



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**LEONEL OLIVEIRA SOUSA**

**EFICIÊNCIAS DAS CISTERNAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA  
DE CHUVA: análise frente aos cenários de mudanças climáticas**

NATAL/RN  
2018

**LEONEL OLIVEIRA SOUSA**

**EFICIÊNCIAS DAS CISTERNAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE  
CHUVA: análise frente aos cenários de mudanças climáticas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Adelena Gonçalves  
Maia

NATAL/RN  
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Sousa, Leonel Oliveira.

Eficiências das cisternas de aproveitamento de água de chuva:  
análise frente aos cenários de mudanças climáticas / Leonel  
Oliveira Sousa. - 2018.

81 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande  
do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2018.

Orientador: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia.

1. Cisternas - Dissertação. 2. Semiárido - Dissertação. 3.  
Vulnerabilidade - Dissertação. 4. Estacionariedade das séries  
pluviais - Dissertação. I. Maia, Adelena Gonçalves. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.112.23

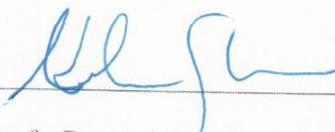
LEONEL OLIVEIRA SOUSA

EFICIÊNCIAS DAS CISTERNAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE  
CHUVA: análise frente aos cenários de mudanças climáticas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Adelena Gonçalves Maia

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia – Orientadora  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN



Prof. Dr. Cláudio Moisés Santos e Silva – Examinador interno  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN



Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão – Examinador externo  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

NATAL/RN  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter sempre me dado saúde e força para lutar.

Aos meus pais, José Alves de Sousa e Nady de Almeida Oliveira Sousa pelo apoio incondicional e por terem sonhado junto comigo. À minha irmã Letícia pela torcida e inspiração diária. A minha família, em especial, aos meus tios, Nevanda e Ivaldo, e primos, Vinnicius e Vallerya pelo apoio dado quando mais precisei.

À Profª. Dra. Adelena Gonçalves por estar sempre ao meu lado, e por toda a paciência e serenidade que me passou durante esta jornada de dois anos.

Aos meus colegas de Mestrado Maria Helena, Thiago, Mislainy, Felipe e Mozart por toda a amizade e suporte no decorrer do mestrado.

Agradeço aos colegas da Divisão de Obras da UFPB por servirem de inspiração e por terem me ajudado quando precisei.

Agradeço aos professores da UFRN/PPgES-LARHISA, pois deram grande contribuição para minha formação. Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Norte por toda a minha formação acadêmica.

## RESUMO

Vários sistemas ambientais vêm passando por mudanças contínuas em seus climas. Em decorrência disso, o sistema de aproveitamento de água da chuva (SAAC) recebeu notável atenção como uma maneira alternativa de diminuir a vulnerabilidade quanto ao abastecimento de água. Em geral, o desempenho de um SAAC é determinado usando dados históricos de precipitação sem levar em conta os impactos das mudanças climáticas nos padrões de precipitação. Esta pesquisa investigou os efeitos da mudança climática em sistemas domésticos de aproveitamento de água de chuva localizados no Rio grande do Norte, com base em diferentes combinações de superfície do telhado, tamanhos de tanques de água da chuva e demandas de água. O balanço hídrico no tanque foi simulado aplicando os critérios de atendimento da demanda pós-extravasamento a partir de séries sintéticas de vazão considerando variações nos parâmetros de média e variância das precipitações diárias. Os resultados mostraram que SAAC menos confortáveis, ou seja, com menor área de telhado e tamanho de cisterna e maior demanda, sofrem mais impactos frente aos diferentes cenários estudados. Cisternas localizadas no semiárido são mais vulneráveis às mudanças no clima, em função da baixa precipitação e da concentração da mesma no tempo. Espera-se que os resultados sirvam de alerta para as autoridades competentes pelo gerenciamento dos recursos hídricos sobre os possíveis impactos que as mudanças no clima podem causar, de forma a diminuir a vulnerabilidades das comunidades as mudanças futuras nos padrões de chuva.

**Palavras-chave:** Semiárido, vulnerabilidade, estacionariedade das séries pluviais.

## ABSTRACT

As a result of the continuous climate change in many environmental system, rainwater harvesting system(RWHS) has received notable attention as an alternative way of decrease water vulnerability. In general, the design and performance of a RWHS is determined by using historical rainfall data without the impacts of climate change on rainfall. The objective is to investigate the effects of climate change in a domestic rainwater harvesting system based on different combinations of roof-surface, rainwater-tank sizes and water demands located in the northeast Brazil. The water balance in the tank will be simulated applying yield-after-spillage criteria starting from series synthetics of flow rate considering variations on the parameters of mean and variance of the daily series of precipitation. The findings show that RWHS less comfortable will be more impacted

in its performance. Cisterns located in the semiarid are more vulnerable to climate change. It is expected that the findings help water authorities and policy makers to select appropriate rainwater tank size in the context of climate change.

**Key words:** Semi-arid, vulnerability, stationarity of rainfall series.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - valores de PCD e PCP para as estações selecionadas .....	20
Tabela 2 - Classificação dos níveis de conforto .....	30
Tabela 3 – Comparação das maiores variações entre as médias obtidas e as médias de entrada das séries sintéticas geradas.....	36
Tabela 4 - Comparação das maiores variações entre as variâncias obtidas e as variâncias de entrada das séries sintéticas geradas .....	37
Tabela 5 - médias e variâncias obtidas para cada cenário e localidade analisada .....	38
Tabela 6 - Comparação entre os extremos de eficiência para as diferentes cidades .....	40
Tabela 7 - Classificação dos níveis de conforto calculados .....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação Média Anual (P) para os dados CRU (período:1971-2000) e modelos climáticos BCM2, INCM3 e MIMR (A2 e B1 período: 2041-2070).....	14
Figura 2 - Mudanças bimensais janeiro/fevereiro (JF), março/abril (MA), maio/junho (MJ), julho/agosto (JA), setembro/outubro (SO) e número de dias (ND) de chuva projetada pelo Eta-CPTEC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100 relativos a 1961 – 1990.....	15
Figura 3 - Localização das estações pluviométricas analisadas .....	18
Figura 4 – Precipitação média mensal das quatro cidades estudadas.....	19
Figura 5: Metodologia de modelo paramétrico para geração de séries sintéticas de precipitação.....	23
Figura 6 - Dados de entrada e saída para a ROTINA 1 .....	24
Figura 7 - Dados de entrada e saída para a ROTINA 2 .....	24
Figura 8 - Esquema de como se desenvolve a Rotina 2 .....	26
Figura 9 - Dados de entrada e saída para a Rotina 3 .....	28
Figura 10 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Natal. ....	32
Figura 11 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Acari. ....	32
Figura 12 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Portalegre.....	33
Figura 13 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de São Paulo do Potengi.....	33
Figura 14 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Natal .....	34
Figura 15 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Acari .....	34
Figura 16 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Portalegre.....	35
Figura 17 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de São Paulo do Potengi.....	35
Figura 18 - Eficiências da série histórica e a série sintética .....	39
Figura 19 - Comparação das eficiências para o cenário de redução de 30 % da média, aumento de 10% na variância, área de telhado 50 m <sup>2</sup> e Demanda 200 L. dia <sup>-1</sup> . ....	41
Figura 20 - Eficiências calculadas para cidade de Natal para todos os cenários considerados. ....	41
Figura 21 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Natal (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional).....	43
Figura 22 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Acari (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional).....	44
Figura 23 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Portalegre (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional).....	45

Figura 24 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de São Paulo do Potengi (Eixo y – Eficiência % Eixo x – $\pi$ adimensional ) .....	45
Figura 25 - Eficiências para o cenário de aumento de 20% na média .....	46
Figura 26 - Eficiências para o cenário de redução de 20% na média .....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS

A	Área de captação
C	Capacidade do tanque
D	Demanda
SAAC	Sistema de aproveitamento de água de chuva
v	Variância
m	Média
$p_c$	Probabilidade crítica
$p_{01}$	Probabilidade de transição entre dia atual seco e anterior chuvoso;
$p_{00}$	Probabilidade de transição entre dia atual seco e anterior seco;
$p_{10}$	Probabilidade de transição entre dia atual chuvoso e anterior seco;
$p_{11}$	Probabilidade de transição entre dia atual chuvoso e anterior chuvoso;
E	Eficiência

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>2.1. Cenários de Mudanças climáticas</b> .....	12
<b>2.2. Séries Sintéticas de Precipitação</b> .....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
<b>3.1. Área de estudo</b> .....	18
<b>3.2. Geração das séries sintéticas de precipitação</b> .....	21
<b>3.2.1. Determinação das ocorrências</b> .....	23
<b>3.2.2. Determinação do total precipitado</b> .....	27
<b>3.3. Performance da cisterna</b> .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	31
<b>4.1. Análise das séries sintéticas geradas</b> .....	31
<b>4.2. Análise das eficiências</b> .....	38
<b>4.3. Análise da localidade mais impactada</b> .....	39
<b>4.4. Comparação entre os diferentes níveis de conforto.</b> .....	41
<b>4.5. Análise para um cenário específico</b> .....	45
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	49
<b>APÊNDICES</b> .....	55
<b>APÊNDICE 1 – Script para obtenção das probabilidades de transição utilizando Cadeias de Markov (ANDRADE NETO et. al, 2017)</b> .....	55
<b>APÊNDICE 2 – Script no Software R para obtenção da matriz de ocorrências (matriz de uns e zeros) (ANDRADE NETO et. al, 2017)</b> .....	57
<b>APÊNDICE 3 – Script utilizando o software R para obtenção da alturas precipitadas (ANDRADE NETO et. al, 2017).</b> .....	59
<b>APÊNDICE 4 – Script dos cálculos da eficiência utilizando o Microsoft Exel. (ANDRADE et. al, 2014)</b> .....	61
<b>APÊNDICE 5 – Médias (mm/dia) mensais de precipitação calculadas para os diferentes cenários.</b> .....	63
<b>APÊNDICE 6 – Erros calculados entre as médias de entrada e as médias obtidas.</b> .....	66
<b>APÊNDICE 7 – Comparação entre as médias obtidas e a média histórica.</b> .....	68
<b>APÊNDICE 8 – Variâncias mensais de precipitação calculadas para os diferentes cenários.</b> .....	70
<b>APÊNDICE 9 – Erros calculados entre as variâncias de entrada e as variâncias obtidas.</b>	
74	
<b>APÊNDICE 10 – Comparação entre as variâncias obtidas e a variância histórica.</b> .....	76
<b>APÊNDICE 11 – Eficiências calculadas para as quatro cidades e sete cenários</b> .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação em torno dos recursos hídricos tem aumentado por parte de pesquisadores e gestores. O crescimento populacional, a acelerada urbanização e o desenvolvimento industrial têm impactado negativamente na disponibilidade de água. As Nações Unidas (2013) emitiram uma projeção para a população mundial em 2050, e segundo essa estimativa a população alcançara os 9,6 bilhões. Este aumento na população trará um acréscimo nas demandas para uso doméstico, industrial e para irrigação. Além disso, a poluição da água é um fator que vem depreciando a qualidade da água e como consequência a sua disponibilidade também tem sido prejudicada. Alternativas que mitiguem esses impactos são necessárias.

Somado à crescente população e à urbanização, as mudanças climáticas irão alterar as demandas e disponibilidade dos recursos hídricos no futuro. As mudanças no clima já causaram e causam impactos nos sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos (IPCC,2013). Evidências das mudanças climáticas já foram percebidas em várias partes do mundo (Ren et al., 2002; Fang et al., 2007; Shahid et al., 2012; Haque et al.,2016). Várias regiões do globo apresentaram alterações na frequência, intensidade, espacialidade e duração das variáveis climáticas e inclusive nos eventos extremos, como secas, enchentes e aumento do nível do mar (IPCC,2001). Mais agravante ainda são as projeções futuras, o Século XXI deve apresentar maior frequência de eventos extremos de temperatura, precipitação, seca e enchentes, que poderão aumentar os riscos à saúde humana e redução do potencial agrícola e da disponibilidade de água para os diversos usos (IPCC,2001).

As projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) apontam para a elevação da temperatura média do globo, o que ocasionará uma significativa mudança nos ciclos hidrológicos, alterando a intensidade e frequência das precipitações, a umidade dos solos e o escoamento nos rios, acarretando um aumento das vazões máximas e diminuição das vazões mínimas em diferentes regiões. Baseado em modelos climáticos globais, o IPCC (2013) relatou que a temperatura média do ar pode aumentar de 1,5 °C a 4,5 °C em casos de cenários com grandes emissões de gases intensificadores do efeito estufa. Além disso, cenários dos modelos climáticos desenvolvidos por centros de pesquisa de diversos países coincidem em apontar para um cenário socioeconômico de maior estresse e conflito como consequência das mudanças na disponibilidade hídrica (ANA, 2010).

Outro problema advindo das mudanças climáticas, é o aumento na vulnerabilidade que ela pode causar em países em desenvolvimento. Um adequado abastecimento e uma devida proteção de mananciais são importantes ferramentas que necessitam de outros recursos como energia e infraestrutura. Vale salientar que mesmo em países com um positivo balanço hídrico, é necessário a aplicação de alternativas que otimizem o uso da água.

No Brasil existe o risco de redução na disponibilidade de água, principalmente, nas regiões semiáridas. As variabilidades temporais e espaciais das precipitações pluviométricas constituem uma característica marcante do clima da região Nordeste do Brasil, que é notadamente a que apresenta menor disponibilidade hídrica, especialmente em sua porção semiárida, que representa 62% do Nordeste. Segundo relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), o Nordeste brasileiro é uma região altamente susceptível às mudanças climáticas e devido sua alta variabilidade espacial e temporal de precipitação, acaba sendo impactada pela ocorrência de eventos extremos. Os cenários para a futuro, por sua vez, preveem a redução da precipitação, juntamente com o aumento da evapotranspiração, intensificando o processo de aridez da região como afirma o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC,2014).

Neste contexto, os Sistemas de Aproveitamento de Água da Chuva (SAAC) surgem como forma de diminuir a pressão exercida sobre as fontes principais de abastecimento de água e preservar a disponibilidade deste recurso. A água da chuva tem sido utilizada de forma complementar ao abastecimento de água em várias partes do mundo quando a fonte principal não é suficiente para atender à demanda, ou quando se quer preservar este recurso (LIAW et al., 2004). O SAAC é principalmente usado para gerenciar déficits no suprimento de água em países em desenvolvimento, tanto para usos potáveis como não potáveis, como por exemplo em Bangladesh, Botswana, China, Índia, Kenya e outros países na África. (UN-HABITAT, 2005). No Brasil, os SAAC têm sido utilizado principalmente na região semiárida, por meio de programas governamentais como O Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido (P1MC) que desde 2003 entregou mais de 1,2 milhões de cisternas (Brasil, 2016).

Precipitação é a principal variável de interesse das SAAC (Silva et al., 2015), especialmente a sua variabilidade temporal que é o fator crítico para a sua performance. A preocupação no dimensionamento de cisterna está em determinar o volume ideal para garantir o atendimento das demandas. Portanto, o conhecimento dos usuários, das características da região e dos padrões futuros de precipitação são imprescindíveis para projetar um SAAC. Por sua vez,

as mudanças climáticas irão interferir diretamente no funcionamento desses sistemas. Na Austrália, Haque et al. (2016) afirmou que as mudanças climáticas foi um dos fatores que impactou negativamente a eficiência na captação de água da chuva. Por meio de modelos de circulação global, foi obtido as precipitações por um período de 20 anos (2020-2039), e a partir disso calculou-se a eficiência de SAAC para diferentes volumes do tanque de armazenamento. Os resultados indicam uma diminuição na economia de água no futuro, aumento no número de dias em que a demanda não será atendida, além dos dias em que o sistema ficará vazio que também aumentou.

Neste contexto o objetivo do presente estudo é analisar os efeitos das mudanças climáticas no comportamento das cisternas frente ao atendimento das suas demandas. Será analisada a eficiência de cisternas localizadas no Rio Grande do norte através do balanço hídrico das mesmas. Para tanto será comparada a eficiência atual, com o uso da série histórica de precipitação, com as eficiências futuras, através do uso de séries sintéticas de precipitação, que serão geradas para diferentes cenários de mudanças climáticas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Cenários de Mudanças climáticas**

Geralmente, a performance de um SAAC é estimada baseando-se nos dados históricos de precipitação, sem levar em conta os possíveis efeitos das mudanças climáticas. No entanto, as mudanças no clima futuro podem impactar o funcionamento dos SAAC. Esses impactos podem ser mensurados a partir da análise de diferentes cenários de regime pluvial, o que pode ser realizado a partir do uso de diferentes séries de precipitações, determinadas pela geração de séries sintéticas ou estimadas pelos modelos climáticos.

Vários estudos hidrológicos voltados para o nordeste brasileiro têm ilustrado os efeitos das mudanças quanto às transformações no regime de precipitações. Em um estudo realizado por Oliveira (2014), sugere que as mudanças climáticas estão alterando a climatologia de chuvas no Nordeste brasileiro, intensificando os eventos extremos (intensos e fracos) e enfraquecendo os eventos médios, mais especificamente intensificando os eventos de precipitação intensa no período chuvoso.

Marengo et al. (2007) analisando as médias de diferentes modelos de circulação global da atmosfera (MCG) regionalizados para o Brasil, identificou que os cenários A2 e B2 indicam para chuvas mais fracas no período de 2071 a 2100 e tendência de extensão do déficit hídrico para todos os meses do ano.

Nos estudos relacionados ao Nordeste brasileiro, os resultados provenientes de modelos climáticos adotados mostraram-se heterogêneos e conflitantes. Modelos climáticos apresentados pelo IPCC (IPCC, 2007; IPCC, 2013; IPCC, 2014) e pelo CPTEC/INPE (Marengo, 2007; Marengo, 2013; Ramírez et al., 2006), que consideram diferentes cenários futuros de emissão de gases e modelos desenvolvimento econômico, mostram tanto tendências de aumento, como diminuição dos níveis de precipitação.

Uma análise dos modelos climáticos do IPCC realizado por Ramírez e Marengo (2006) resumem os resultados para região Nordeste para diferentes cenários de emissão de gases. A pesquisa foi feita para o período chuvoso e se dividiu a série em três períodos de trinta anos cada (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), com o intuito de observar o aumento/ diminuição gradativa da chuva. Para cenários considerando alta emissão de gases do efeito estufa, o modelo GFDL (*Geophysical Fluid Dynamic Laboratory*) prevê um aumento da precipitação no Nordeste, indicando um aumento de 152% acima do seu valor climatológico para o último período (2071-2100). Por outro lado, o modelo HAD (*The Hadley Center model*) indica uma diminuição das chuvas no Nordeste em até 64.0 % de seu valor climatológico. Para cenários de baixa emissão de gases do efeito estufa, o modelo GFDL também prevê um aumento da precipitação na região Nordeste, atingindo um valor de 72.9 % acima do seu valor climatológico. Por outro lado, o HAD prevê uma diminuição da precipitação sobre a região Nordeste que teve uma diminuição mais acentuada nos dois primeiros períodos e o HAD no último período com uma diminuição da chuva de até 14.5 % de seu valor climatológico.

Outros estudos, que levam em consideração Modelos de circulação Global (MGC) e são citados no Relatório de Avaliação No. 4 (AR4) do IPCC (IPCC, 2007) que analisam dois diferentes cenários de emissão de gases, A2 que é mais ligado a um mundo mais dividido economicamente e B1 mais coerente com um mundo mais atento as questões ambientes, apontam para a intensificam da aridez para o centro-leste da região e para uma leve atenuação nas condições no Noroeste.

