara ocorreram dois períodos de 12 dias consecutivos de chuva, um iniciado no mês de fevereiro e outro no mês de novembro. O número máximo de dias secos consecutivos iniciou no mês de janeiro, tendo duração de 36 dias. Para a estação de Meleiro ocorreram dois períodos de 10 dias consecutivos de chuva, um iniciado no mês de fevereiro e outro no mês de agosto. O número máximo de dias secos consecutivos, iniciou no mês de julho e teve duração de 68 dias. Na estação de Timbé do Sul a duração máxima da seqüência de dias chuvosos, foi de 16 dias, ocorrendo no mês de Janeiro, enquanto que a duração máxima de dias secos consecutivos, foi de 67 dias, ocorrendo no mês de maio.

Em todas as estações estudadas, os valores de $D_{cr\acute{i}tico}$ foram superiores ao valor de $D_{m\acute{a}x}$, mostrando que distribuição geométrica pode ser utilizada para a estimativa das probabilidades de seqüências de dias com chuva ou de dias secos. Para mostrar a qualidade do ajuste da distribuição, foram elaborados as curvas empíricas e teóricas das freqüências acumuladas de dias consecutivos com chuva,

e também de dias consecutivos sem chuva, para os meses de janeiro e julho para cada uma das estações (Figuras 10 a 19).

Tabela 38. Número máximo de dias consecutivos de chuva e de dias secos(N), desvio máximo (D.máx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Araranguá-SC.

Mês	Dias de chuvas			Dias secos		
	N.	Dmáx	Dcrítico	N.	Dmáx	Dcrítico
Janeiro	08	0,0360	0,411	29	0,0223	0,22
Fevereiro	10	0,0145	0,368	19	0,0549	0,27
Março	09	0,0258	0,388	33	0,0473	0,21
Abril	07	0,0207	0,438	48	0,0385	0,21
Maio	07	0,0303	0,438	47	0,0505	0,21
Junho	06	0,0399	0,470	42	0,0538	0,21
Julho	08	0,0362	0,411	68	0,0531	0,21
Agosto	10	0,0103	0,368	38	0,0321	0,21
Setembro	09	0,0361	0,388	27	0,0319	0,24
Outubro	08	0,0112	0,411	31	0,0440	0,22
Novembro	09	0,0193	0,388	38	0,0417	0,21
Dezembro	06	0,0291	0,470	29	0,0282	0,22

Tabela 39. Número máximo de dias consecutivos de chuva e de dias secos(N), desvio máximo (Dmáx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Forquilha-SC.

Mês	Dias com chuva			Dias secos		
	N.	Dmáx	Dcrítico	N.	Dmáx	Dcrítico
Janeiro	17	0,0347	0,286	19	0,0309	0,272
Fevereiro	12	0,0250	0,338	28	0,0332	0,022
Março	09	0,0217	0,388	33	0,0319	0,210
Abril	08	0,0119	0,411	26	0,0280	0,240
Maio	09	0,0374	0,388	34	0,0656	0,210
Junho	08	0,0196	0,411	27	0,0637	0,240
Julho	09	0,0105	0,388	53	0,0474	0,210
Agosto	09	0,0197	0,388	35	0,0350	0,210
Setembro	11	0,0256	0,352	24	0,0555	0,240
Outubro	09	0,0443	0,388	23	0,0430	0,240
Novembro	13	0,0239	0,325	22	0,0208	0,264
Dezembro	07	0,0112	0,438	25	0,0269	0,240

Tabela 40. Número máximo de dias consecutivos de chuva e de dias secos (N), desvio máximo (D.máx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Içara-SC.

Mês	Dias com chuvas			Dias secos		
	N.	Dmáx	Dcrítico	N.	Dmáx	Dcrítico
Janeiro	09	0,0838	0,388	36	0,0720	0,210
Fevereiro	12	0,0552	0,338	17	0,0512	0,286
Março	06	0,0477	0,470	33	0,0402	0,210
Abril	04	0,0391	0,564	28	0,0564	0,220
Maio	07	0,0738	0,438	31	0,0834	0,220
Junho	05	0,0657	0,510	24	0,0353	0,240
Julho	09	0,0461	0,388	33	0,0590	0,210
Agosto	09	0,0653	0,388	20	0,0411	0,264
Setembro	07	0,0175	0,438	26	0,0741	0,240
Outubro	10	0,0250	0,368	17	0,0276	0,286
Novembro	12	0,0680	0,338	31	0,0449	0,220
Dezembro	09	0,0143	0,388	18	0,0539	0,278

Tabela 41. Número máximo de dias consecutivos de chuva e de dias secos(N), desvio máximo (D.máx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Meleiro-SC.