A seguir é mostrada na figura 1, extraída do relatório de impactos das mudanças climáticas realizado pela ANA (2010), que relaciona os valores das precipitações para cada um dos três modelos adotados (BCM2, o MIMR e o INCM3) no período de 2041 à 2070, para cada cenários de emissão A2 (coluna à esquerda) e B1 (coluna à direita), com os valores de precipitação históricos (CRU) no período de 1971 à 2000.

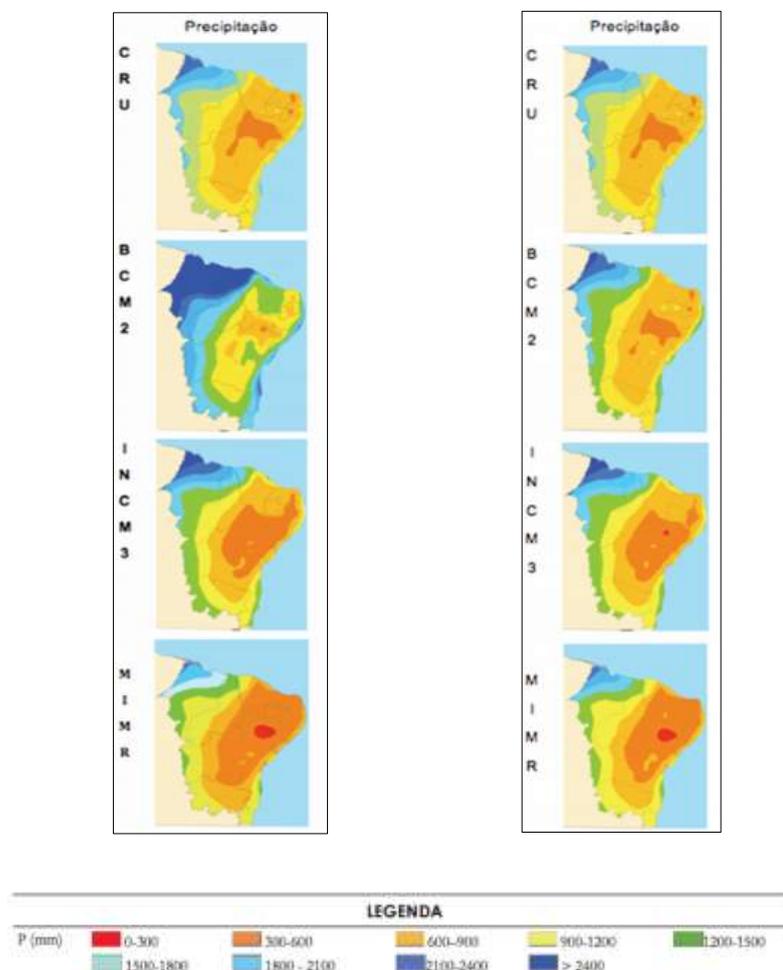


Figura 1- Precipitação Média Anual (P) para os dados CRU (período:1971-2000) e modelos climáticos BCM2, INCM3 e MIMR (A2 e B1 período: 2041-2070)

Fonte: ANA, 2010

Em outras projeções, utilizando o modelo Eta-CPTEC do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, apontam para reduções de chuva no semiárido e na maior parte do polígono das secas. As reduções mais intensas ocorrem nos períodos pré-chuvosos (Marengo et al., 2011). Como mostra a figura 2, as reduções ficam mais intensas no período 2041-2070, chegando a maiores intensidades no período 2071-2100. A figura mostra também que as variações mais consideráveis ocorrerão no sul da região Nordeste.

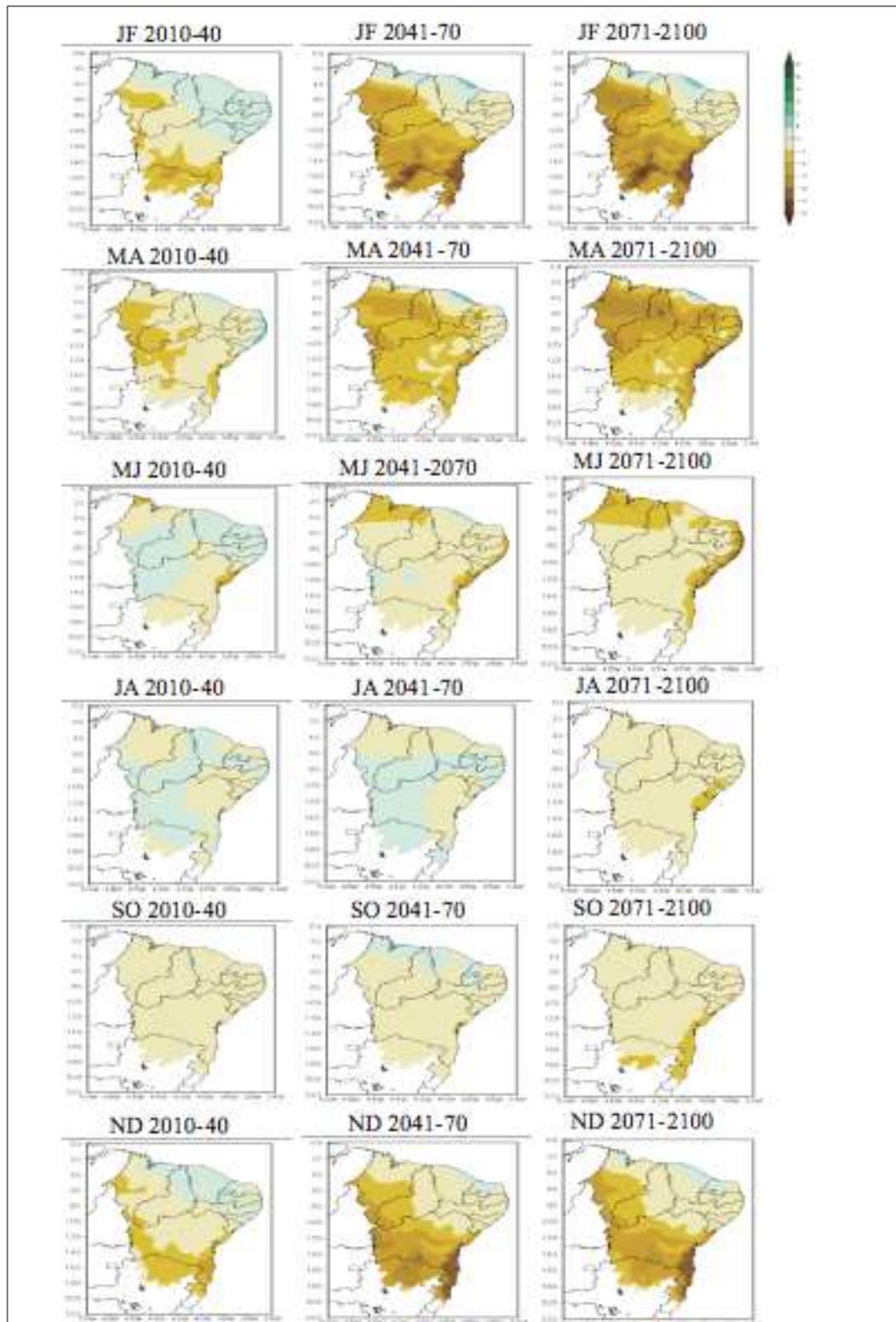


Figura 2 - Mudanças bimensais janeiro/fevereiro (JF), março/abril (MA), maio/junho (MJ), julho/agosto (JA), setembro/outubro (SO) e número de dias (ND) de chuva projetada pelo Eta-CPTEC para o Nordeste do Brasil, cenário de emissões intermediário (A1B) e períodos de tempo 2010 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2100 relativos a 1961 – 1990

Fonte: Marengo et al., 2011

Ambrizzi et al. (2007) mostraram cenários de clima para o Brasil no século XXI com base em um modelo global, o HadAM3P, obteve resultados para outros três modelos regionais, o HadRMP3, o Eta/CPTEC e o RegCM3. Os resultados mostram que no Nordeste brasileiro para o cenário B2 (soluções locais para a sustentabilidade econômica social ambiental), os modelos mostraram redução de 1 a 2 mm/dia na porção setentrional do Nordeste e em seu Litoral até a Bahia. Para o restante do território não foi projetada nenhuma variação significativa. Analisando com base no cenário A2, os resultados apresentam uma redução de 1 a 4 mm/dia na porção setentrional e em seu Litoral até a Bahia, o restante não apresentou mudanças significativas. O período de análise foi de 2071 a 2100.

Outra análise feita foi a proveniente de dados do modelo ECHAM no cenário de emissões A2, que dividiu o Nordeste em três regiões (Sul, Norte e Leste). Estimou-se que a maior quantidade de precipitações ocorreria no verão, as precipitações iriam-se distribuir de forma similar no outono e inverno e a primavera será a estação menos chuvosa (FILHO, 2003). Apesar desses modelos apresentarem uma tendência de diminuição nos totais de precipitação, para o modelo ECHAM em relação ao clima atual, as projeções são de aumento na precipitação de 5% para o sul do Nordeste e 15% para o Norte da mesma região no período de 2070 a 2099 (FILHO, 2003).

O IPCC (2014) cita um estudo realizado por Marengo et al. (2011), onde ele afirma que por volta do 2100 as precipitações totais vão variar entre 20% positivo e 20% negativo.

Em análises mais recentes, disponíveis no Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), em seu quinto relatório (AR5), o foco deu-se em dois cenários principais do IPCC (RCP 4.5 e RCP 8.5).

As mudanças nos padrões de precipitação, o RCP 4.5 estima uma mudança de -10 por cento a 20 por cento para o período 2016-2035 para a região Nordeste do Brasil, e uma faixa semelhante de mudança (-20 por cento a 20 por cento), com uma distribuição espacial ligeiramente diferente, para o período seguinte de 2046-2065 (FILHO, H., M., MORAES, C., BENNATI, P., RODRIGUES, A., R., GUILLES, M., ROCHA, P., LIMA, A., VASCONCELOS, I., 2016)

As estimativas do RCP 8.5 apresentam a mesma faixa para a mudança nos padrões de precipitação que o RCP 4.5, mas uma mudança de -20 por cento seria mais provável (FILHO, H., M., MORAES, C., BENNATI, P., RODRIGUES, A., R., GUILLES, M., ROCHA, P., LIMA, A., VASCONCELOS, I., 2016).

## **2.2.Séries Sintéticas de Precipitação**

A geração de séries sintéticas é uma importante alternativa, que possibilita a realização de simulações. Uma série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais, a fim de gerar sequências de números aleatórios que se assemelham aos dados climáticos reais (Wilks, 1999). Essas séries podem ser geradas em escala diária, mensal e anual. Vale salientar que as séries sintéticas também podem ser geradas considerando a alteração dos parâmetros originais da série histórica, e não necessariamente reproduzir os dados climáticos reais.

Três diferentes modelos de geração das séries sintéticas na escala diária têm sido utilizadas ao longo dos anos. São eles os modelos paramétricos, semiparamétricos e os não paramétricos.

O processo de geração de chuvas pelo modelo paramétrico ocorre em duas etapas: ocorrência, utilizando processos estocásticos de alternância de eventos ou processos markovianos, e quantidade, na qual são aplicadas distribuições estatísticas. Juntamente com os processos estocásticos e as distribuições estáticas, o modelo paramétrico faz uso de números pseudo-aleatórios, tanto para a ocorrência como para a altura precipitada. A geração desses números permite simulações que podem ser realizadas e utilizadas na geração de cenários favoráveis à solução desejada. Wilks (1998) fez uso do modelo paramétrico.

Os chamados semiparamétricos ou empíricos são os que simulam a ocorrência e a quantidade de chuva através de histogramas ajustados aos dados. Em outras palavras, o processo utiliza-se de parâmetros estatísticos em sua formulação e requer calibrações para as devidas aplicações. As calibrações são feitas por meio de dados coletados na região de estudo. Exemplo desse estudo pode-se citar Semenov et al. (1998)

Os modelos não paramétricos não apresentam uma forma definida. Devido a isso, dependem dos dados disponíveis para gerar as estimativas. Os esforços dos pesquisadores interessados em trabalhar com esse tipo de modelo se concentram principalmente em tentar reproduzir as influências do mecanismo físico envolvido no processo da precipitação. Claramente simular acontecimentos hidrológicos naturais é uma tarefa extremamente difícil e este fato acaba refletindo na grande complexidade dos modelos não paramétricos elaborados (Detzel, 2009).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido com dados de cidades localizadas no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. As estações pluviométricas escolhidas são os municípios de Natal, Portalegre, São Paulo do Potengi e Acari (Figura 3).

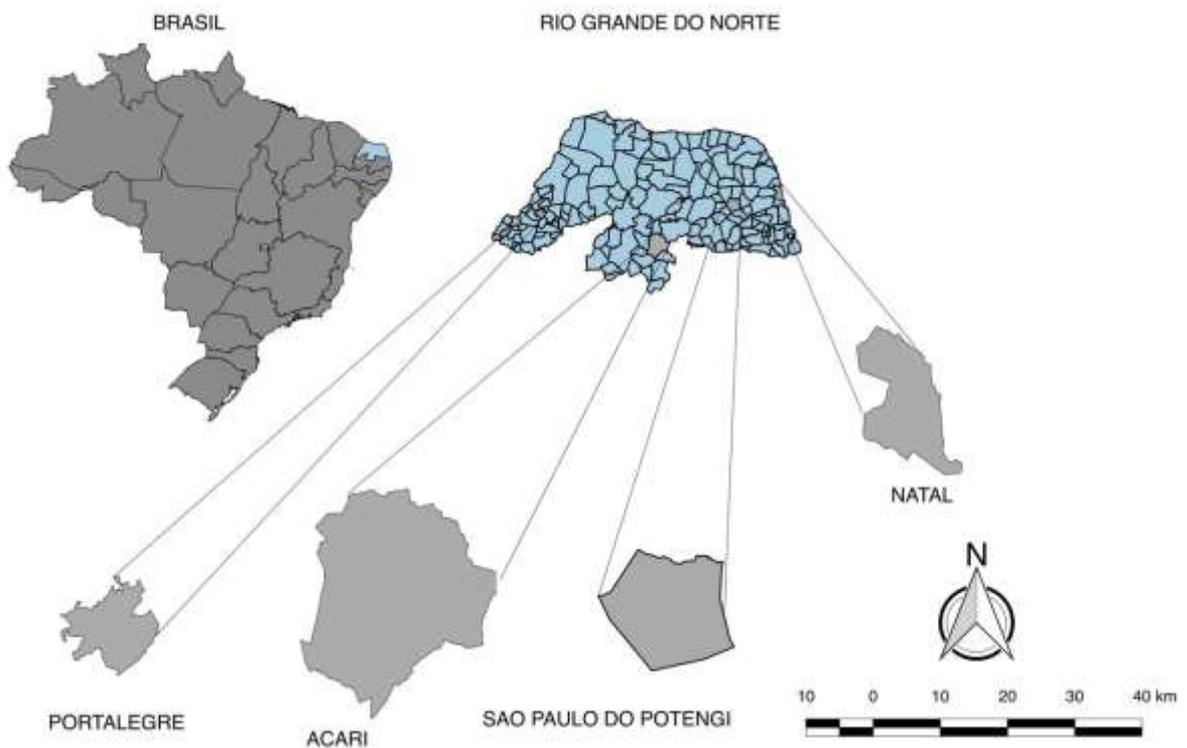


Figura 3 - Localização das estações pluviométricas analisadas

As localidades foram escolhidas baseadas nas suas características de precipitação total anual e distribuição da precipitação ao longo do ano. O intuito é analisar municípios que representem as singularidades de todo o estado do Rio Grande do Norte. A seguir são apresentados histogramas com as precipitações médias mensais das quatro localidades estudadas.

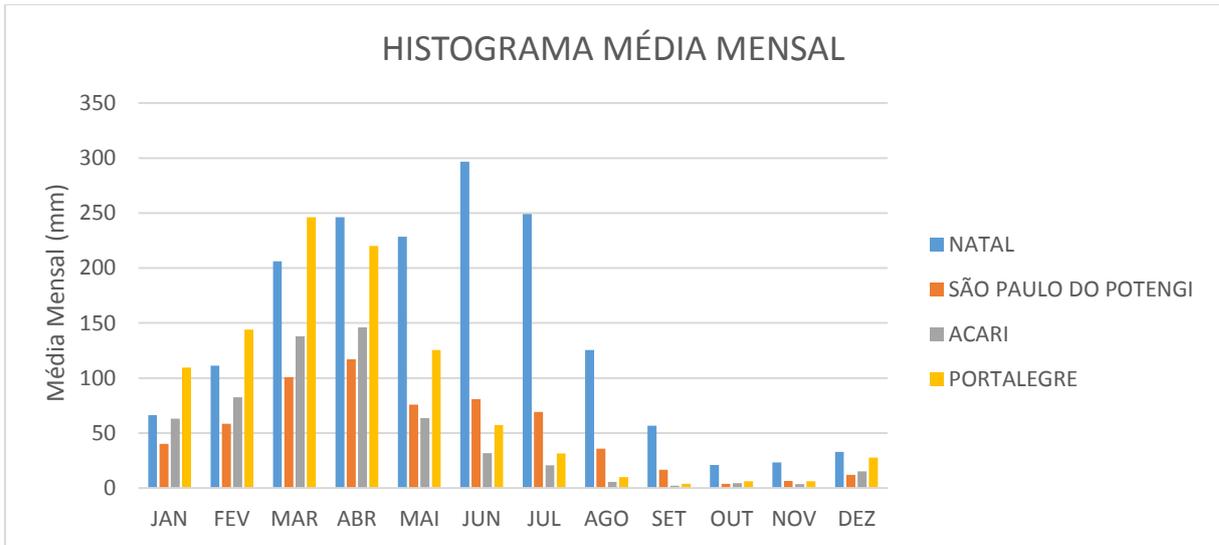


Figura 4 – Precipitação média mensal das quatro cidades estudadas

Natal é uma cidade que historicamente apresenta elevados níveis pluviométricos, chegando a uma precipitação acumulada anual de 1663,55 mm. São Paulo do Potengi e Acari apresentam precipitações com 617 mm e 576 mm de precipitação acumulada anual respectivamente. Com exceção de Natal, todas as cidades estão no semiárido nordestino, apresentando precipitação anual acumulada abaixo dos 700 mm, com exceção de Portalegre que apresenta precipitação anual acumulada de 987 mm, devido principalmente às chuvas orográficas, ocasionadas pelo relevo da localidade.

Quanto à distribuição da chuva ao longo do ano, dois parâmetros são analisados, PCD e PCP. O Grau de Concentração da Precipitação (PCD) e o Período de Concentração da Precipitação (PCP) analisam a distribuição pluviométrica durante o ano. O PCD reflete o grau em que o total anual de precipitação é distribuído em 12 meses e o PCP refere-se ao mês em que o total de precipitação dentro de um ano se concentra (Aráujo et al., 2015).

PCP e PCD são obtidos por meio do vetor resultante das precipitações mensais, sendo PCP o ângulo (azimute) deste vetor e PCD a relação entre o módulo do vetor resultante e a precipitação total anual. O cálculo destes índices é feito de acordo com as equações apresentadas a seguir (Li et al., 2011):

$$R_i = \sum r_{ij}$$

$$R_{xi} = \sum r_{ij} \cdot \text{sen}\theta_j$$

$$R_{yi} = \sum r_{ij} \cdot \cos\theta_j$$

$$PCP_{ij} = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right)$$

$$PCD_{ij} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i}$$

Onde “i” é o ano, e “j” representa o mês (j = 1, 2, ..., 12) em um ano; “rij” representa a precipitação total mensal no mês “j” no ano “i”, e “θi” é o azimute do mês “j”. PCPij representa o período (meses), no qual o total precipitado do ano “i” está concentrado e “PCDij” representa o grau em que a precipitação total do ano “i” está concentrada em 12 meses (LI, et al., 2011).

A tabela 1 apresenta os valores destes dois índices para os municípios analisados.

Tabela 1 - valores de PCD e PCP para as estações selecionadas

Fonte: Araújo, 2015

<b>LOCALIDADES</b>	<b>PCD</b>	<b>PCP(°)</b>	<b>MÊS</b>
<i>NATAL</i>	0,48	124,5	MAIO
<i>SÃO PAULO DO POTENGI</i>	0,52	104,4	ABRIL
<i>ACARI</i>	0,70	70,0	MARÇO
<i>PORTALEGRE</i>	0,65	74,3	MARÇO

O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1, sendo o valor máximo obtido quando a precipitação total anual se concentra em um mês específico, e o valor mínimo, quando a precipitação é distribuída uniformemente ao longo dos meses durante o ano. O PCP varia de 0° para janeiro até 330° para dezembro, ao passo de 30° para cada mês.

Natal e São Paulo do Potengi são os municípios que apresentam melhor distribuição da chuva ao longo do ano, ao contrário de Acari e Portalegre que detêm maiores valores de PCD. As cidades de Natal e São Paulo do Potengi possuem dois picos de precipitação, enquanto que as demais apresentam apenas um pico (figura 4). Nas localidades com dois picos durante o ano, o PCP nem sempre identifica o período de maior precipitação, apresentando como resposta um mês intermediário.

### 3.2. Geração das séries sintéticas de precipitação

Para geração das séries sintéticas de precipitação das localidades analisadas foi utilizado o modelo paramétrico. Por ser o mais conhecido e mais amplamente utilizado, além de oferecer maior flexibilidade e facilidade de ajuste, atrai a atenção dos estudiosos da área, sendo por isso o desenvolvido neste trabalho. Trabalhos semelhantes foram desenvolvidos, como Wilks (1998) e Krüger et al. (1998).

Wilks (1998) utiliza de processos estocásticos para geração de chuva em 25 localidades no estado de Nova York. Ele fez uso de Cadeias de Markov de primeira ordem e dois estados e, para as quantidades, é utilizada uma distribuição exponencial mista a três parâmetros. Já Krüger et al. (1998) realizou uma modelagem estatística para precipitação no estado do Paraná. Utilizou cadeias de Markov e as quantidades precipitadas foram obtidas pela distribuição gama.

No presente trabalho foram geradas séries sintéticas de precipitação em escala diária. Os estudos em escala mensal e anual não levam em conta as sequencias de dias secos ou chuvosos, o que é imprescindível neste trabalho, tendo em vista que será analisada a variação diária do atendimento ao consumo doméstico por SAAC. Além disso, a análise diária permite maior versatilidade nas aplicações das séries.

Diferentemente das escalas mensais ou anuais, as séries em escala diária contam com a presença de muitos “zeros”, simbolizando a não ocorrência de chuva. Esse fato traz uma maior complexidade ao modelo a ser desenvolvido. Por esse motivo, os pesquisadores que optam por trabalhar com a escala diária geralmente estruturam os modelos de geração em duas fases distintas: primeiro com a determinação das ocorrências das precipitações e segundo com o cálculo das quantidades precipitadas em dias considerados chuvosos (Detzel, 2009).

Outros trabalhos de modelagem de precipitações diárias ao longo do tempo têm proposto a aplicação de modelos de cadeia Markoviana para o estudo da frequência e distribuições Gama para a intensidade das precipitações médias diárias (Krüger et al, 1998). Diversos autores que estudam geração estocástica de chuvas, utilizam Cadeias de Markov para determinação das ocorrências de precipitação, como Stern e Coe (1982, 1984), Azevedo e Leitão (1990), Clarke (1994, 1998), Krüger, Kaviski e Müller (1998), Liao, Zhang e Chen (2004) e Basinger (2010).

Tomando como base os estudos de Wilks (1998), a determinação das ocorrências foi feita com a utilização de Cadeias de Markov. Cadeias de Markov é um processo estocástico que se preocupa com a investigação da estrutura formada por famílias de variáveis aleatórias em conjunto com um parâmetro de evolução contínua, associado ao tempo. Três são os elementos

essenciais para a diferenciação dos processos estocásticos: o espaço amostral (ou estado de regime de precipitações), parâmetro de tempo e a relação de dependência entre as variáveis aleatórias. (Detzel 2009 abud Karlin e Taylor 1975)

Neste trabalho foram empregadas cadeias de Markov de primeira ordem, ou seja, o dia atual, para o cálculo das transições do estado seco para o estado úmido, depende do dia anterior. Após determinadas as ocorrências, foram calculadas as quantidades precipitadas, que para os dias chuvosos, podem ser atribuídas diferentes distribuições probabilísticas, sendo as mais utilizadas a gama e exponencial com parâmetros diversos. O modelo de Distribuição Gama é largamente utilizado para a estimativa de probabilidades e na simulação de dados climáticos (Thom, 1958; Murta et al., 2005; Moreira et al., 2010, Dallacort et al., 2011; Martins et al., 2011, Liao et al.,2004).

Analisando precipitações em escala diárias, Wilks (2006) e Krüger et al. (1998) afirmam que a distribuição de precipitação é geralmente bastante assimétrica, e Krüger et al. (1998) complementam que por essa razão deve-se utilizar a distribuição gama. Portanto, o cálculo das alturas precipitadas será feito com a aplicação de uma distribuição gama. As alturas finais serão determinadas através do Método da Inversão, descrito em Kaviski (2006).

Diversos trabalhos têm mostrado que a distribuição Gama pode ser utilizada para representar adequadamente o regime da precipitação pluviométrica, sendo por esse motivo, utilizada neste trabalho.

A seguir é apresentado o fluxograma básico de como foram transcorridas as gerações das séries neste trabalho baseado no modelo paramétrico. A metodologia desenvolvida por Detzel (2009) foi aplicada neste trabalho.

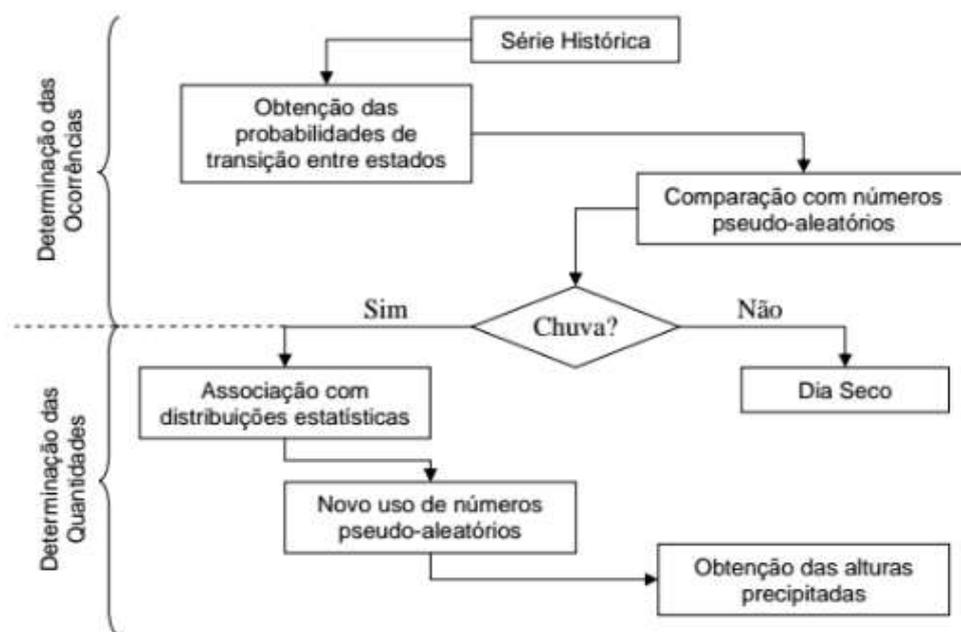


Figura 5: Metodologia de modelo paramétrico para geração de séries sintéticas de precipitação

Fonte: Detzel (2009).

Portanto, levando em consideração a não estacionariedade das séries hidrológicas, ou seja, a não continuidade dos mesmos padrões da série histórica de chuva, optou-se pelo desenvolvimento de séries sintéticas de precipitações que levaram em conta cenários de diminuição e elevação dos níveis das precipitações. Isso foi feito a partir da variação dos valores da média e variância da série analisada, valores que são dados de entrada para o cálculo das quantidades precipitadas por meio da distribuição gama. Maiores detalhes podem ser entendidos nos dois próximos tópicos dessa dissertação.

### 3.2.1. Determinação das ocorrências

Inicialmente para determinação da ocorrência de chuva foram calculadas as probabilidades de transição entre os estados, para cada localidade e mês analisados, em uma série histórica de precipitação diária de 48 anos fornecida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Isso se deu com uso da cadeia de Markov de primeira ordem e dois estados, sendo estes definidos como dia seco e dia chuvoso, considerando-se como dia chuvoso qualquer dia com precipitação maior ou igual a 0,1 mm.

Optou-se por dividir a série histórica em cada mês com o objetivo de preservar as características da precipitação ao longo do ano, mantendo sua sazonalidade. Wilks (1998), Detzel

(2009) e Liao et al. (2004) fizeram uso do mesmo artifício. Outras opções seriam a divisão em trimestres ou semestres.

Abaixo é apresentado um esquema explicativo de como foi desenvolvida a Rotina no software R para a determinação das ocorrências das precipitações. Esta rotina foi desenvolvida no trabalho de Andrade Neto et al. (2017). São executadas as rotinas 1 e 2 do programa, em sequência. As figuras 6 e 7 mostram, de forma esquemática, quais são os dados de entrada necessários e os dados de saída que cada rotina produz.

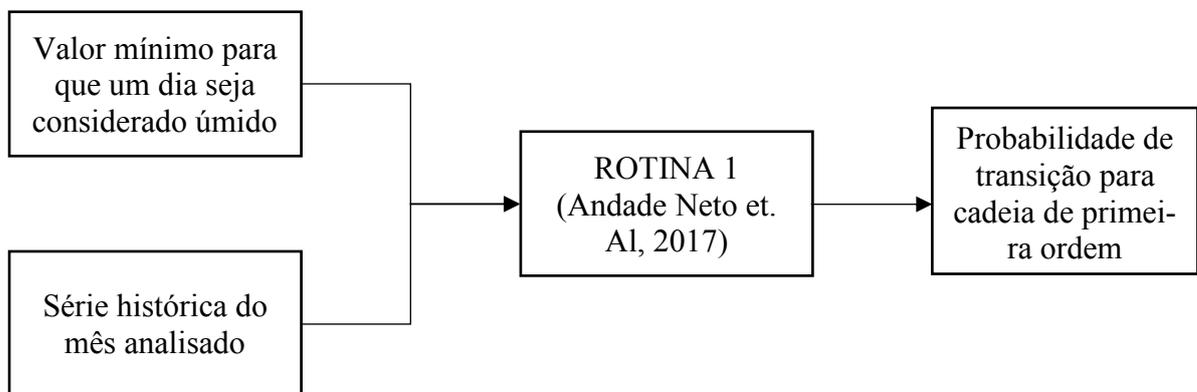


Figura 6 - Dados de entrada e saída para a ROTINA 1

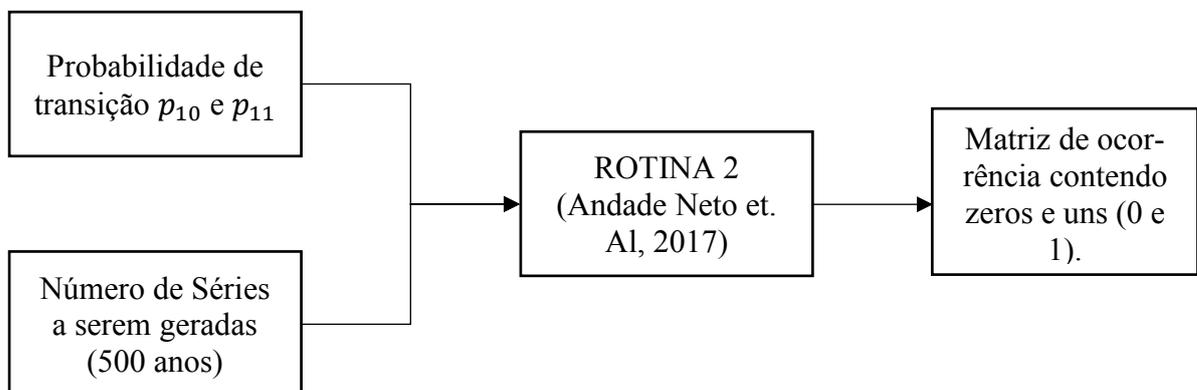


Figura 7 - Dados de entrada e saída para a ROTINA 2

Os algoritmos completos podem ser visualizados nos Apêndices 1 e 2 desta dissertação. Analisando as figuras 6 e 7, nota-se que somente a Rotina 1 traz uma análise direta das cadeias de Markov. A Rotina 2 analisa as probabilidades de transição e as compara com os números aleatórios gerados, determinando quais dias serão chuvosos e secos. Como dado de entrada na Rotina 2, foi inserido 500 anos de séries geradas, devido aos dados históricos serem melhores representados em series futuras longas.

Em se tratando do cálculo das probabilidades há de se fazer uma observação. Devido à sazonalidade, a contagem de dias secos ou chuvosos da série histórica é feita considerando-se os meses individualmente. Isto significa que a correlação entre o último dia do mês  $i$  e o primeiro dia do mês  $i+1$  não é preservada. Esse fato agrega um pequeno erro ao cálculo das probabilidades de transição, entretanto, em valores absolutos, esse erro tem ordem de grandeza de décimos, valor que não interfere significativamente nos resultados finais.

O emprego de cadeias de Markov aplicado no local  $k$  dia  $t$ , se desenvolve da seguinte maneira:

$$X_t = \begin{cases} 0, & \text{para dia } t \text{ seco, no local } k; \\ 1, & \text{para dia } t \text{ chuvoso, no local } k \end{cases} \quad (1)$$

Inicia-se com a a construção das probabilidades de transição:

$$\begin{aligned} \{ X_t(k) = 1 \mid X_{t-1}(k) = 0 \} &= p_{10}(k) \\ \{ X_t(k) = 1 \mid X_{t-1}(k) = 1 \} &= p_{11}(k) \end{aligned} \quad (2)$$

Esta representação é interpretada como  $p_{10}(k)$  indicando a probabilidade de um dia chuvoso ser antecedido por um dia seco e  $p_{11}(k)$  indicando a probabilidade de um dia chuvoso ser antecedido por outro também chuvoso. Continua-se o processo definindo as probabilidades de transição condicionais complementares:

$$\begin{aligned} p_{00}(k) &= 1 - p_{10}(k) \\ p_{01}(k) &= 1 - p_{11}(k) \end{aligned} \quad (3)$$

Onde  $p_{00}(k)$  indica um dia seco antecedido por um dia seco, e  $p_{01}(k)$  um dia seco antecedido por um dia chuvoso.

Dando sequência ao método, a construção das séries sintéticas de ocorrências se deu com a utilização das probabilidades  $p_{10}$  e  $p_{11}$ . É definida uma probabilidade de transição crítica ( $p_c$ ) que foi utilizada para a determinação de cada um dos novos estados da série. Essa probabilidade crítica assume os próprios valores de  $p_{10}$  e  $p_{11}$ , de acordo com a evolução do pro-

cesso, como a figura 9 ilustra. Números aleatórios dentro do intervalo (0 e 1] ( $w$ ) foram gerados no software R utilizando uma distribuição uniforme como base, uma vez que todos os resultados devem ter a mesma chance de ocorrer. Assim, foi-se criada uma matriz de números aleatórios de mesmo tamanho da série sintética a ser gerada de forma que cada dia tenha um número aleatório associado a ele. Os números aleatórios  $w$ , foram comparados com as probabilidades de transição. O algoritmo é simplificado na figura 8.

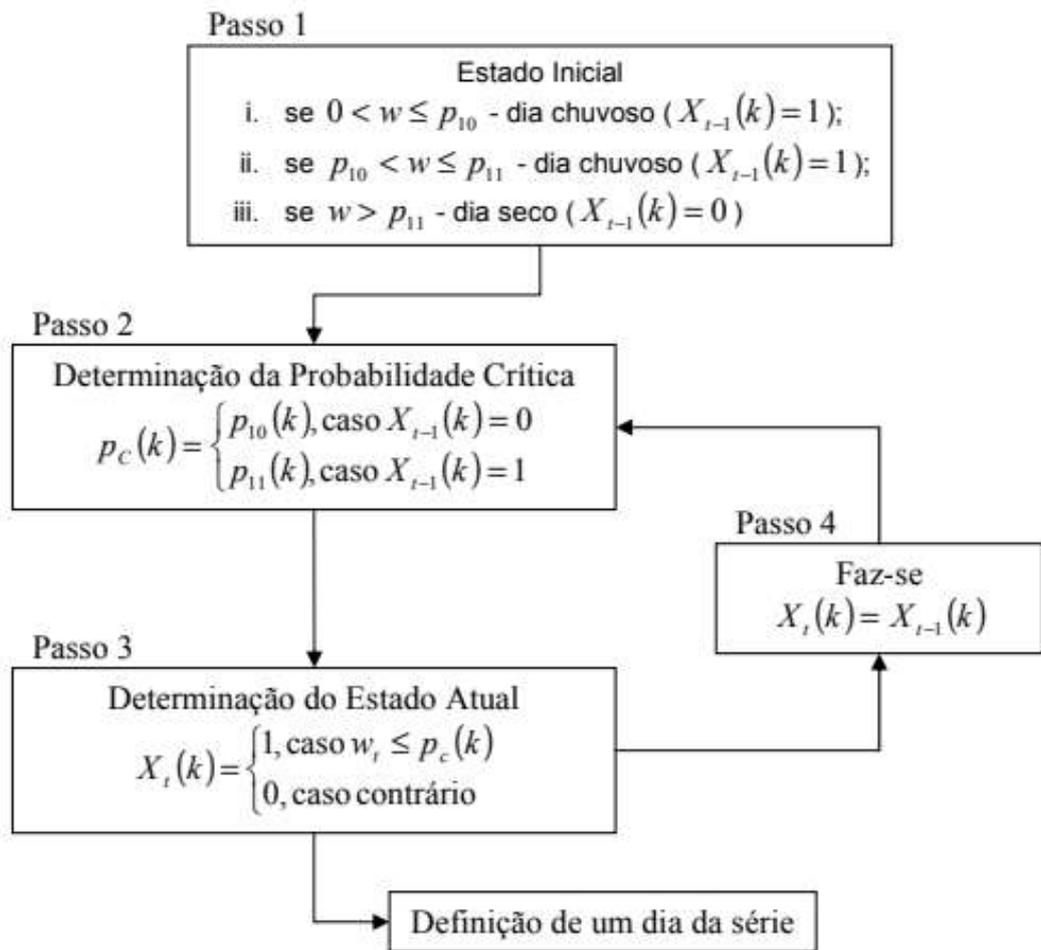


Figura 8 - Esquema de como se desenvolve a Rotina 2

Fonte: Detzel, 2009

O esquema ilustrado na figura 8 mostra os quatro passos necessários para a geração de uma série sintética de ocorrências diárias de precipitações (matriz de zeros e uns).