Mês	Dias com chuvas			Dias secos		
	N.	Dmáx	Dcrítico	N.	Dmáx	Dcrítico
Janeiro	08	0,0147	0,411	29	0,0351	0,22
Fevereiro	10	0,0197	0,368	19	0,0307	0,27
Março	09	0,0277	0,388	33	0,0305	0,21
Abril	07	0,0163	0,438	48	0,0502	0,21
Maio	07	0,0343	0,438	47	0,0743	0,21
Junho	06	0,0408	0,470	42	0,0351	0,21
Julho	08	0,0220	0,411	68	0,0294	0,21
Agosto	10	0,0160	0,368	38	0,0401	0,21
Setembro	09	0,0215	0,388	27	0,0420	0,24
Outubro	08	0,0127	0,411	31	0,0259	0,22
Novembro	09	0,0249	0,388	38	0,0382	0,21
Dezembro	06	0,0139	0,470	29	0,0283	0,22

Tabela 42. Número máximo de dias consecutivos de chuva e de dias secos(N), desvio máximo (D.máx) entre a distribuição geométrica e a distribuição empírica e desvio crítico pelo Teste Kolmogorov-Smirnov para o nível de significância de 10% para Timbé do Sul-SC.

Mês	Dias com chuvas			Dias secos		
	N.	D.máx	D. crítico	N.	D.máx	D. crítico
Janeiro	14	0,0492	0,314	19	0,0369	0,272
Fevereiro	10	0,0291	0,368	15	0,0460	0,304
Março	10	0,0281	0,368	32	0,0423	0,220
Abril	07	0,0393	0,438	21	0,0293	0,264
Maio	08	0,0280	0,411	46	0,0611	0,210
Junho	06	0,0211	0,470	22	0,1042	0,264
Julho	08	0,0282	0,411	45	0,0492	0,210
Agosto	08	0,0473	0,411	30	0,0327	0,220
Setembro	08	0,0682	0,411	26	0,0712	0,240
Outubro	06	0,0566	0,470	18	0,0604	0,278
Novembro	08	0,0331	0,411	17	0,0461	0,286
Dezembro	10	0,0279	0,368	15	0,0305	0,304

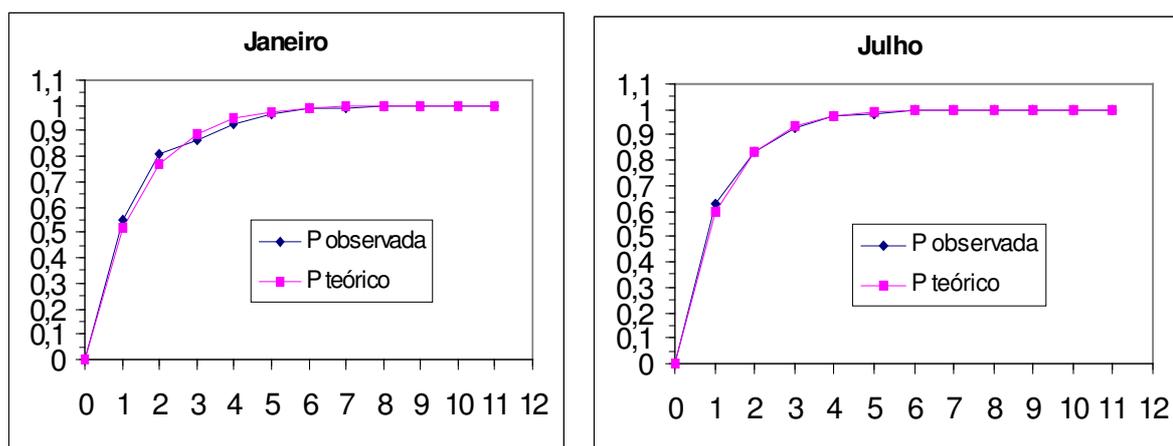


Figura 10. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Araranguá-SC.

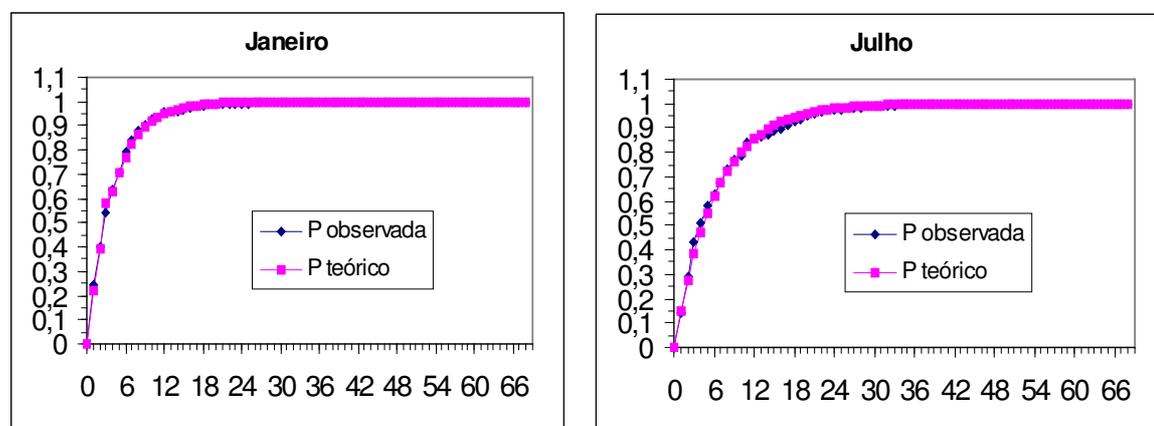


Figura 11. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Araranguá –SC.