### 3.2.2. Determinação do total precipitado

Após determinados os dias chuvosos da série, prossegue-se com a determinação das alturas da chuva por meio da distribuição gama. Sua função densidade de probabilidade é definida em Wilks (2006):

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\alpha)}, \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad (4)$$

Onde:

$x$  é a variável aleatória;

$$\alpha \text{ é o parâmetro de forma definido por } \alpha = \frac{\text{média}^2}{\text{variância}}; \quad (5)$$

$$\beta \text{ é o parâmetro de escala definido por } \beta = \frac{\text{variância}}{\text{média}}; \quad (6)$$

$$\Gamma(x) \text{ é a função gama definida por } \Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{z-1} dx \quad (7)$$

Da mesma maneira que na determinação das ocorrências, no cálculo das alturas também se faz uso dos números aleatórios dentro do intervalo (0 e 1] ( $w$ ), mas apenas para os dias chuvosos. Gerado os números aleatórios, pelo método da inversão obtém-se as alturas precipitadas. O cálculo é definido como em Kaviski (2006):

$$X = F_U^{-1}(U), \quad F_X(X) = \int_a^X f_X(x') dx' \quad (8)$$

Onde  $F_X(X)$  representa a função de distribuição acumulada de probabilidade da variável aleatória  $X$  com limite inferior de  $a$ . Dessa maneira, gerando o número aleatório uniforme  $U$  no intervalo  $[0,1)$ , um valor  $x$  é determinado, sendo assim a altura definida.

Abaixo é esquematizado o algoritmo desenvolvido no Software R, desenvolvido por Andrade Neto et al. (2017). O Script completo pode ser visualizado no Apêndice 3.

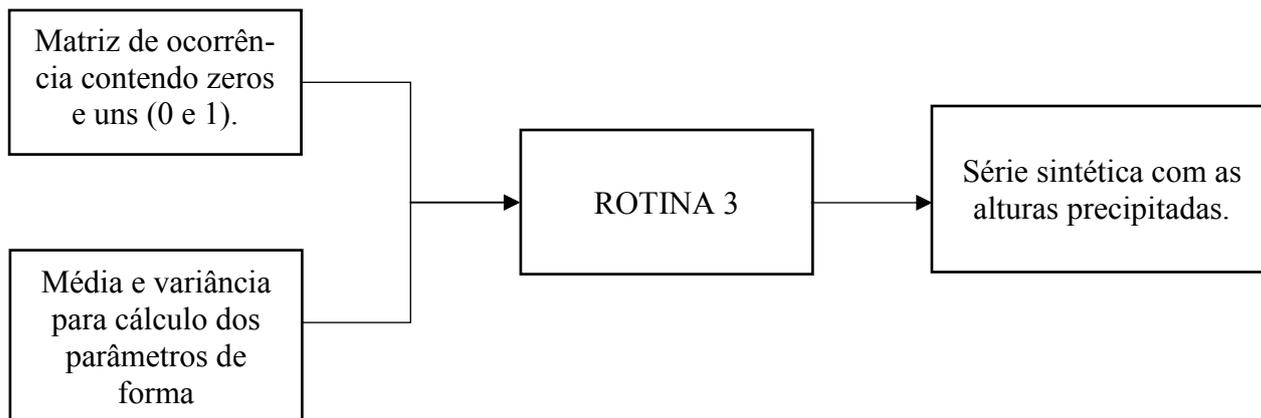


Figura 9 - Dados de entrada e saída para a Rotina 3

Para levar em conta as mudanças climáticas, os parâmetros de forma e escala da distribuição gama, foram alterados, por meio de incrementos e deduções percentuais na média e variância. Assim, sete foram os cenários gerados para cada mês, seis cenários considerando os impactos das mudanças climáticas, e um cenário considerando a estacionariedade ( $m+0\%$  &  $v+0\%$ ) da série, ou seja, os valores de média e variância da série histórica permanecem inalterados. Vale salientar que a média e variância da série histórica foi calculada para os dias chuvosos, visto que a aplicação da distribuição gama se dá nos dias chuvosos. Os cenários estudados são:

$m+0\%$  &  $v+0\%$ : cenário sem alteração na média e variância;

$m+30\%$  &  $v+30\%$ : cenário de aumento de 30% da média das precipitações diárias e aumento de 30% na variância;

$m+30\%$  &  $v+10\%$ : cenário de aumento de 30% da média das precipitações diárias e aumento de 10% na variância;

$m+20\%$  &  $v+0\%$ : cenário de aumento de 20% da média das precipitações diárias;

$m-30\%$  &  $v+10\%$ : cenário de redução de 30% da média das precipitações diárias e aumento de 10% na variância;

$m-30\%$  &  $v-10\%$ : cenário de redução de 30% da média das precipitações diárias e redução de 10% na variância;

$m-20\%$  &  $v+0\%$ : cenário de redução de 20% da média das precipitações diárias.

As variações nos valores da média e variância são aplicadas somente nos dias chuvosos, ou seja, para todos os cenários a quantidade de dias chuvosos e secos permanecem os mesmos.

### 3.3. Performance da cisterna

As séries sintéticas geradas foram utilizadas no cálculo das eficiências das cisternas localizadas na área de estudo. Para o cálculo desta eficiência é realizado o balanço hídrico da cisterna com dados diários no período de 500 anos das séries sintéticas geradas. Para tanto, utilizou-se da metodologia a seguir para o cálculo do balanço hídrico:

$$V_t = V_{t-1} + R_t - E_t - Y_t \quad (9)$$

Onde:

$V_t$  : volume armazenado de água da chuva na cisterna no final do intervalo de tempo  $t$ ;

$V_{t-1}$  : volume de água armazenado no final do tempo  $t-1$ ;

$R_t$  : volume proveniente da água escoada a partir do telhado para o reservatório em  $t$ ;

$E_t$  : extravasamento provocado pela entrada de água ser maior que a capacidade do tanque da cisterna em  $t$ ;

$Y_t$  : volume de água da chuva fornecido para as demandas de água em  $t$ .

Para a consideração do consumo há duas opções: uma é considerar que o consumo ocorreu antes do extravasamento (YBS), outra é considerar que a demanda foi atendida depois do extravasamento (YAS). Segundo Fewkes e Butler (2000), o uso da operação YAS foi constatada como a que fornece a estimativa mais conservadora do rendimento, ou seja, leva em conta um cenário mais pessimista, tendo vista que a demanda é atendida só após tenha ocorrido o extravasamento, enquanto que a consideração YBS apresentou resultado oposto. Portanto, eles recomendam o uso do YAS no lugar do YBS.

Assim, o volume de água da chuva fornecido para o atendimento das demandas ( $Y_t$ ) no final do intervalo de tempo e o volume armazenado no reservatório no final do período ( $V_t$ ), considerando o método YAS, foram:

$$Y_t = \min(D_t, V_{t-1} + R_t) \quad (10)$$

$$V_t = \min(V_{t-1} + R_t - Y_t, C - Y_t) \quad (11)$$

Onde  $D_t$  é a demanda no intervalo de tempo estudado e  $C$  é a capacidade do tanque da cisterna.

As cisternas avaliadas neste trabalho são hipotéticas, e tiveram as seguintes variáveis pre-estabelecidas antes da simulação: área de captação, demanda de água de chuva e volume do reservatório. As simulações foram realizadas para três áreas de captação  $A$  de 50, 100 e 150

m<sup>2</sup>, três demandas D<sub>t</sub> de 100, 150 e 200 L. dia<sup>-1</sup> e três volumes para capacidade da cisterna C de 10, 15 e 20 m<sup>3</sup>, além dos cenários climáticos atual e futuros. Considerando todas as combinações de área de telhado, demanda, tamanho de cisterna e cenários de mudanças climáticas, foram calculadas 189 eficiências para cada localidade estudada.

Para cada combinação de área de captação (A), demanda (D) e volume da cisterna (C), será calculado o valor adimensional pi (π) (Andrade et. al, 2017).

$$\pi = \frac{A \cdot C}{D^{5/3}} \quad (12)$$

Este adimensional reflete o nível de conforto que a cisterna tem em atender a demanda e será classificado de acordo com a tabela 1. Os 25% maiores valores de Π são classificados como nível de conforto 1, os 25% piores valores Π são classificados como nível de conforto 4, e os valores intermediários em nível de conforto 2 e 3. Essa classificação segue o exposto em Andrade et. al. (2017).

Tabela 2 - Classificação dos níveis de conforto

Π intervalos	Nível de conforto
Π <sub>75</sub> < Π < Π <sub>100</sub>	Nível de conforto 1
Π <sub>50</sub> < Π < Π <sub>75</sub>	Nível de conforto 2
Π <sub>25</sub> < Π < Π <sub>50</sub>	Nível de conforto 3
Π <sub>0</sub> < Π < Π <sub>25</sub>	Nível de conforto 4

O coeficiente de escoamento superficial (c) adotado neste estudo foi de 0,85, considerando o que já foi utilizado em outros trabalhos (AKAN, 1993 apud LIAW, 2004; TOMAZ, 2003). O *first-flush*, que é a água precipitada que é descartada para a limpeza do telhado, foi considerado igual a 1 mm, ou seja, somente chuvas maiores do que 1 mm foram consideradas nos cálculos.

Para todas as combinações de A, D e C foi calculada a performance da cisterna, traduzida na eficiência da cisterna (E<sub>c</sub>), somam-se todos os fornecimentos de água pelo sistema, e divide-se pelo somatório das demandas necessárias, conforme Fewkes (1999):

$$E_c(\%) = \left( \frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \right) \times 100 \quad (13)$$

O algoritmo utilizado para o cálculo das eficiências pode ser visualizado no Apêndice 4. O algoritmo foi desenvolvido em Andrade et al. (2014).

Todas as combinações de A (área de captação), D (Demanda) e C (Consumo) tiveram as suas performances analisadas através do levantamento das eficiências. Este estudo será realizado a partir da série história de precipitação e das séries sintéticas geradas considerando os cenários de mudança climática. Posteriormente será verificado a interferência das mudanças climáticas na performance do sistema, e se houve diferença relevante considerando as diferentes classes de nível de conforto adotadas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1. Análise das séries sintéticas geradas**

Analisando as figuras abaixo, que representam as curvas de densidade de probabilidade gama da série sintética gerada e da série histórica para as cidades de Natal, Acari, Portalegre e São Paulo do Potengi, pode-se observar que a utilização da distribuição gama foi adequada para descrever o comportamento do regime de precipitação das cidades estudadas, uma vez que a curva teórica que descreve essa distribuição para valores de  $\alpha < 1$  (utilizando os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  calculados) e os valores da série histórica de 48 anos e da série sintética de 500 anos criada com mesma média e variância diárias apresentaram o mesmo comportamento. Outra observação que pode ser feita é que as alturas máximas precipitadas da série sintética apresentam valores superiores às da série histórica, em função da série sintética representar um período de 500 anos e a série histórica apenas de 48 anos.

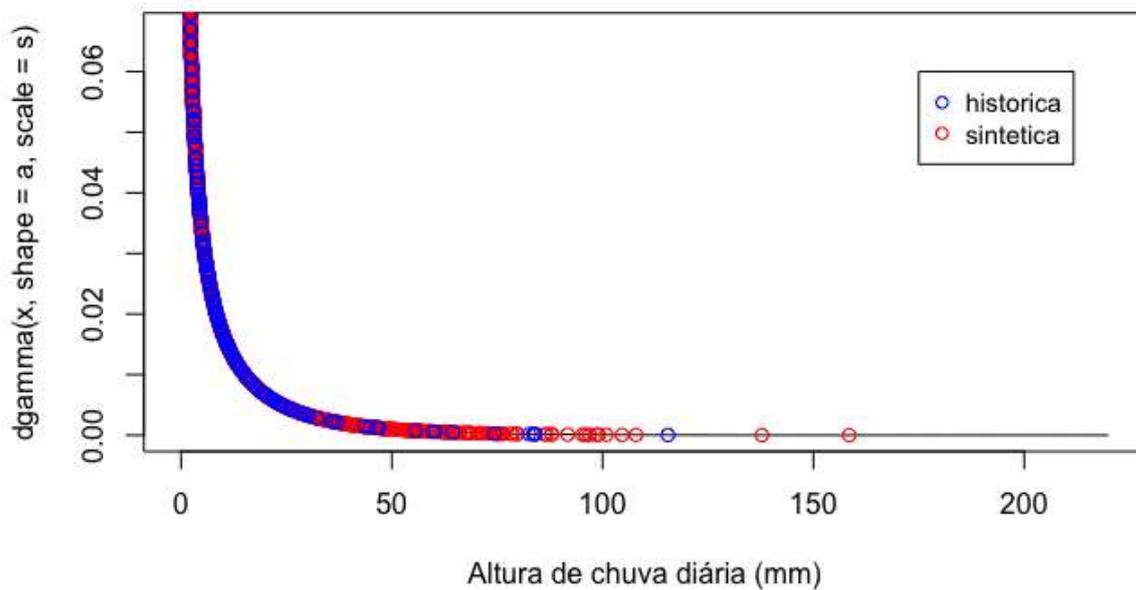


Figura 10 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Natal.

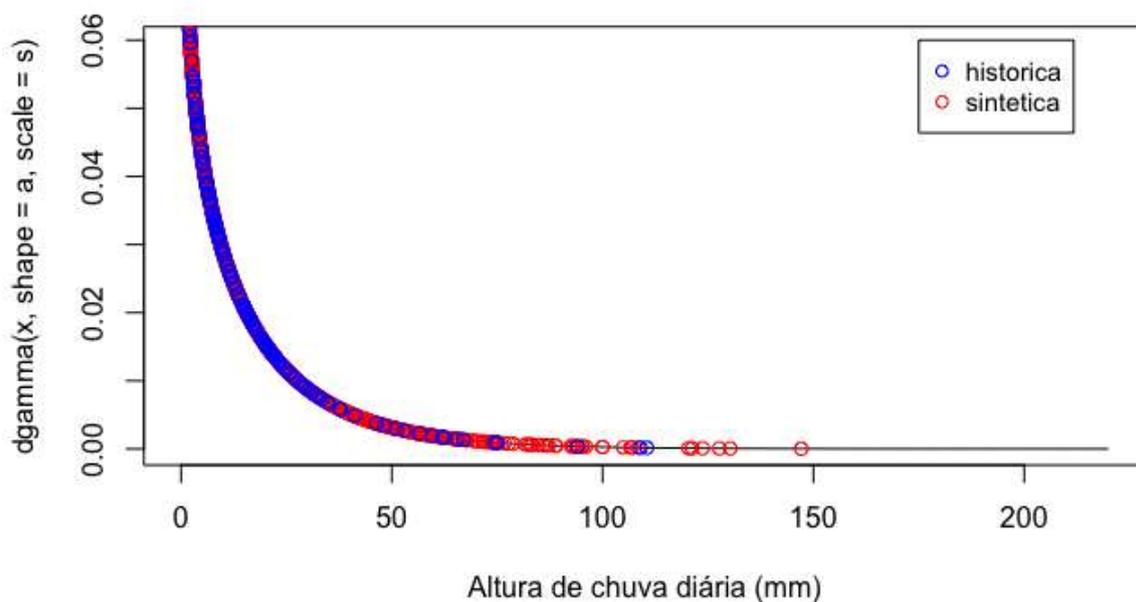


Figura 11 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Acari.

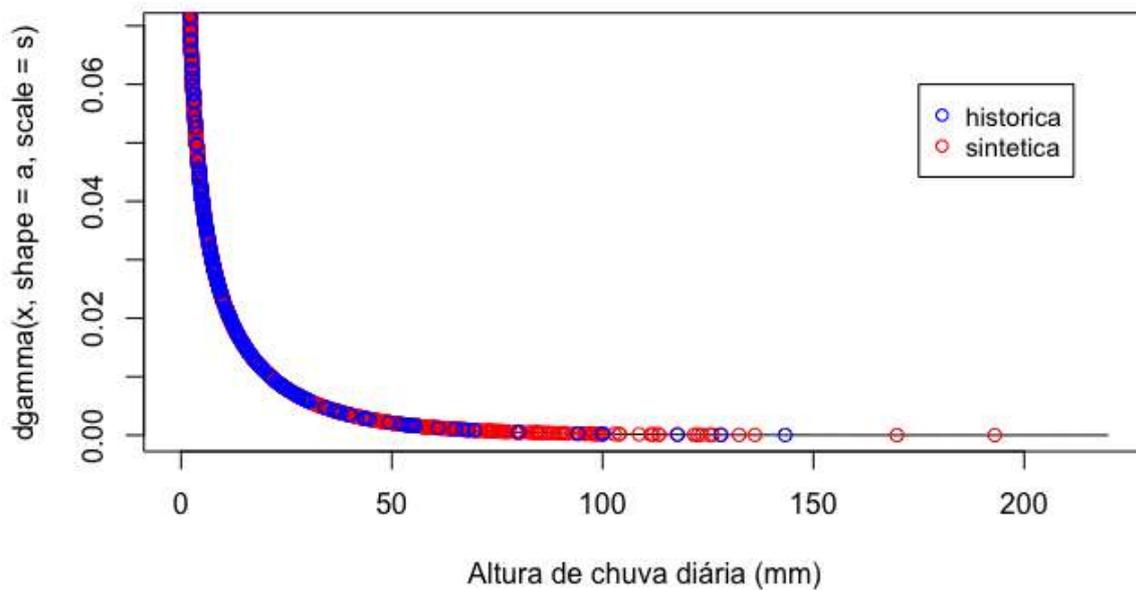


Figura 12 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de Portalegre

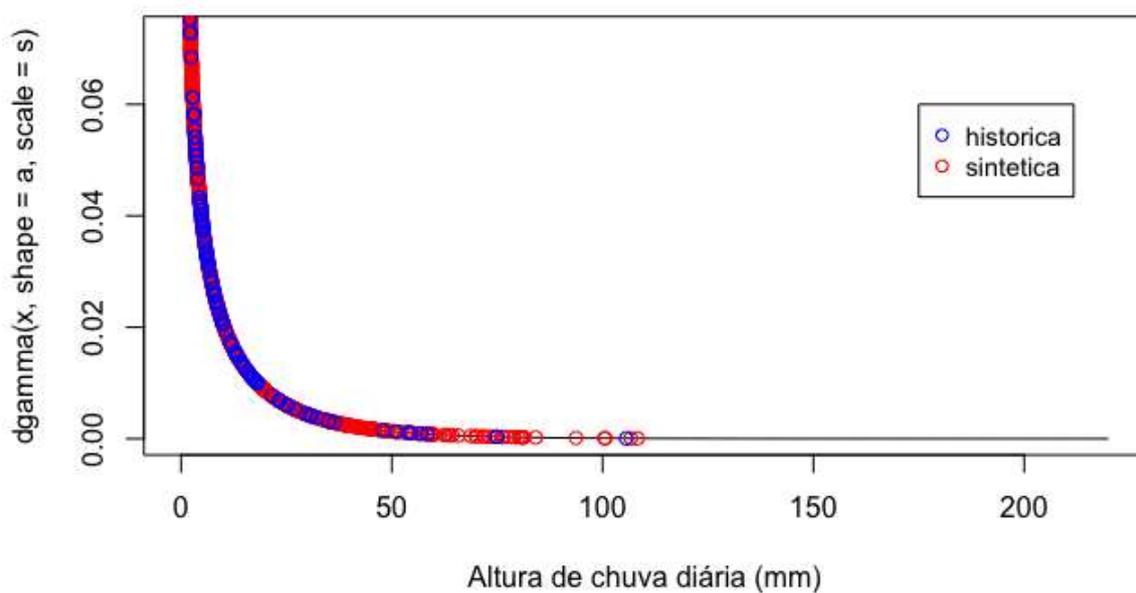


Figura 13 - Curvas de densidade de probabilidade da distribuição gama para cidade de São Paulo do Potengi

As médias mensais dos dias chuvosos para cada série sintética gerada de cada cidade estão apresentadas na Figuras 14, 15, 16 e 17. A partir da análise desses valores, percebe-se que há pequena variação entre as médias da série histórica e da série sintética criada sem mudança nos parâmetros média e variância.