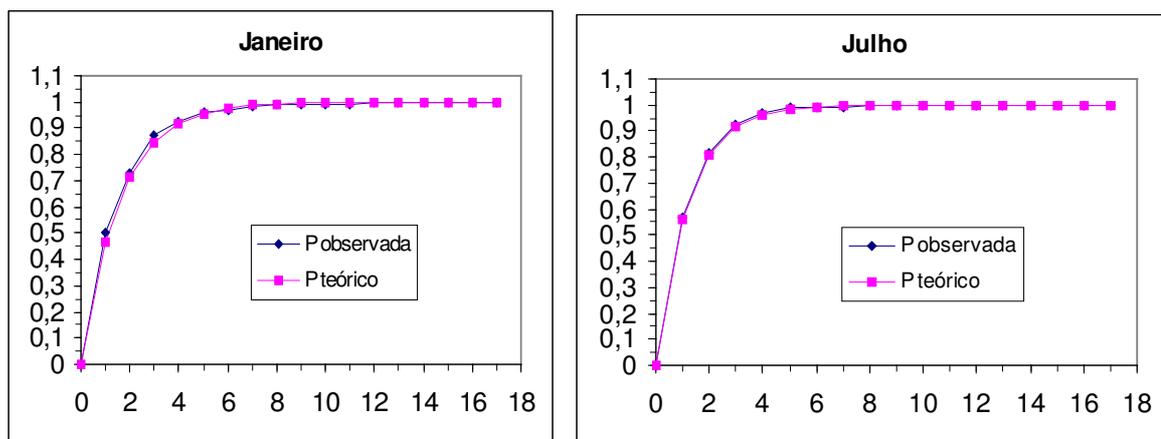


Figura 12. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Forquilha-SC.

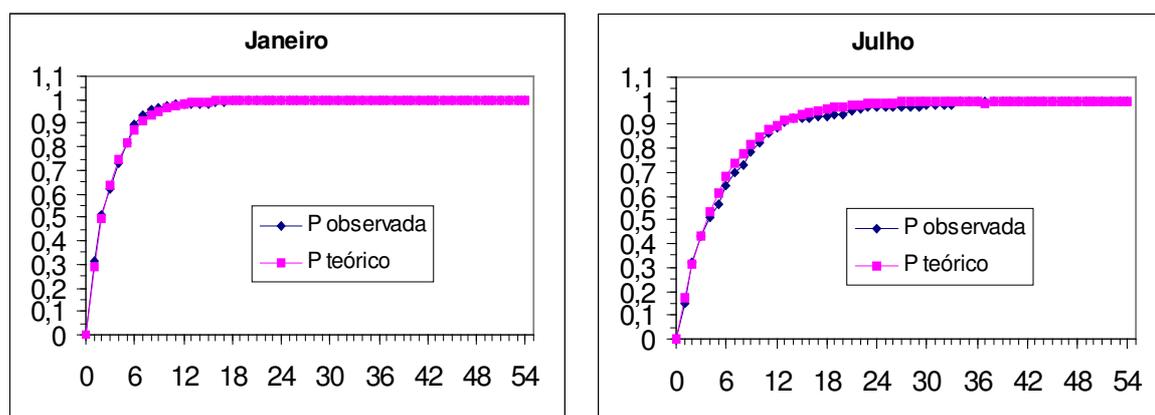


Figura 13. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Forquilha-SC.

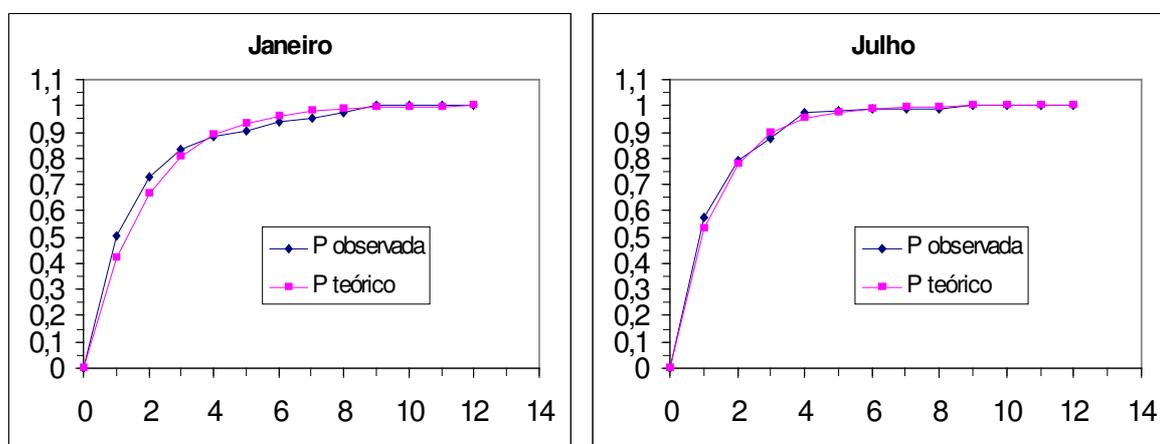


Figura 14. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Içara-SC.

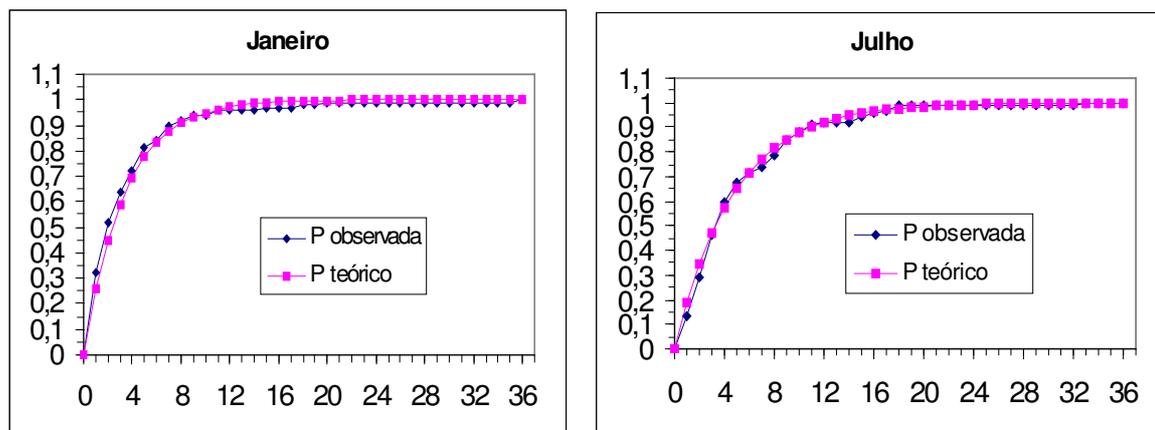


Figura 15. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos (<1,0mm) para os meses de janeiro e julho em Içara –SC.

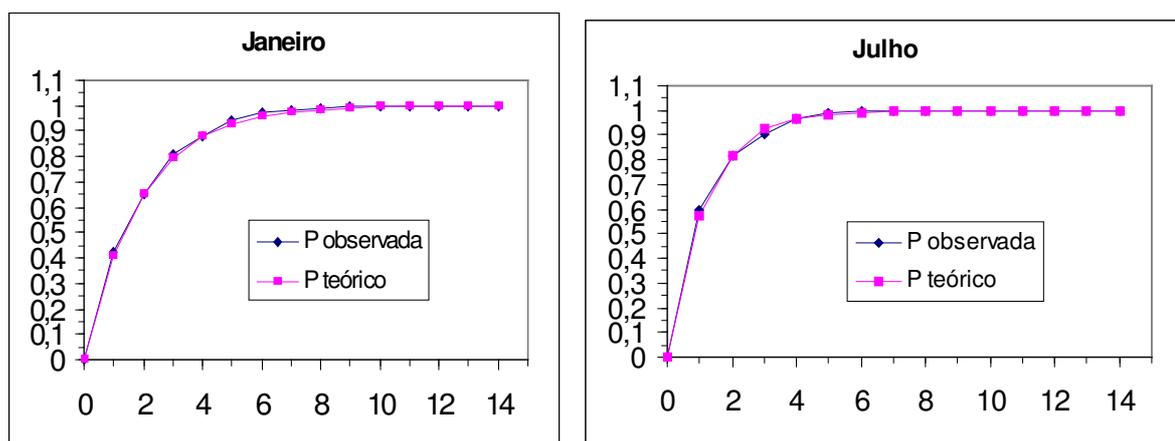


Figura16. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0$ mm) para os meses de janeiro e julho em Meleiro-SC.