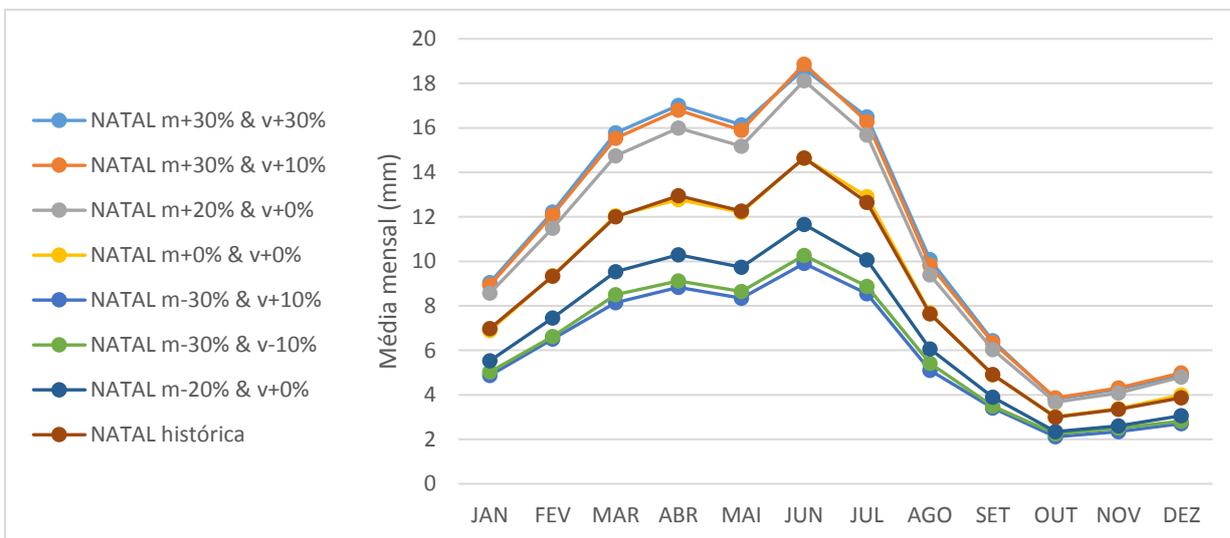


Figura 14 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Natal

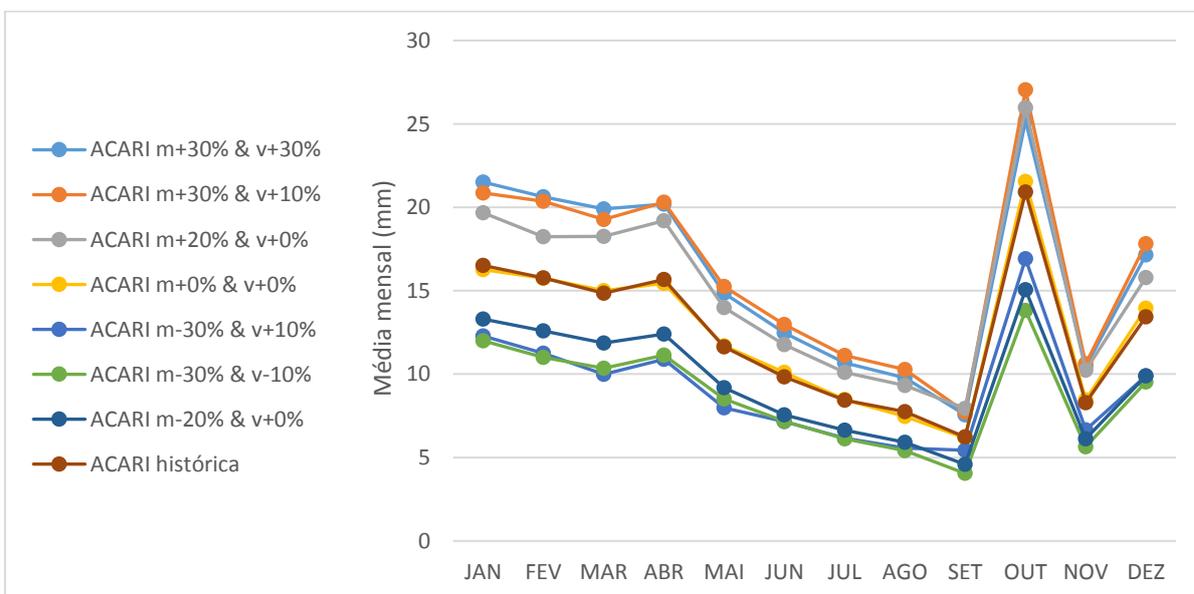


Figura 15 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Acari

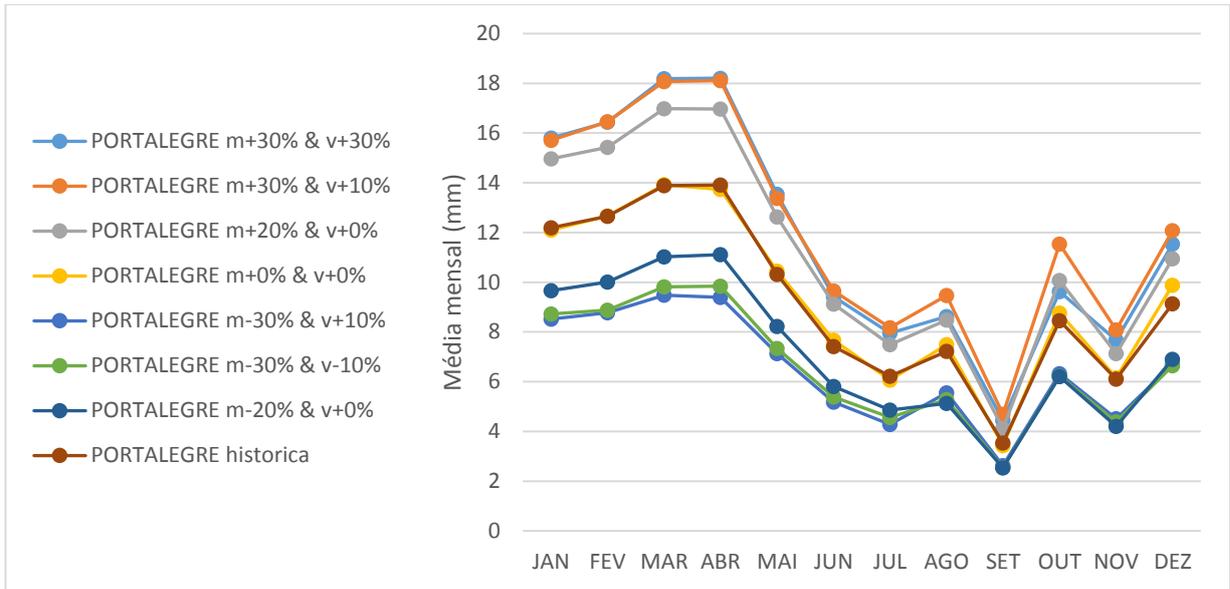


Figura 16 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de Portalegre

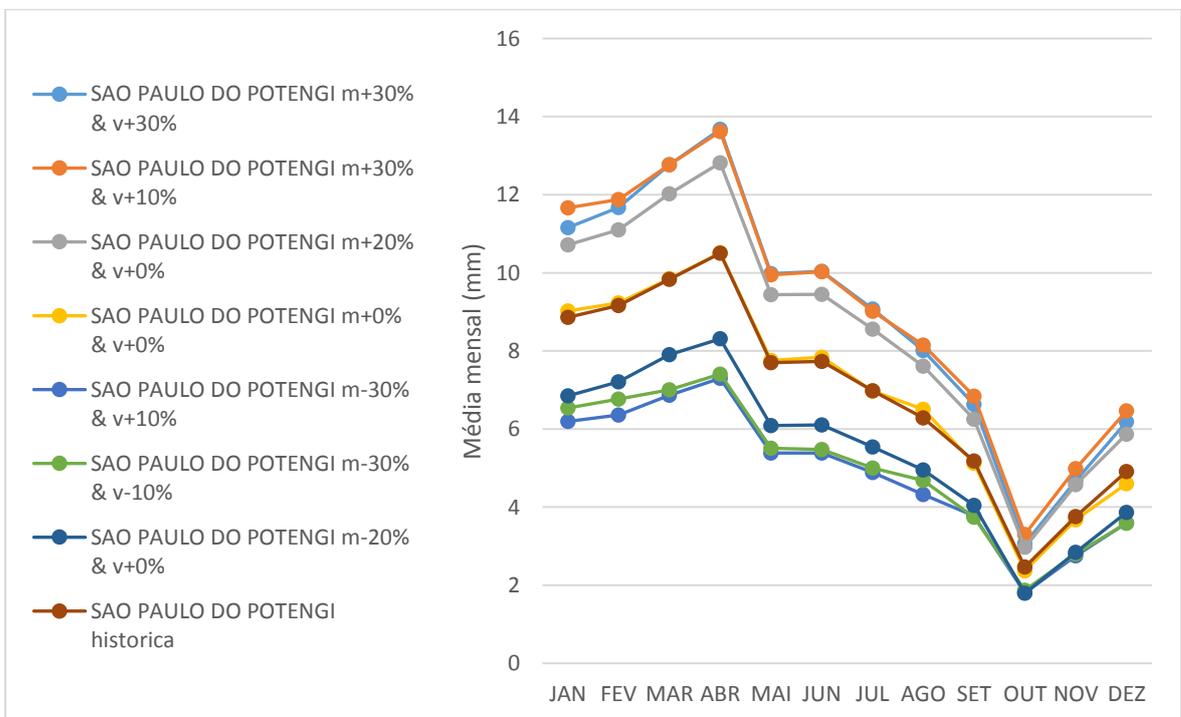


Figura 17 - Comportamento anual das séries de precipitação sobre diferentes cenários de mudanças climáticas, com alterações na média e variância simultaneamente para a cidade de São Paulo do Potengi

Foi realizada uma análise da precipitação média dos dias chuvosos, comparando os dados de entrada para geração da série sintética (tabela 3, e) e os resultados das médias das precipitações dos dias chuvosos da série gerada (tabela 3, f). Verifica-se que ocorreram variações entre estes valores. Acari no mês de setembro para o cenário m-30% & v+10% obteve a maior diferença percentual. Um resumo com as maiores variações para cada localidade pode ser visualizado na tabela a seguir. Todas as médias calculadas e as variações encontram-se no Apêndices 5 e 6, respectivamente.

Tabela 3 – Comparação das maiores variações entre as médias obtidas e as médias de entrada das séries sintéticas geradas

Localidade (a)	Cenário (b)	Mês (c)	Média Histórica (mm) (d)	Média Dado de entrada (mm) (e)	Média obtida (mm) (f)	Porcentagem obtida (%) (g)
NATAL	m-30% & v-10%	OUTUBRO	2,99	2,09	2,25	-25,32
ACARI	m-30% & v+10%	SETEMBRO	6,23	4,36	5,44	-12,76
PORTALEGRE	m-20% & v+0%	NOVEMBRO	6,10	4,89	4,21	-31,11
SÃO PAULO DO POTENGI	m-20% & v+0%	OUTUBRO	2,46	1,97	1,79	-27,25

É importante enfatizar que apesar da considerável discrepância encontrada em alguns meses entre a média da precipitação utilizada como dado de entrada e média da precipitação encontrada após a geração da série sintética, em outros meses pode ocorrer uma compensação, como o Apêndice 7 mostra. Analisando Acari, no cenário de m-30% & v+10%, no mês de setembro, a redução da média foi de 12,76%, mas a redução média de todos os meses ficou em 25,77%, valor mais próximo de 30% como sugere o cenário.

A mesma análise feita com as médias, foi desenvolvida para as variâncias. Portalegre no cenário de m+30% & v+30% no mês de outubro obteve a maior variação. Pode-se notar também que as maiores variações estão concentradas nos meses mais secos, tanto na média como na variância. Todas as variâncias calculadas e as variações estão nos Apêndices 8 e 9, respectivamente.

Tabela 4 - Comparação das maiores variações entre as variâncias obtidas e as variâncias de entrada das séries sintéticas geradas

Localidade (a)	Cenário (b)	Mês (c)	Variância Histórica (mm) (d)	Variância Dado de entrada (mm) (e)	Variância obtida (mm) (f)	Porcentagem obtida (%) (g)
NATAL	m+0% & v+0%	OUTUBRO	36,78	36,78	42,12	+14,52
ACARI	m-30% & v+10%	SETEMBRO	86,03	94,63	126,26	+46,77
PORTALEGRE	m+30% & v+30%	OUTUBRO	223,79	290,93	186,40	-16,71
SÃO PAULO DO POTENGI	m-20% & v+0%	OUTUBRO	13,73	13,73	10,30	-24,95

Vale ressaltar que assim como nas médias, pode ocorrer uma compensação entre as variações no decorrer dos meses do ano. Entretanto, mesmo com a compensação, Portalegre e Acari apresentaram maiores diferenças em relação as variâncias impostas pelos cenários. Tomando Acari para uma análise específica, para o cenário m-30% & v+10% no mês de setembro apresenta 46,77 % de aumento da variância, já no mês de março houve uma redução de 2,94%, resultando em uma média entre os meses de aumento de 16,64%, valor este mais próximo do cenário de aumento de 10% como sugere o cenário. Todos os valores calculados e as médias das variâncias calculadas entre os meses, encontram-se no Apêndice 10.

A seguir na tabela 5 são apresentaram os valores das médias e variâncias adotados para a geração das séries sintéticas e obtidas após a geração das mesmas.

Tabela 5 - médias e variâncias obtidas para cada cenário e localidade analisada

NATAL		PORTALEGRE	
m+30% & v+30%	m+29,72% & v+29,77%	m+30% & v+30%	m+26,55% & v+19,42%
m+30% & v+10%	m+29,06% & v+4,22%	m+30% & v+10%	m+31,29% & v+6,20%
m+20% & v+0%	m+23,21% & v+4,94%	m+20% & v+0%	m+20,37% & v+1,37%
m+0% & v+0%	m+0,43% & v+1,54%	m+0% & v+0%	m+1,19% & v+3,03%
m-30% & v+10%	m-31,19% & v+3,21%	m-30% & v+10%	m-28,71% & v+6,67%
m-30% & v-10%	m-28,35% & v-7,24%	m-30% & v-10%	m-28,02% & v-1,98%
m-20% & v+0%	m-20,74% & v-3,20%	m-20% & v+0%	m-23,80% & v-12,78%
ACARI		SÃO PAULO DO POTENGI	
m+30% & v+30%	m+27,22% & v+14,78%	m+30% & v+30%	m+27,74% & v+26,03%
m+30% & v+10%	m+29,66% & v+6,06%	m+30% & v+10%	m+30,75% & v+4,24%
m+20% & v+0%	m+21,07% & v+2,06%	m+20% & v+0%	m+21,45% & v+1,91%
m+0% & v+0%	m+0,51% & v+1,72%	m+0% & v+0%	m-0,42% & v+0,85%
m-30% & v+10%	m-25,77% & v+16,64%	m-30% & v+10%	m-29,20% & v+7,82%
m-30% & v-10%	m-29,84% & v+0,31%	m-30% & v-10%	m-27,18% & v-2,55%
m-20% & v+0%	m-23,05% & v-9,66%	m-20% & v+0%	m-21,93% & v-8,81%

Os valores das médias das séries sintéticas geradas apresentaram-se mais próximos dos valores dos dados de entrada do que os dados de variância. As séries sintéticas geradas não representaram bem os valores de variância adotadas e representaram um pouco melhor os valores das médias.

#### 4.2. Análise das eficiências

O gráfico abaixo apresenta um comparativo entre as eficiências calculados entre a série histórica (48 anos) e a série sintética gerada (500 anos)

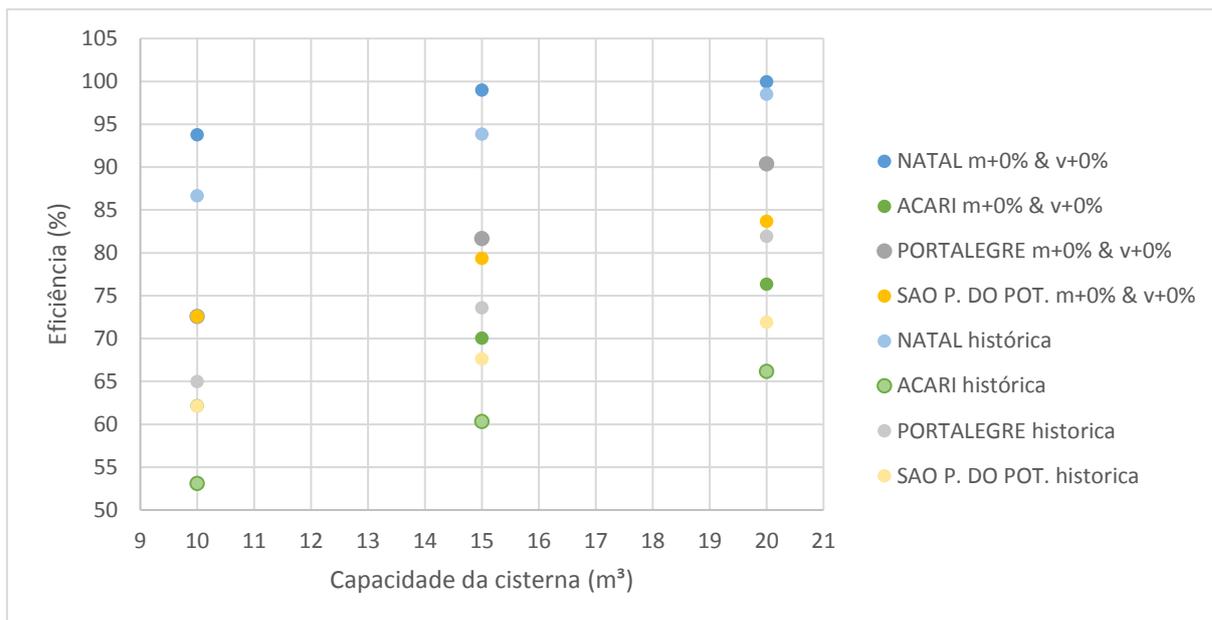


Figura 18 - Eficiências da série histórica e a série sintética

Valores calculados para a mesma localidade foram marcados com a mesma coloração. Diferenças entre as eficiências para as mesmas condições são visíveis, entretanto o comportamento para as diferentes capacidades é mantido. As eficiências atingem valores maiores para a série sintética gerada. Isso ocorre pelo fato de que a série sintética de 500 anos apresenta valores extremos com maior precipitação como mostraram as figuras 10, 11, 12 e 13.

Pela análise dos dados de precipitação todas as cidades, com exceção de São Paulo do Potengi, apresentaram um aumento da precipitação média dos dias chuvosos (tabela 5), comparando a série sintética com a histórica, o que justificaria uma maior eficiência da série sintética.

### 4.3. Análise da localidade mais impactada

Analisando as eficiências calculadas para os diferentes cenários, a cidade que apresentou a maior variação entre o valor máximo e mínimo calculado foi Acari. E a cidade que apresentou a menor variação foi Natal. A tabela a seguir mostra os resultados.

Tabela 6 - Comparação entre os extremos de eficiência para as diferentes cidades

LOCALIDADE	MAIOR EFICIÊNCIA (%)	MENOR EFICIÊNCIA (%)	VARIAÇÃO (%)	MÉDIA DAS EFICIÊNCIAS CALCULADAS (%)	VARIÂNCIA
NATAL	99,99	57,37	42,62	93,19	97,07
PORTALEGRE	99,99	34,03	65,97	77,05	272,16
SÃO PAULO DO POTENGI	99,99	23,079	76,92	69,58	516,82
ACARI	99,87	22,70	77,17	63,75	416,12

A cidade de Acari obteve as menores eficiências em função das suas características de precipitação média anual (576 mm) e concentração da precipitação, apresentando maior valor de PCD (0,7). As cidades de São Paulo de Potengi e Portalegre apresentam valores de precipitação média anual de 617 e 987 mm, respectivamente, e valores de PCD de 0,52 e 0,65 respectivamente. Apesar Portalegre ter maior concentração da precipitação o fato de ter maior precipitação média anual foi mais relevante para os melhores resultados de eficiência (tabela 6) e menor impacto das variações das precipitações e cenários analisados nas eficiências das cisternas. Este resultado corrobora com o resultado de Andrade et al (2017) que avalia que a precipitação média anual apresenta maior correlação que o PCD na eficiência das cisternas. A cidade de Natal em contrapartida apresenta a menor variação da eficiência e maiores valores por apresentar maior precipitação anual (1663 mm) e menor concentração da precipitação (PCD de 0,48).

Para o cenário mais pessimista considerado (m-30% & v+10%) e nível de conforto mais baixo ( $D = 200 \text{ L.dia}^{-1}$ ,  $A = 50 \text{ m}^2$  e  $C = 10 \text{ m}^3$ ), a cidade que obteve a maior redução absoluta na eficiência foi Portalegre (redução de 17,05% na eficiência), em comparação com o cenário de m+0% & v+0%. Para as capacidades do tanque de  $15 \text{ m}^3$  e  $20 \text{ m}^3$ , Natal apresenta maior redução absoluta, como mostra o gráfico abaixo. Em termos percentuais, a maior redução ocorreu em Portalegre para todos os tamanhos de tanque, com maior valor percentual no cenário com  $D = 200 \text{ L.dia}^{-1}$ ,  $A = 50 \text{ m}^2$  e  $C = 10 \text{ m}^3$  obtendo uma redução percentual de 33,37%. Este valor representa uma redução no atendimento de  $37.31 \text{ m}^3$  para  $24.86 \text{ m}^3$  por ano. Todas as eficiências calculadas encontram-se no Apêndice 11 desta dissertação.

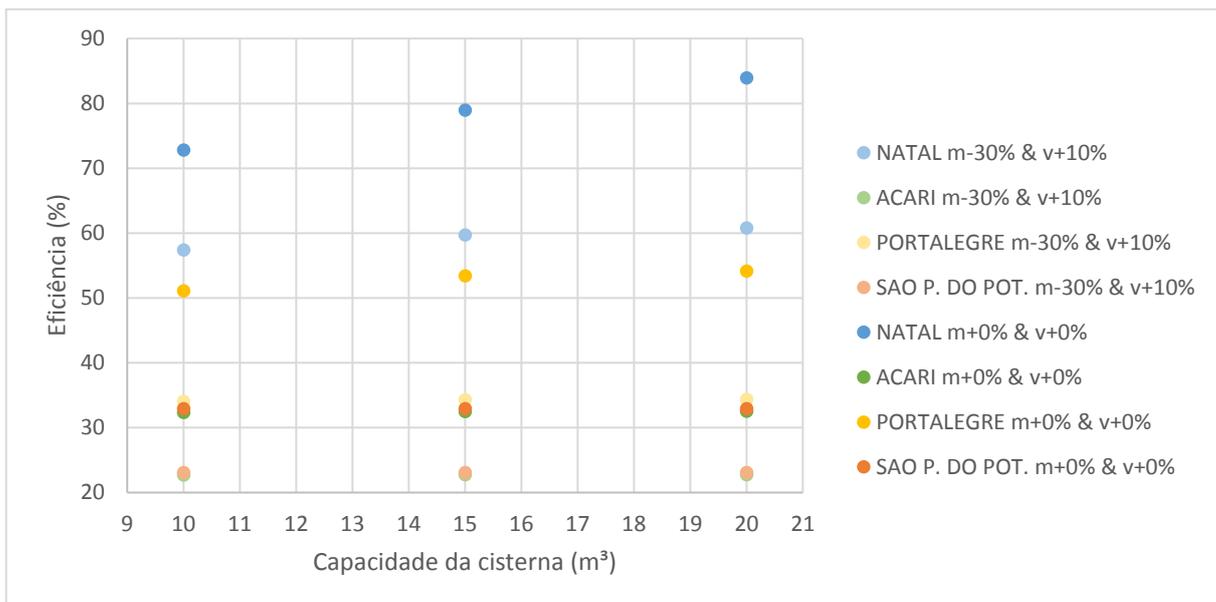


Figura 19 - Comparação das eficiências para o cenário de redução de 30 % da média, aumento de 10% na variância, área de telhado 50 m<sup>2</sup> e Demanda 200 L. dia<sup>-1</sup>.

#### 4.4. Comparação entre os diferentes níveis de conforto.

Outra análise feita foi quanto aos impactos dos diferentes cenários de mudanças climáticas em cada nível de conforto considerado. A figura abaixo mostra os resultados.

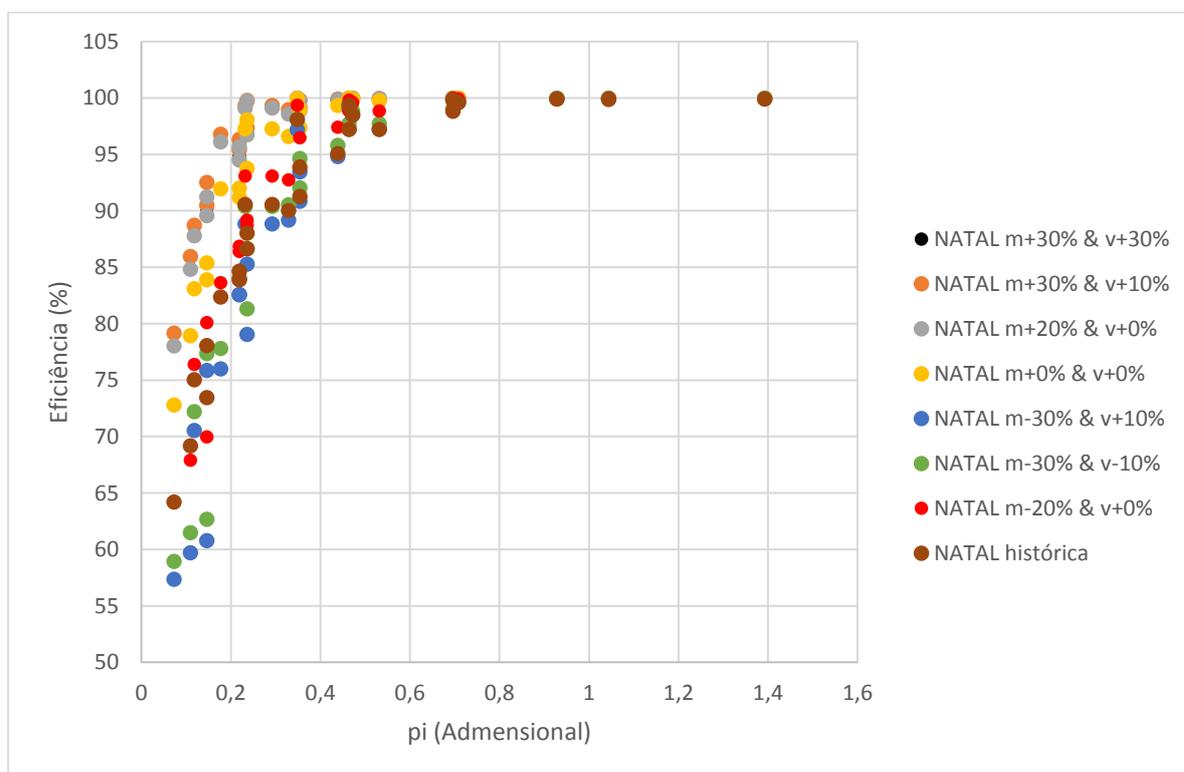


Figura 20 - Eficiências calculadas para cidade de Natal para todos os cenários considerados.

Em todas as cidades analisadas, para valores de pi menores, as eficiências apresentam valores mais discrepantes, no entanto para valores de pi melhores, os valores de eficiência tendem a ficar mais próximos para os diferentes cenários. Ou seja, pode-se considerar que não há impacto significativo com alteração da média e variância das series diárias de precipitação para a cidade de Natal para SAAC mais confortáveis.

A seguir é feita uma análise separadamente para cada nível de conforto. A tabela a seguir mostra a divisão dos níveis de conforto para cada demanda, área de captação e capacidade da cisterna utilizado.

Tabela 7 - Classificação dos níveis de conforto calculados

Demanda (L/dia)	Área de captação (m2)	Capacidade cisterna (m3)	pi (adimensional)	NÍVEIS DE CONFORTO
200	50	10	0,073100443	NÍVEL DE CONFORTO 4
200	50	15	0,109650665	
150	50	10	0,118073174	
200	100	10	0,146200887	
200	50	20	0,146200887	
150	50	15	0,177109762	
200	150	10	0,21930133	NÍVEL DE CONFORTO 3
200	100	15	0,21930133	
100	50	10	0,232079442	
150	100	10	0,236146349	
150	50	20	0,236146349	
200	100	20	0,292401774	
200	150	15	0,328951996	
100	50	15	0,348119163	NÍVEL DE CONFORTO 2
150	150	10	0,354219523	
150	100	15	0,354219523	
200	150	20	0,438602661	
100	100	10	0,464158883	
100	50	20	0,464158883	
150	100	20	0,472292697	
150	150	15	0,531329285	NÍVEL DE CONFORTO 1
100	150	10	0,696238325	
100	100	15	0,696238325	
150	150	20	0,708439046	
100	100	20	0,928317767	
100	150	15	1,044357488	
100	150	20	1,39247665	

A discrepância entre as eficiências é mais acentuada para os diferentes níveis de conforto apenas para a cidade de Natal (figura 21). Nas outras localidades, a dispersão é reduzida mais visivelmente apenas no nível de conforto 1, nos outros níveis a diferença não é tão reduzida como pode ser visto nas figuras 22, 23 e 24, onde as eficiências se aproxima mais apenas no nível de conforto 1.

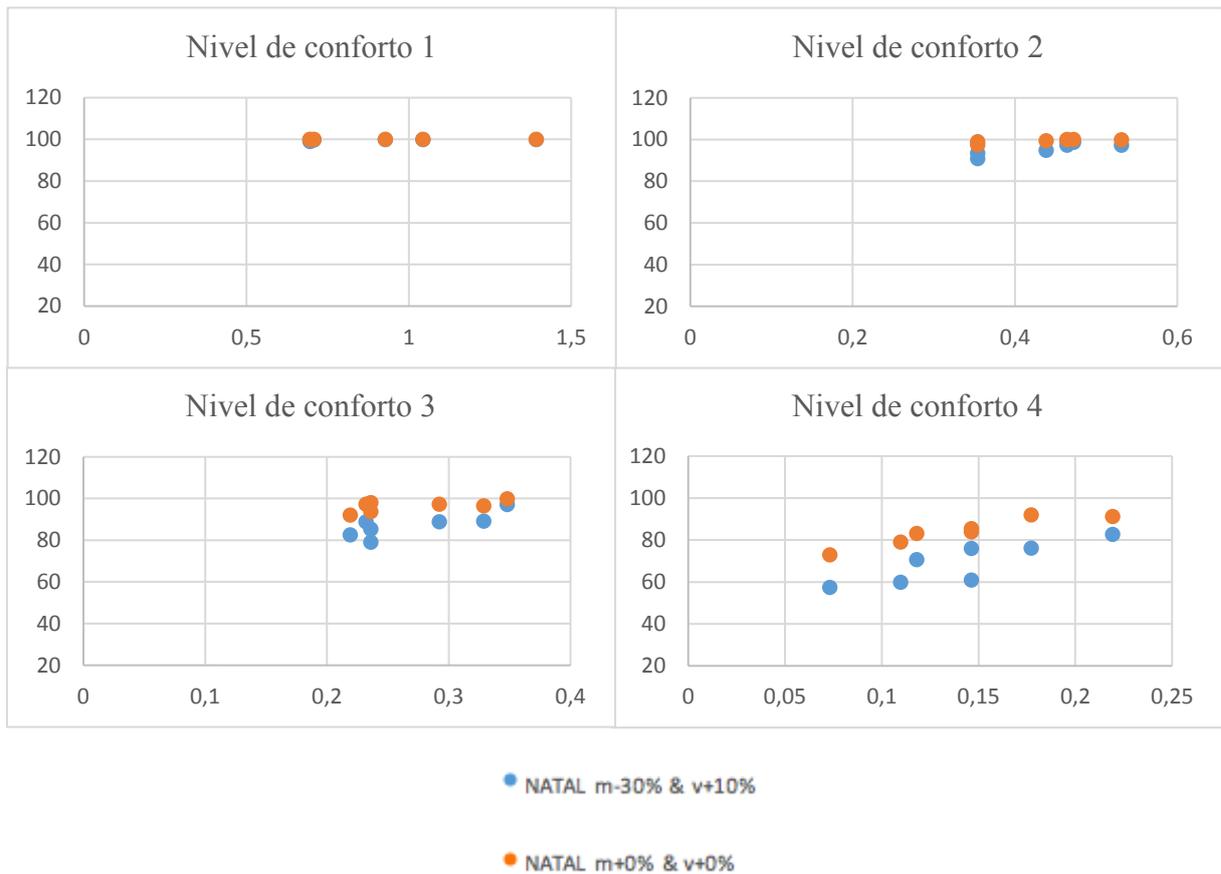


Figura 21 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Natal (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional )

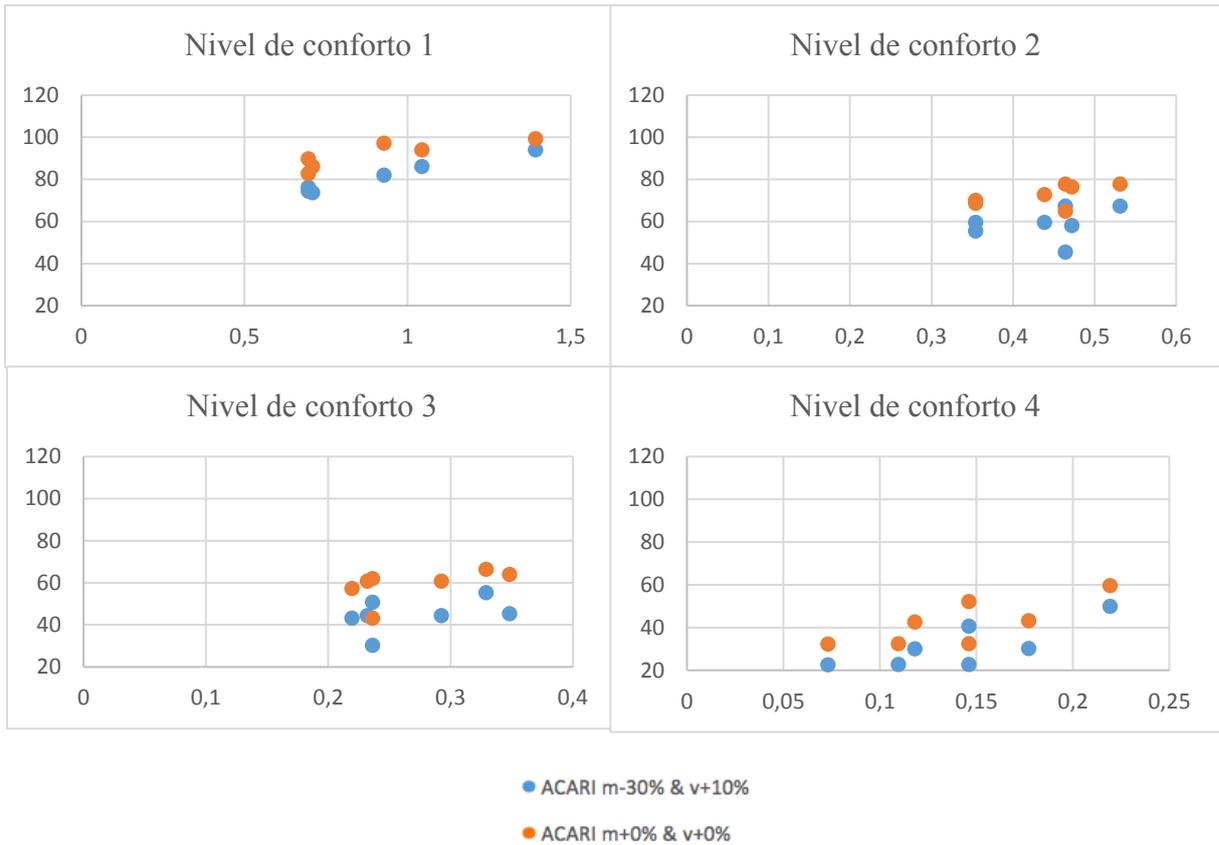
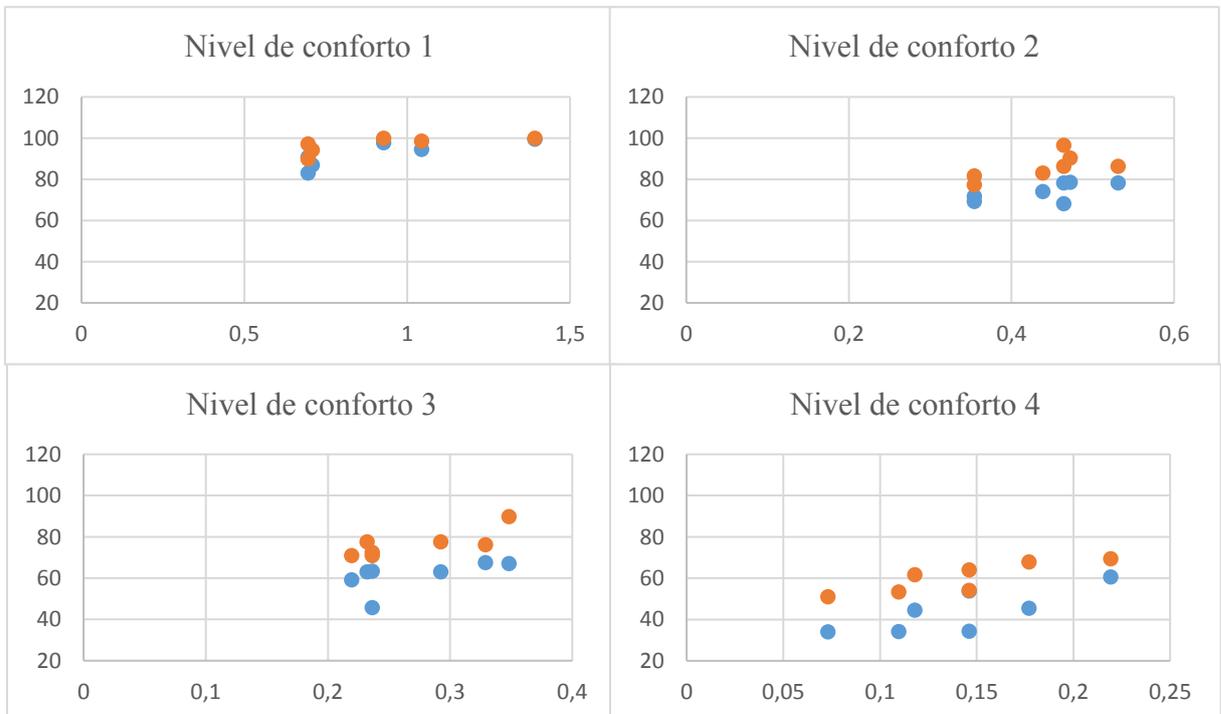


Figura 22 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Acari (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional )



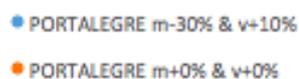


Figura 23 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de Portalegre (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional )

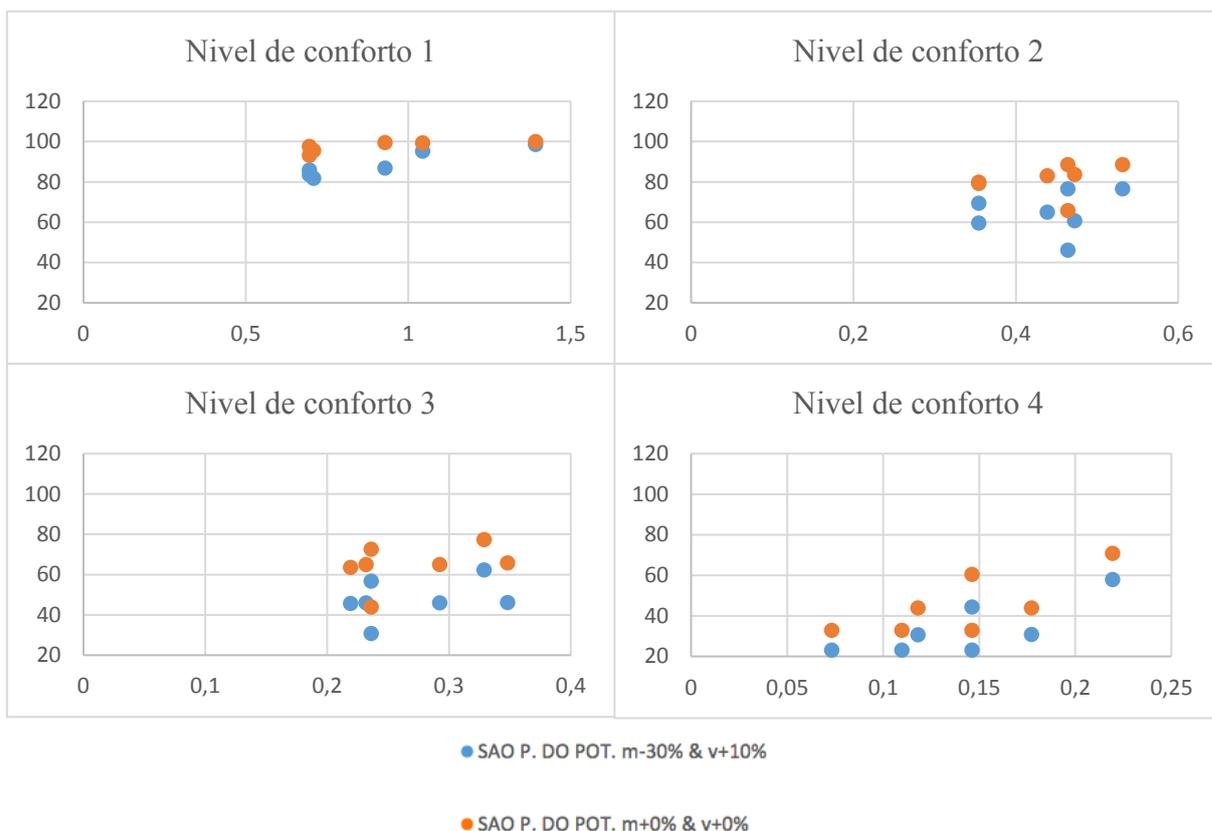


Figura 24 - Comparação entre as eficiências para os diferentes níveis de conforto na cidade de São Paulo do Potengi (Eixo y – Eficiência % Eixo x – pi adimensional )

O aumento do conforto no atendimento das demandas reduziu a discrepância entre os cenários analisados, no entanto essa mudança é mais notável na evolução para a cidade de Natal. Para Acari, Portalegre e São Paulo do Potengi, apenas no nível de conforto 1 a discrepância entre os resultados das eficiências é reduzida.

#### 4.5. Análise para um cenário específico

Como já mencionado na revisão bibliográfica, Marengo et. al (2011) projetou que em torno do ano de 2100 as precipitações totais variaram entre 20% positivo e 20% negativo. Aplicando esse cenário nos cálculos das eficiências obteve-se os seguintes gráficos para uma área de telhado de 150 m<sup>2</sup> e demanda de 150 L. dia<sup>-1</sup>.

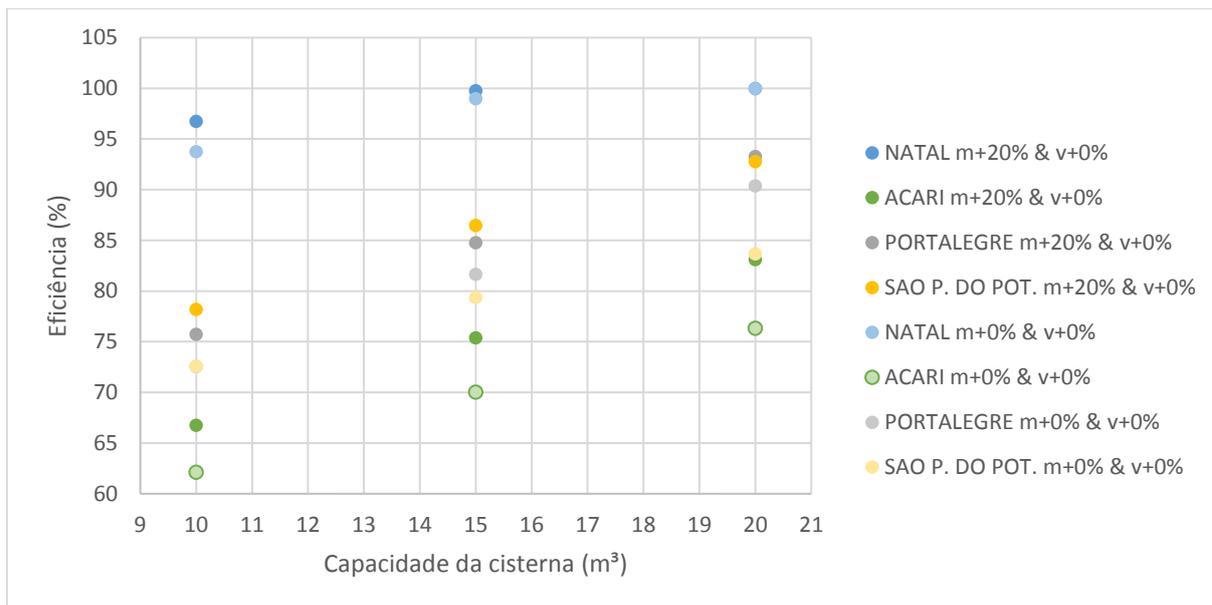


Figura 25 - Eficiências para o cenário de aumento de 20% na média.

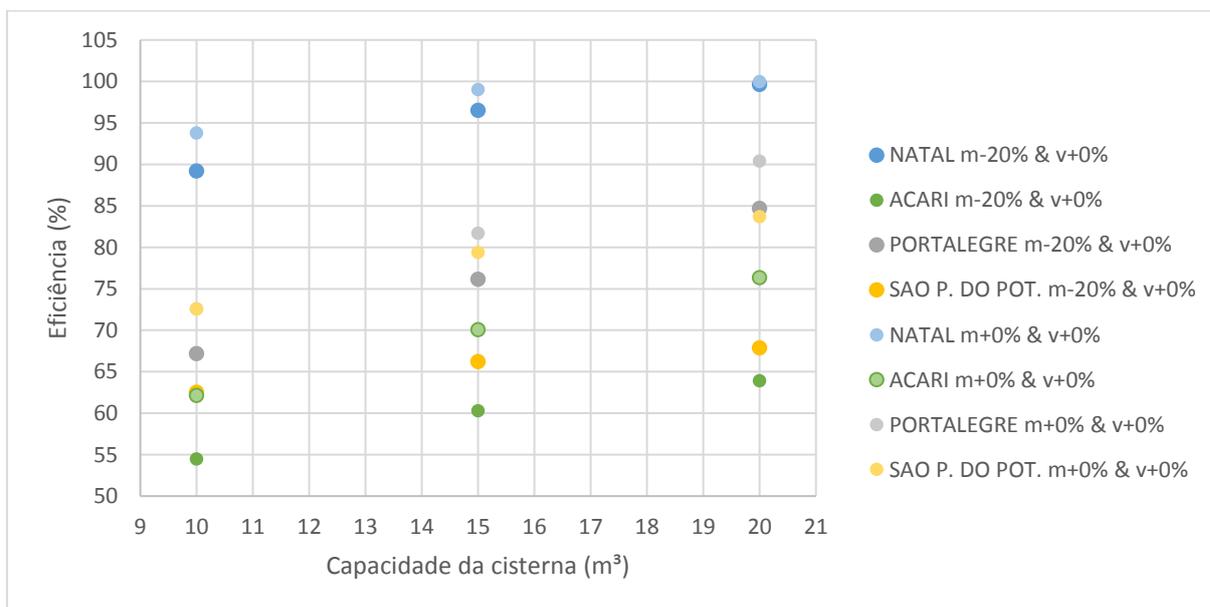


Figura 26 - Eficiências para o cenário de redução de 20% na média.

Os valores das eficiências para a mesma cidade estão marcados com a mesma coloração. Os dados mostram que para ambos os cenários, tanto de aumento como redução, São Paulo do Potengi é a localidade mais impactada. Mais uma vez se observa que para situações mais confortáveis, no caso com maior tamanho de cisterna, a variação da eficiência é menor.

As variações nos valores da média e variância são aplicadas somente nos dias chuvosos, ou seja, para todos os cenários a quantidade de dias chuvosos e secos permanecem os mesmos.

## 5. CONCLUSÕES

As séries sintéticas foram geradas através da determinação da ocorrência de precipitação pela probabilidade de transição entre os estados seco e úmido, através da cadeia de Markov de primeira ordem, e a altura precipitada foi determinada através da aplicação da distribuição gama. Esta metodologia aplicada aos dados das estações estudadas foi avaliada como adequada para descrever as médias das precipitações diárias adotadas, apesar das pequenas variações entre o dado de entrada e os resultados, no entanto ocorreram divergências significativas quanto aos valores das variâncias, este fato foi evidenciado nos períodos mais secos.

Localidades com menores valores de precipitação anual e maior concentração desta precipitação apresentaram menores valores de eficiência, caso da cidade de Acari. Observou-se também que a precipitação anual é um fator mais relevante do que a concentração no resultado da eficiência das cisternas.

Dentre as cidades estudadas, Portalegre será a mais impactada na redução da eficiência quando considerado o pior cenário de mudança climática e ainda em uma situação pouco confortável para o atendimento da demanda. Apesar de apresentar um bom volume de chuvas, o alto valor de PCD foi determinante no impacto na eficiência de SAAC. Natal é a cidade menos afetada no cenário descrito.

Para todas as cidades analisadas, SAAC mais confortáveis, ou seja, com maior facilidade de atendimento das demandas, sofrem menos impactos, frente às mudanças climáticas. Isso significa que quanto menor a área de telhado e o tamanho da cisterna e maior valor da demanda maior será o impacto das mudanças climáticas. O impacto do nível de conforto na eficiência é mais evidente em cidades com bons níveis de precipitação e distribuição temporal da chuva, como a cidade de Natal. Em Cidades com baixos níveis pluviométricos e má distribuição da chuva ao longo do ano, serão necessárias outras medidas para mitigar a vulnerabilidade frente as mudanças climáticas associadas aos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Os municípios foram escolhidos de modo a representar todas as singularidades das características pluviométricas do estado do Rio Grande do Norte. Por conseguinte, as análises e conclusões podem ser ampliadas para as regiões com características pluviométricas semelhantes.

O estudo apresentou a efeito das mudanças climáticas na eficiência de reservatórios domésticos, conhecidos como cisternas, no entanto uma analogia pode ser feita aos açudes existentes na região, responsáveis pelo atendimento de demandas elevadas e crescentes. No caso dos açudes, uma pequena redução da sua eficiência pode acarretar numa perda relevante de volume de água que deixa de ser disponibilizado para o atendimento das demandas. Na análise do efeito das mudanças climáticas nos açudes além da variação dos parâmetros característicos do regime pluvial, alteração no uso e ocupação do solo das bacias também devem ser levados em consideração, mas estudos futuros devem ser realizados para esta análise específica.

Sendo assim, este trabalho mostra os impactos das mudanças climáticas na eficiência das cisternas e a importância de incorporar estes efeitos nos estudos de SAAC.

Como recomendação para futuros estudos, sugere-se:

- Estudar novas metodologias para a geração das séries sintéticas, como a utilização de cadeias de Markov de ordem superior, utilização de mais estados além de seco e úmido e utilização de outras distribuições estatísticas para cálculo das alturas precipitadas, além da possibilidade de se utilizar a separação trimestral ou semestral para a geração das series sintéticas.

- Verificação do efeito das mudanças climáticas no atendimento da demanda em reservatórios formados por barragens.

## 6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil), 2010. **Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos: desafios para a gestão**. Nota Técnica Conjunta, SPR/SRE. Brasília, 2010.

ANDRADE, L. R. **A influência do regime pluviométrico no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva**. 2014. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN. Natal, 2014.

ANDRADE, L. R., MAIA, A. G., LUCIO, P., S. **Relevance of hydrological variables in water-saving efficiency of domestic rainwater tanks: Multivariate statistical analysis**. J. Hydrol. 545, p. 163 – 171, 2017.

ANDRADE NETO, J. V., GONÇALVES, A., M., LÚCIO, P., S. **Avaliação da alteração no regime pluviométrico sobre o município de Natal/RN a partir da geração de séries sintéticas de precipitação considerando cenários de mudanças climáticas**. Artigo Congresso de iniciação científica - Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais: Relatório 3**. São Paulo: Inpe/ USP, 2007.

ARAÚJO, J. M. S. **Identificação de áreas com precipitação pluvial homogênea no estado do Rio Grande do Norte**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

AZEVEDO, P. V.; LEITÃO, M. M. V. B. R. **Aplicação de processos em cadeia de Markov às precipitações diárias no estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, 5, 1, p. 389-402, 1990.

BASINGER, M., MONTALTO, F., LALL, U. **A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator**. J. Hydrol. 392, p. 105 – 118, 2010.

BRASIL, 2016. Cidadania e justiça por Portal Brasil em 09 de maio de 2016. **Programa Cisternas democratiza acesso à água no Semiárido**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/05/programa-cisternas-democratiza-acesso-a-agua-no-semiarido>.

CLARKE, R. T. **Statistical Modelling in Hydrology**. New York: John Wiley, p. 412, 1994.

CLARKE, R. T. **Stochastic Processes for Water Scientists: Developments and Applications**. John Wiley & Sons. Inglaterra, 1998.

DETZEL, D. H. M., 2009. **Geração de séries sintéticas de precipitação**. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FANG, C.L., BAO, C., HUANG, J.C. **Management implications to water resources constraint force on socio-economic system in rapid urbanization: a case study of the Hexi Corridor, NW China**. Water Resour. Manag. v. 21 (9), 1613 – 1633, 2007.

FEWKES, A. **Modelling the performance of Rainwater collection systems: towards a generalised approach**. Urban Water, v.1, p.323-333, 1999.

FEWKES A, BUTLER D. 2000. **Simulating the performance of Rainwater collection and reuse systems using behavioural models**. Building Services Engineering Research and Technology 21: 99–106.

FILHO, J. Clima e Recursos hídricos no Brasil. Coleção ABRH 9., vl 09, p 98-99, 2003.

HAQUE, M. M; RAHMAN, A; SAMALI, B. **Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting**. Journal of Cleaner Production 137 (2016) 60-69.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: **impacts, adaptation, and vulnerability**. MCCARTHY, J.J. et al. contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC, 2007. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Switzerland. pp 104

IPCC, 2013. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), **Climate Change 2013: the Physical Science Basis**: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2013; p. 1535.

IPCC. Climate change 2014: **impacts, adaptation, and vulnerability**. Part B: regional aspects. In: Barros, V. R. et al. (Ed.). Contribution of working group 2 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014b. Disponível em: <[https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartB\\_FINAL.pdf](https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf)>.

KAVISKI, Eloy. **Solução de problemas de fenômenos de transporte pelo método de Monte Carlo**. 330 f. Tese (Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Setor de Ciências Exatas e Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/7839>>

KRÜGER, C. M.; KAVISKI, E.; MÜLLER, I. I. **Modelagem estocástica da precipitação diária no Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 3, 2, p. 87-94, 1998.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L. WANG, G. **Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China**. Int. J. Climatol. 31: 1679–1693, 2011.

LIAW, C. H.; TSAI, Y. L. **Optimum Storage Volume of Rooftop Rain Water Harvesting Systems for Domestic Use**. Journal of the American Water Resources Association, v.40(4), p. 901-912, 2004.

LIAO, Y.; ZHANG, Q.; CHEN, D. **Stochastic modeling of daily precipitation in China**. Journal of Geographical Sciences, Pequim, 14, 4, p. 417-426, 2004.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados de modelos globais de clima do IPCC**. Relatório no 1, Ministério do Meio Ambiente (MMA). São Paulo, SP: CPTEC/ Inpe, 2007. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod\\_probio/Relatorio\\_1.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_1.pdf).

MARENGO, J.A; ALVES, L.M; BESERRA, E.A; LACERDA, F.F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. p.404-405, 2011.

MARTINS, J. A., DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; SANTI, A.; KOLLING, E. M.; COLETTI, A. J. **Probabilidade de precipitação para a microrregião de tangará da serra, estado do Mato Grosso**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, n.3, p.291-296, 2010.

MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; GALVANIN, E. A. S.; MAGNANI, E. B. Z.; OLIVEIRA, K. C. **Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do Rio Paraguai**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.4, p.639-647, 2011.

MITCHELL, V. G. **How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling ?**. Hydrol. Process. V .21, p.2850–2861, 2007.

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

MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P.; CHAVES, M. A. **Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia**. Ciência e Agrotecnologia, v.29, n.5, p.988-994, 2005.

OLIVEIRA, P. T. **Estudo estatístico sobre eventos de precipitação intensa no nordeste do Brasil**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, 2014.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. ASSAD, E. D.; MAGALHÃES, A. R. (Eds.). **Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação às Mudanças Climáticas**. GT2. Volume 2. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2014.

RAMÍREZ, M. C. V., MARENGO, J., A. **Desempenho dos modelos climáticos do IPCC em simular a precipitação presente e futura sobre o território brasileiro**. Disponível em <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2006/paper\\_1MariaM.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2006/paper_1MariaM.pdf)>, 2006.

REN, L., WANG, M., LI, C., ZHANG, W. **Impacts of human activity on river runoff in the northern area of China**. J. Hydrol. 261 (1), 204 – 217, 2002.

SHAHID, S., HARUN, S.B., KATIMON, A. **Changes in diurnal temperature range in Bangladesh during the time period 1961 - 2008**. Atmos. Res. 118, p. 260-270, 2012.

SILVA, C.M., SOUSA, V., CARVALHO, N.V. **Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences**. Resour. Conserv. Recycl. 94, p. 21-34, 2015.

STERN, R. D., COE, **The Use of Rainfall Models in Agricultural Planning**. Agricultural Meteorology, v. 26, p. 35-50, 1982.

STERN, R. D., COE. 1984, **A Model Fitting Analysis of Daily Rainfall Data**. Journal of the Royal Statistical Society, v. 147, p. 1-17, 1984.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003.

THOM, H.C.S. **A note on the gama distribuiton**. Monthly Weather Review, v.8, p.117-122, 1958.

UN-HABITAT. **Rainwater Harvesting and Utilisation**. BlueDrops series (3books), United Nations Habitat Programme, Nairobi, Kenya. 2005.

WILKS, D S. **Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model**. Journal of Hydrology, Amsterdam, 210, p. 178-191, 1998.

WILKS, D.S. **Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain**. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.85-101, 1999.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 2006.

FILHO, H., M., MORAES, C., BENNATI, P., RODRIGUES, A., R., GUILLES, M., ROCHA, P., LIMA, A., VASCONCELOS, I. **Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil**. Working Paper No. 141 do Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo (IPC-IG), 2016 ISSN 1812-108x.