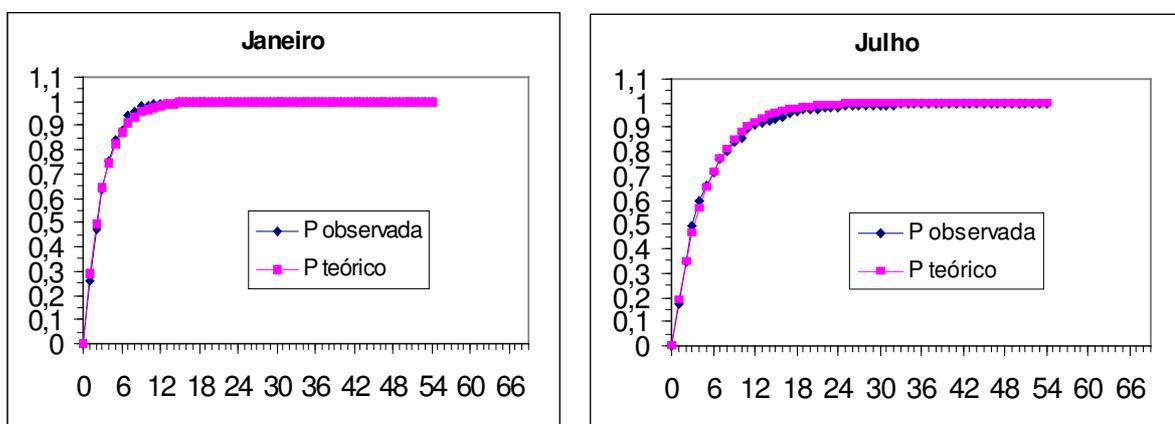


Figura 17. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos (<1,0mm) para os meses de janeiro e julho em Meleiro –SC.

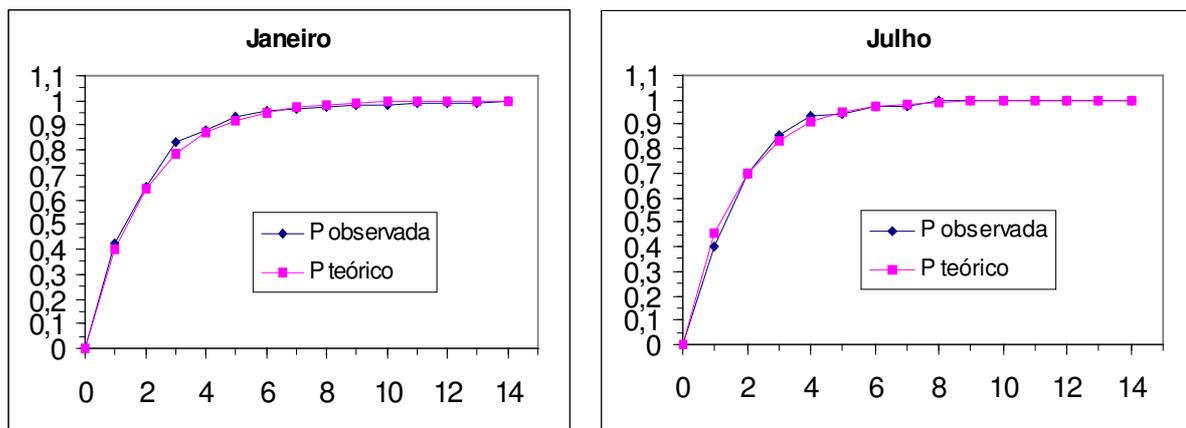


Figura 18. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias com chuvas ($\geq 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Timbó do Sul-SC.

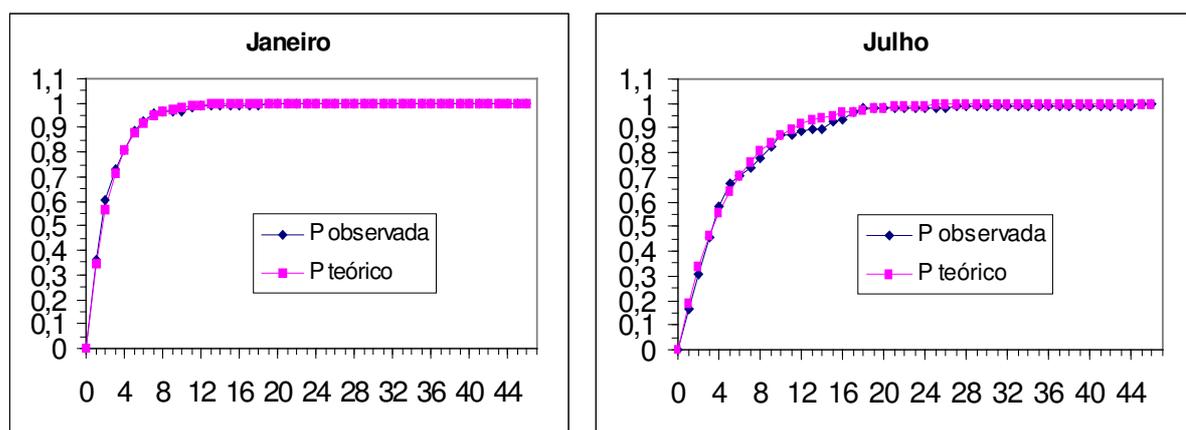


Figura 19. Probabilidade observada e teórica de seqüência de dias secos ($< 1,0\text{mm}$) para os meses de janeiro e julho em Timbó do Sul –SC.

Com estes dados pode-se estimar as probabilidades de seqüência de dias secos ou de dias chuvosos. Na tabela 43 estão colocados as probabilidades de ocorrência de seqüência de até 3 dias consecutivos de chuva para cada uma das estações.

Tabela 43. Probabilidade de ocorrência de até três dias consecutivos com chuva.

Mês	Araranguá	Forquilha	Içara	Meleiro	Timbé do Sul
Janeiro	0,8904	0,8471	0,8325	0,8277	0,8192
Fevereiro	0,9003	0,8108	0,8148	0,8186	0,8140
Março	0,9079	0,8447	0,8717	0,8730	0,8669
Abril	0,9414	0,8914	0,8966	0,9037	0,9188
Mai	0,9399	0,9061	0,9124	0,9121	0,9100
Junho	0,9265	0,9048	0,9119	0,9104	0,9101
Julho	0,9330	0,9157	0,8828	0,8886	0,8913
Agosto	0,8917	0,8416	0,8410	0,8489	0,8569
Setembro	0,8784	0,8249	0,8255	0,8358	0,8478
Outubro	0,9349	0,8953	0,8995	0,8982	0,8934
Novembro	0,9282	0,8683	0,8798	0,8836	0,8834
Dezembro	0,9426	0,9055	0,9089	0,9053	0,8945

Observa-se que na estação de Araranguá no mês de dezembro tem probabilidade de 0,9426 de ocorrer até três dias de chuva, o que corresponde a um risco de 5,74 % de ocorrer um período superior a três dias de chuva. No mês de setembro esse risco já é de 12,13 %.

Na tabela 44 estão as probabilidades de ocorrência de até 10 dias consecutivos sem chuva para as diversas estações. No mês de fevereiro Araranguá apresenta a probabilidade de 0,9624 de ocorrer até 10 dias consecutivos sem chuva, ou seja há um risco de 3,76% de ocorrer um período superior a 10 dias com chuva. No mês de maio este risco já é de 23,13 %

De posse deste tipo de informação pode-se planejar as atividades em função dos riscos climáticos.

Tabela 44. Probabilidade de ocorrência de até dez dias consecutivos sem chuva.

Mês	Araranguá	Forquilha	Içara	Meleiro	Timbé do Sul
Janeiro	0,9155	0,9668	0,9644	0,9643	0,9673
Fevereiro	0,9624	0,9708	0,9665	0,9666	0,9696
Março	0,9252	0,9388	0,9401	0,9403	0,9429
Abril	0,8241	0,8691	0,8694	0,8751	0,8804
Mai	0,7787	0,8088	0,8140	0,8213	0,8278
Junho	0,8041	0,8133	0,8084	0,8157	0,8245
Julho	0,7992	0,8505	0,8715	0,8752	0,8775
Agosto	0,7929	0,8249	0,8316	0,8393	0,8471
Setembro	0,8743	0,8881	0,8707	0,8781	0,8894
Outubro	0,9051	0,9460	0,9388	0,9409	0,9441
Novembro	0,8604	0,8859	0,9020	0,9075	0,9150
Dezembro	0,8953	0,9256	0,9117	0,9132	0,9192

CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados deste estudo pode-se concluir que:

- Existe um grande efeito da sazonalidade na precipitação média mensal, sendo os maiores valores observados de janeiro e fevereiro e menores valores em maio e junho,
- Não existe sazonalidade bem definida nos valores máximos, isto é, os valores máximos podem ser observados em qualquer época do ano;
- O efeito da orografia faz com que as chuvas totais mensais medidas nas estações de Timbé do Sul apresentam maiores valores que as demais estações estudadas;
- Com relação ao número médio de dias de chuva não se observou o mesmo efeito da orografia;
- Os dados de precipitação total mensal e número de dias de chuva por mês apresentam coeficiente de assimetria menor que 3,0;
- O modelo de Markov de primeira ordem de dois estados simulou as seqüências de dias secos e chuvosos mantendo as características das séries observadas;
- Na simulação da quantidade de chuva não houve diferenças entre a distribuição exponencial e a distribuição gama;
- As séries de chuvas simuladas mantiveram as características das séries observadas
- As probabilidades de ocorrências de seqüências de dias secos e de dias consecutivos com chuva podem ser estimadas com a distribuição geométrica.

REFERÊNCIAS

AMIR, I.; ARNOL, J. B.; BILANSKI, W. K. A procedure for determining probabilities of dry and wet days. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, n. 19, p. 2-5, 1977.

AMARAL, E.; SILVA, J. B. **Research on statistics applied to agricultural meteorology**. Geneva. W. M. O., 1971, 7p.

ARRUDA, H. V.; PINTO, H. S. A simplified gamma probability model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, SP, Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, n. 22, p. 101-108, 1980.

ASSIS, F. N. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas. Universitária, 1996. 161p.

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 65p. (Boletim Técnico, 123).

BUIHAND, T. A. The Binary Darma-Process on a Model For We-Dry Sequences, Tech. The Netherlands: Univ.Wageningen (Dep. Math. Agric).

CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras-MG, baseada na função de distribuição de probabilidades gama III –Períodos de 10 dias. **Ciência e Prática**, Lavras, n. 7, p. 58-65, 1983.

CASTRO NETO, P. SEDIYAMA, G. C.; VILELA, E. A. Probabilidades de ocorrência de períodos secos em Lavras-MG. **Ciência e Prática**, Lavras, n. 4, p. 46-55, 1980 b.

CLARKE, R. T. Stochastic Hydrology Revisited. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Roma, v. 7, p. 97-104, 2002.

_____. **Statistical modelling in hydrology**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. 412p.

_____. 1988. Markov chains: applications to modeling of daily rainfall. In: _____. **Stochastic process for water scientist: developments and applications**. Chichester: John Wiley, 1988. 183p.

_____. Mathematical models in hydrology. Roma. Fao Irrigation and drainage paper 19, 1973. 175p.

COOKE, D.S. The duation of wet and dray spells at Moncton, New Brusswick. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, London, n. 79, p. 536-538, 1953.

DIGGLE, P. J. Discussion of the paer A Model Flitting Analysis of Daily Rainfall Data by Stern, R.D. and R. Coe, J. R. Statist Soc, 1984.

EPAGRI. Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina, 1999. (CD).

FEYERHEM, A. M.; BARK, L. D. Goodness of Fit of a Markov Chain Model for Sequences of Wet and Dry Days, **Journal of Applied Meteorology**, New York, n. 06, 1967, p.770 –773, 1967.

FOUFOLA, Georgiou. Discrete-Time Point Process Models for Daily Rainfall, Water Resources Series, Technical Report, n. 33, Scatle-Whashington: Dept Civil Eng University of Washington, 1985.

GABRIEL K. R.; NEUMANN, J. A. Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrences at Tel Aviv, **Quaterly Journal Royal Metoorological Society**, n. 88, p. 90-95, 1962.

HERRMANN, M. L. P. Levantamento dos Desastres Naturais Causados pelas Adversidade Climáticas no Estado de Santa Catarina, período 1980 a 1995. In: _____v. 2 1997. 59p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis..

HOPKINS, J. W.; ROBILLARD, P. Some Statistica from the Canadian Prairie Provinces, **Journal of Applied Meteorology**, p.600-602, 1964.

KELMAN, Jerson. Controle de Cheias e Aproveitamentos Hidroelétricos (RBE). **Revista Brasileira de Engenharia**, Rio de Janeiro, p 56-57 , 1987.

KITE, G. W.1977. Frequency and risk analyses in Hydrology. **Water Resources Publications For Collins**, 224p.

LARSEN, G. A.; PENSE, R. B. Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models. **Agronomy Journal**, Madison, n. 74, p. 510-514, 1982.

LAWRENCE, E. N. Application of mathematical series to the frequency of weather spells. **Meteorological Magazine**, London, n. 83, p. 195-200, 1954.

LONGLEY, R. W. The length of dry and wet periods. **Journal Royal Meteorological Society**, London, n. 79, p. 520-527, 1953.

MILDE, L. C. E. **Estudo de precipitação diária: regimes pluviométricos e modelos de distribuição para a região cacauzeira do sudeste da Bahia**, 1983. 89p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima In Grande Região Sul**. v. IV. Rio de Janeiro: FIBGE, 1968. p. 117-158.

MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. A.. O Clima do trecho de Florianópolis-Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. In: _____. **GEOSUL**, n. 19/20, ano 10, 1º e 2º semestre de 1995.

NEYMAN, J.; SCOTT, E. I. A Statistical Approach to Problems of Cosmology, **J.R. Statist. Soc.**, p. 41-43, 1958.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OCCHIPINTI, Antonio G. H. Hidrometeorologia. In: _____. **Hidrometeorologia** Rio de Janeiro: UFRJ, 1989. cap. 2, v. 2, p. 53 (Coleção ABRH de Recursos Hídricos Engenharia Hidrológica).

OLIVEIRA, J. A. F.; BUZATI, D. J. Previsão do número provável de dias trabalháveis em serviços rodoviários em Minas Gerais. Belo Horizonte: Departamento de Estradas e Rodagem (DER), p.149-167, 1983.

ORSELLI, L. Clima. In: _____. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento, 1991, 96p.

POMPEU, C. A.; RIGHETTO, A. M. Modelação da precipitação diária e horária para a Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau, **Anais...** Blumenau, FURB 1983. p.45-52

QUINTELA, A. C.; PORTELA, M. M. (2002) A Modelagem Hidrológica em Portugal nos Últimos 25 anos do Século XX, nas Perspectivas Determinística, Probabilística e Estocástica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 7, n. 4, p. 51-64, 1995.

RÃO, Nandamudi J. M.; BIAZI, Elenice. Um estudo estocástico para dias chuvosos e não chuvosos consecutivos para uma estação do interior de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., 1981, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 1981. p.89

RICHARDSON, C. W. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, n. 1, p. 182-190, 1981.

ROBERTSON, G. W. **Dry and wet spells**. Malaysia: Project Field Report, 1976. 28p.

RODRIGUES, Iturbe Ignacio; GUPTA, V. K.; WAYMIRE, E. Considerations in the Modeling of Temporal Rainfall. **Water Resources Research**, 1984.

SANSIGOLO, C. A. Modelagem Estocástica de precipitações diárias, **Revista Brasileira de Engenharia**, p.35-40, 1988. Caderno de Recursos Hídricos.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente; Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e Da Agricultura. Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica da bacia do rio Araranguá. Documento síntese, 1996.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Barragem do Rio do Salto: Relatório de Impacto Ambiental. Florianópolis, 2000. CD.

SEDIYAMA, G. C. et al. Simulação de parâmetros climáticos para época de crescimento das plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 25, n. 141, p. 455-466, 1978.

SILVA, J. B.; ARAUJO, M. I. M.; ANDRADE, A. M. P. A. Probabilidade de ocorrência de veranicos na baixada campista. **Saneamento**, Rio de Janeiro, n. 51, p. 26-33, 1977.

STERN, R. D.; COE, R. The use of rainfall models in agricultural planning. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, n. 26, p. 35-50, 1982.

SOUZA, A. et al. **Modelo para estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas**: lavoura arrozeira. Porto Alegre, n. 401, v. 45, p. 8-12, 1992.

THOM, H. G. A Note on the Gama Distribution Monthly Weather Review, p. 117-122, 1958.

THOMÉ, V. M. R. et al. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. CD-ROM.

TUCCI, C. E. **Hidrologia**: ciência a aplicação. Porto Alegre. UFRGS, 1993. 943p.

VALDATI, J. **Riscos de desastres naturais**: o caso da sub-bacia do rio da Pedra-Jacinto Machado, SC. 2000. 82p Dissertação (Mestrado em Geografia), FFSC, Florianópolis.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A.. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VIRGENS FILHO, J. S.; CATANEO, A. Modelo computacional para simulação da radiação solar global diária. **Energia na Agricultura**, v. 14, n. 2, p. 24-36, 1999.

WAYMIRE, E. E.; GUPTA, V. J. The Mathematical Structure of Rainfall Representation, Part 1, A Review of the Stochastic Rainfall Models. **Water Resources Research**, p. 1261-1272, 1981.

_____. The Mathematical Structure of Rainfall Representation, Part 3, Some Applications of the Point Process Theory to Rainfall Processes. **Water Resources Research**, p. 1287-1294, 1981.

WILLIAMS, C. C. Sequences of wet and dry days considered in relation to the logarithmic series. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, London, n.78, p. 91-96, 1952.

WISER, E.H. Modified Markov Probability Models of Sequences of Precipitation Events. **Monthly Weather Review**, 1965.

WOLF, J. M. **Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuva para Brasília-DF**. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira, n. 12, p. 141-50, 1977.

WOOLHISER, D. A.; ROLDAN, J. Stochastic Daily Precipitation Models, 2. A Comparison of Distributions of Amounts. **Water Resources Research**, p. 1461-1468, 1982.

ANEXOS

Anexo 1 – Kolmogorov-Smirnov critical values

Degrees of Freedom (N)	One Sample Test*			Two Sample Test**	
	D _{0,10}	D _{0,05}	D _{0,01}	D _{0,05}	D _{0,01}
1	0,950	0,975	0,995		
2	0,776	0,842	0,929		
3	0,642	0,708	0,828		
4	0,564	0,624	0,733	1,000	1,000
5	0,510	0,565	0,669	1,000	1,000
6	0,470	0,521	0,618	0,833	1,000
7	0,438	0,486	0,577	0,857	0,857
8	0,411	0,457	0,543	0,750	0,875
9	0,388	0,432	0,514	0,667	0,778
10	0,368	0,410	0,490	0,700	0,800
11	0,325	0,391	0,468	0,636	0,727
12	0,338	0,375	0,450	0,583	0,667
13	0,325	0,361	0,433	0,538	0,692
14	0,314	0,349	0,418	0,571	0,643
15	0,304	0,338	0,404	0,533	0,600
16	0,295	0,328	0,392	0,500	0,625
17	0,276	0,318	0,381	0,471	0,588
18	0,278	0,309	0,371	0,500	0,556
19	0,272	0,301	0,363	0,474	0,526
20	0,264	0,294	0,356	0,450	0,550
25	0,24	0,27	0,32	0,40	0,48
30	0,22	0,24	0,29	0,37	0,43
35	0,21	0,23	0,27	0,34	0,39
Over 35	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$	$1,36 \frac{n_1 + n_2}{\sqrt{n_1 n_2}}$	$1,63 \frac{n_1 + n_2}{\sqrt{n_1 n_2}}$

* Used for testing goodness of fit of a sample to a theoretical distribution where N = sample size.

**Used to determine if two samples are from the same distribution. For small samples (up to 35), $N = n_1 = n_2$.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)