XIE, Z. Q.; DU, Y.; JIANG, A. J.; DING, Y. G. **Climatic trends of different intensity heavy precipitation events concentration in China**. Journal of Geographical Sciences, 15: 459–465, 2005.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 – Script para obtenção das probabilidades de transição utilizando Cadeias de Markov (ANDRADE NETO et. al, 2017)

```
#Função para determinar a cadeia de markov de 1 ordem e 2 estados, feita considerando rmin
como dia chuvoso (rmin deve ser maior que 0)
(dados=read.table("janeiro.txt",header=F))
v=dim(dados)
markov = function(dados,nlinha,ncoluna,rmin){
ncoluna=v[2]
nlinha=v[1]
rmin=0.1
#numero de dias secos(n0) e chuvosos(n1)
  x=dados[,2:ncoluna]>=rmin
  y=which(x)
  n1=length(y)

  a=dados[,2:ncoluna]<rmin
  b=which(a)
  n0=length(b)

  n=(nlinha*ncoluna)-nlinha
  conf=isTRUE((n0+n1)==n)

#numero de dias secos com anterior seco(n00), seco com anterior chuvoso(n01),chuvoso com
anterior seco (n10) e chuvoso com ant chuvoso(n11)
  i=1
  j=2 #a primeira coluna não é considerada porque não há dia anterior para comparar
  n00=0
  n01=0
  n10=0
  n11=0
  while(i<=nlinha){
    while(j<=ncoluna){
      if(dados[i,j]>=rmin & dados[i,j-1]>=rmin){
        n11=n11+1
      }
      else if(dados[i,j]>=rmin & dados[i,j-1]<rmin){
        n10=n10+1
      }
      else if(dados[i,j]<rmin & dados[i,j-1]>=rmin){
        n01=n01+1
      }
      else if(dados[i,j]<rmin & dados[i,j-1]<rmin){
        n00=n00+1
      }
      j=j+1
    }
    j=2
    i=i+1
  }
}
```

```

    }

    conf2=isTRUE(n==(n11+n10+n01+n00))

#probabilidades da cadeia de markov - chv hj c chv ontem(p11),chv hj c seco on-
tem(p10),seco hj c chv ontem(p01), seco hj c seco ontem(p00)
    p00=n00/n0
    p10=1-p00
    p11=n11/n1
    p01=1-p11

#escrever um arquivo com os dados da cadeia de markov
    cm=data.frame(n1,n0,conf,n11,n10,n01,n00,conf2,p00,p10,p11,p01)
    write.table(cm, file="cadeia de markov.txt", sep=" ")
}

```

## APÊNDICE 2 – Script no Software R para obtenção da matriz de ocorrências (matriz de uns e zeros) (ANDRADE NETO et. al, 2017)

```
#Função para determinar se ocorre chuva
ocorre.chuva = function(p10,p11,nlinha,ncoluna){
  p10 = 0.09054805401112
  p11 = 0.331491712707182
  nlinha = 500
  ncoluna = 31

#matriz com numeros aleatorios
  w=matrix(runif(nlinha*ncoluna),nrow=nlinha,ncol=ncoluna,byrow=TRUE)

#determinando o estado inicial do 1 dia de cada ano

  x=matrix(nrow=nlinha,ncol=ncoluna,byrow=TRUE)

  i=1
  while(i<=nlinha){
    if(w[i,1]<=p10){
      x[i,1]=1
    }
    if(w[i,1]>p10 & w[i,1]<=p11){
      x[i,1]=1
    }
    if(w[i,1]>p11){
      x[i,1]=0
    }
    i=i+1
  }

#determinando a probabilidade crítica e o estado atual
  i=1
  j=2 #começa do segundo dia porque tem que comparar com
o dia anterior
  while(i<=nlinha){
    while(j<=ncoluna){
      #determinando prob. cr?tica
      if(x[i,j-1]==0){
        pc=p10
      }
      else if(x[i,j-1]==1){
        pc=p11
      }

      #determinando o estado atual
      if(w[i,j]<=pc){
        x[i,j]=1
      }
      else if(w[i,j]>pc){
```

```
        x[i,j]=0
      }
    j=j+1
  }
  j=2
  i=i+1
}
```

```
#escrevendo no arquivo de saida
write.table(x,file="ocorrencia de chuva.txt",sep=" ")
}
```

### APÊNDICE 3 – Script utilizando o software R para obtenção da alturas precipitadas (ANDRADE NETO et. al, 2017).

#Função para determinar a altura de chuva

```
altura.chuva = function(dados,media,variancia,nlinha,ncoluna){ #dados ? a matriz com dados de ocorrencia de chuva
```

```
(dados=read.table("ocorrencia de chuva.txt",header=T))
```

```
#determinando os parametros shape (a) e scale (s)
```

```
media = 16.5131147540984
```

```
variancia = 362.165183194482
```

```
ncoluna = 31
```

```
nlinha = 500
```

```
a=(media^2)/variancia
```

```
s = variancia/media
```

```
#determinando a altura de chuva
```

```
x=matrix(nrow=nlinha,ncol=ncoluna,byrow=TRUE)
```

```
y=matrix(nrow=nlinha,ncol=ncoluna,byrow=TRUE)
```

```
i=1
```

```
j=1
```

```
while(i<=nlinha){
```

```
  while(j<=ncoluna){
```

```
    if(!is.na(dados[i,j])){
```

```
      if(dados[i,j]==1){
```

```
        x[i,j]=runif(1)
```

```
      }
```

```
      else if(dados[i,j]==0){
```

```
        x[i,j]=0
```

```
      }
```

```
    }
```

```
    j=j+1
```

```
  }
```

```
  j=1
```

```
  i=i+1
```

```
}
```

```
i=1
```

```
while(i<=nlinha){
```

```
  while(j<=ncoluna){
```

```
    if(!is.na(dados[i,j])){
```

```
      if(dados[i,j]==1){
```

```
        y[i,j]=qgamma(x[i,j],shape=a,scale=s)
```

```
      }
```

```
      else if(dados[i,j]==0){
```

```
        y[i,j]=0
```

```
      }
```

```
    }
```

```
    j=j+1
```

```
  }
```

```
j=1
i=i+1
}

#escrevendo no arquivo de saída da probabilidade da altura de chuva
write.table(x,file="prob altura de chuva.txt",sep=" ")

#escrevendo no arquivo de saída da altura de chuva
write.table(y,file="altura de chuva.txt",sep=" ")
}
```

**APÊNDICE 4 – Script dos cálculos da eficiência utilizando o Microsoft Exel. (ANDRA-DE et. al, 2014)**

```
Sub SimulacaoYAS2() ' algoritmo de YAS do artigo 4
SomaDA = 0
Economia = 0
DiasSimulados = 0
VI = 0
' verificar se serà cheio ou vazio
D = Sheets("200I").Cells(22, 3)
VR = Sheets("200I").Cells(18, 3)
RunOff = Sheets("200I").Cells(14, 3)
FF = Sheets("200I").Cells(15, 3)
A = Sheets("200I").Cells(19, 3)
Falhas = 0
  For linha = 2 To 577
    For coluna = 2 To 32
      If Cells(linha, coluna) <> "" And Cells(linha, coluna) <> "NA" Then
        ChuvaDiaria = Cells(linha, coluna)
        'if ChuvaDiaria <> "" then
          DiasSimulados = DiasSimulados + 1
          'Sheets("200I").Cells(DiasSimulados + 11, 11) = DiasSimulados

          'Sheets("200I").Cells(DiasSimulados + 11, 12) = ChuvaDiaria
          If ChuvaDiaria > FF Then
            VP = (ChuvaDiaria - FF) * RunOff * A / 1000
          Else
            VP = 0
          End If
          'Sheets("200I").Cells(DiasSimulados + 11, 13) = VP
          Y1 = D
          If DiasSimulados = 1 Then
            Y2 = VI + VP
          Else
            Y2 = VF + VP
          End If
          If Y1 <= Y2 Then
            Y = Y1
          Else
            Y = Y2
            Falhas = Falhas + 1
          End If
          If DiasSimulados = 1 Then
            VF1 = VI + VP - Y
          Else
            VF1 = VF + VP - Y
          End If
          VF2 = VR - Y
        End If
      End For
    End For
  End Sub
```

```

If VF1 < VF2 Then
    VF = VF1
Else
    VF = VF2
End If
'Sheets("200I").Cells(DiasSimulados + 11, 14) = VF
'Sheets("200I").Cells(DiasSimulados + 11, 15) = Y
SomaDAAt = SomaDAAt + Y
'End if
End If
Next
Sheets("200I").Cells(11, 3) = linha
Next
Confiabilidade = 1 - (Falhas / DiasSimulados)
Sheets("200I").Cells(24, 3) = Confiabilidade
Sheets("200I").Cells(12, 3) = DiasSimulados
Sheets("200I").Cells(26, 3) = Falhas
Sheets("200I").Cells(27, 3) = DiasSimulados
DemanTotalNec = DiasSimulados * Sheets("200I").Cells(22, 3)
Economia = SomaDAAt * 100 / DemanTotalNec
Sheets("200I").Cells(26, 3) = Economia
End Sub

```

**APÊNDICE 5 – Médias (mm/dia) mensais de precipitação calculadas para os diferentes cenários.**

MÉ- DIAS	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%	NATAL histórica
JAN	9,0497	8,9391	8,5761	6,8959	4,8764	5,0308	5,5381	6,9771
FEV	12,2146	12,0877	11,4906	9,3553	6,5064	6,6220	7,4507	9,3413
MAR	15,7829	15,5392	14,7435	12,0455	8,1378	8,5019	9,5439	12,0098
ABR	17,0077	16,7925	15,9925	12,7820	8,8405	9,1164	10,2991	12,9548
MAI	16,1442	15,8994	15,1818	12,2129	8,3419	8,6485	9,7357	12,2596
JUN	18,6492	18,8690	18,1191	14,6494	9,9087	10,2740	11,6622	14,6452
JUL	16,4986	16,2855	15,6828	12,9019	8,5428	8,8795	10,0722	12,6475
AGO	10,0810	9,8449	9,3992	7,6873	5,0973	5,4252	6,0612	7,6357
SET	6,4356	6,3463	6,0360	4,9044	3,4034	3,4923	3,9020	4,9116
OUT	3,8146	3,8631	3,6739	3,0151	2,1162	2,2504	2,3471	2,9994
NOV	4,2549	4,3112	4,0896	3,3767	2,3532	2,4989	2,6094	3,3461
DEZ	4,8966	4,9943	4,7988	4,0047	2,7083	2,8168	3,0669	3,8674

MÉ- DIAS	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m- 30% & v+10%	ACARI m- 30% & v- 10%	ACARI m- 20% & v+0%	ACARI histórica
JAN	21,5197	20,8696	19,6744	16,2766	12,2836	12,0088	13,2967	16,5131
FEV	20,6313	20,3601	18,2318	15,7428	11,2622	11,0100	12,5843	15,7657
MAR	19,9063	19,2794	18,2598	15,0125	9,9855	10,3501	11,8697	14,8466
ABR	20,1923	20,3070	19,2038	15,4529	10,8816	11,1469	12,4064	15,6720
MAI	14,8459	15,2470	13,9806	11,6850	7,9863	8,5163	9,1819	11,6380
JUN	12,4699	12,9728	11,7665	10,1081	7,1484	7,1750	7,5648	9,8429
JUL	10,6698	11,1097	10,1071	8,4776	6,1552	6,1333	6,6398	8,4432
AGO	9,7731	10,2697	9,3279	7,4708	5,5773	5,4069	5,9163	7,7559
SET	7,5664	7,7352	7,9487	6,1739	5,4361	4,0504	4,5883	6,2313
OUT	25,1953	27,0379	25,9682	21,5497	16,9096	13,8195	15,0607	20,9100
NOV	10,4642	10,6159	10,2360	8,4615	6,6617	5,6388	6,1270	8,2810
DEZ	17,1435	17,8090	15,7846	13,9515	9,8880	9,5345	9,8986	13,4370

MÉ- DIAS	PORTA- LEGRE m+30% & v+30%	PORTA- LEGRE m+30% & v+10%	PORTA- LEGRE m+20% & v+0%	PORTA- LEGRE m+0% & v+0%	PORTA- LEGRE m- 30% & v+10%	PORTA- LEGRE m- 30% & v- 10%	PORTA- LEGRE m- 20% & v+0%	PORTA- LEGRE histórica
JAN	15,8000	15,7133	14,9646	12,1064	8,5158	8,7239	9,6585	12,1944
FEV	16,4438	16,4553	15,4305	12,6633	8,7706	8,8848	10,0106	12,6516
MAR	18,1920	18,0678	16,9809	13,9224	9,4790	9,8161	11,0194	13,8840
ABR	18,2073	18,1126	16,9698	13,7296	9,3872	9,8426	11,1092	13,9100
MAI	13,5337	13,3773	12,6342	10,4467	7,1357	7,3431	8,2188	10,3186
JUN	9,4226	9,6498	9,1243	7,6683	5,1775	5,3826	5,8099	7,4139
JUL	7,9484	8,1733	7,4855	6,0670	4,2769	4,5596	4,8541	6,2227
AGO	8,6179	9,4741	8,4771	7,4864	5,5512	5,2803	5,1287	7,2221
SET	4,4519	4,6917	4,1196	3,4402	2,6217	2,5522	2,5382	3,5333
OUT	9,6295	11,5380	10,0686	8,7582	6,3172	6,2171	6,2073	8,4514
NOV	7,6706	8,0791	7,1307	6,1605	4,5112	4,3898	4,2076	6,1077
DEZ	11,5343	12,0801	10,9450	9,8805	6,6852	6,6426	6,9036	9,1319

MÉ- DIAS	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+30%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v- 10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI histórica
JAN	11,1590	11,6629	10,7136	9,0264	6,1943	6,5420	6,8503	8,8571
FEV	11,6704	11,8804	11,1003	9,2241	6,3594	6,7689	7,2079	9,1601
MAR	12,7669	12,7679	12,0265	9,8469	6,8621	7,0079	7,9023	9,8346
ABR	13,6760	13,6190	12,8166	10,5095	7,2985	7,4075	8,3092	10,5009
MAI	9,9834	9,9498	9,4385	7,7554	5,3818	5,5068	6,0875	7,7032
JUN	10,0340	10,0260	9,4516	7,8386	5,3865	5,4770	6,1063	7,7289
JUL	9,0699	9,0163	8,5599	6,9741	4,8860	5,0043	5,5393	6,9809
AGO	8,0087	8,1519	7,6075	6,5066	4,3252	4,6828	4,9551	6,2832
SET	6,6266	6,8430	6,2522	5,1254	3,7726	3,7441	4,0441	5,1851
OUT	3,0640	3,3037	2,9700	2,3720	1,8059	1,8710	1,7933	2,4649
NOV	4,6765	4,9812	4,5752	3,6748	2,7538	2,8001	2,8393	3,7560
DEZ	6,1904	6,4682	5,8705	4,6005	3,5969	3,5909	3,8673	4,9121

**APÊNDICE 6 – Erros calculados entre as médias de entrada e as médias obtidas.**

ERROS MÉDIAS	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%
JAN	0,23%	1,45%	-2,43%	1,16%	0,16%	-3,01%	0,78%
FEV	-0,58%	0,46%	-2,51%	-0,15%	0,50%	-1,27%	0,30%
MAR	-1,09%	0,47%	-2,30%	-0,30%	3,20%	-1,13%	0,67%
ABR	-0,99%	0,29%	-2,87%	1,33%	2,51%	-0,53%	0,63%
MAI	-1,30%	0,24%	-3,20%	0,38%	2,79%	-0,78%	0,73%
JUN	2,05%	0,89%	-3,10%	-0,03%	3,35%	-0,22%	0,46%
JUL	-0,35%	0,95%	-3,33%	-2,01%	3,51%	-0,30%	0,45%
AGO	-1,56%	0,82%	-2,58%	-0,68%	4,63%	-1,50%	0,78%
SET	-0,79%	0,61%	-2,41%	0,15%	1,01%	-1,58%	0,69%
OUT	2,17%	0,93%	-2,07%	-0,52%	-0,79%	-7,18%	2,18%
NOV	2,19%	0,89%	-1,85%	-0,91%	-0,47%	-6,69%	2,52%
DEZ	2,61%	0,66%	-3,40%	-3,55%	-0,04%	-4,05%	0,87%

ERROS MÉDIAS	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m-30% & v+10%	ACARI m-30% & v-10%	ACARI m-20% & v+0%
JAN	-0,25%	2,78%	0,71%	1,43%	-6,27%	-3,89%	-0,65%
FEV	-0,66%	0,66%	3,63%	0,15%	-2,05%	0,24%	0,22%
MAR	-3,14%	0,11%	-2,49%	-1,12%	3,92%	0,41%	0,06%
ABR	0,89%	0,33%	-2,11%	1,40%	0,81%	-1,61%	1,05%
MAI	1,87%	-0,78%	-0,11%	-0,40%	1,97%	-4,54%	1,38%
JUN	2,55%	-1,38%	0,38%	-2,69%	-3,75%	-4,14%	3,93%
JUL	2,79%	-1,22%	0,24%	-0,41%	-4,14%	-3,77%	1,70%
AGO	3,07%	-1,85%	-0,22%	3,68%	-2,73%	0,41%	4,65%
SET	6,59%	4,51%	-6,30%	0,92%	-24,63%	7,14%	7,96%
OUT	7,31%	0,53%	-3,49%	-3,06%	-15,53%	5,58%	9,97%
NOV	2,80%	1,39%	-3,01%	-2,18%	-14,92%	2,72%	7,51%
DEZ	1,86%	-1,95%	2,11%	-3,83%	-5,13%	-1,37%	7,92%

ER- ROS MÉ- DIAS	PORTA- LEGRE m+30% & v+30%	PORTA- LEGRE m+30% & v+10%	PORTA- LEGRE m+20% & v+0%	PORTA- LEGRE m+0% & v+0%	PORTA- LEGRE m- 30% & v+10%	PORTA- LEGRE m- 30% & v- 10%	PORTA- LEGRE m- 20% & v+0%
JAN	0,33%	0,88%	-2,26%	0,72%	0,24%	-2,20%	0,99%
FEV	0,02%	-0,05%	-1,64%	-0,09%	0,97%	-0,32%	1,09%
MAR	-0,79%	-0,10%	-1,92%	-0,28%	2,47%	-1,00%	0,79%
ABR	-0,69%	-0,16%	-1,66%	1,30%	3,59%	-1,08%	0,17%
MAI	-0,89%	0,27%	-2,03%	-1,24%	1,21%	-1,66%	0,44%
JUN	2,24%	-0,12%	-2,56%	-3,43%	0,24%	-3,72%	2,04%
JUL	1,74%	-1,04%	-0,24%	2,50%	1,81%	-4,68%	2,49%
AGO	8,21%	-0,91%	2,19%	-3,66%	-9,81%	-4,45%	11,23%
SET	3,08%	-2,14%	2,84%	2,64%	-6,00%	-3,19%	10,21%
OUT	12,35%	-5,02%	0,72%	-3,63%	-6,78%	-5,09%	8,19%
NOV	3,39%	-1,75%	2,71%	-0,86%	-5,52%	-2,68%	13,89%
DEZ	2,84%	-1,76%	0,12%	-8,20%	-4,58%	-3,91%	5,50%

ERROS MÉDIAS	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+30%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v- 10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 20% & v+0%
JAN	3,09%	-1,29%	-0,80%	-1,91%	0,09%	-5,52%	3,32%
FEV	2,00%	0,23%	-0,98%	-0,70%	0,82%	-5,56%	1,64%
MAR	0,14%	0,13%	-1,91%	-0,13%	0,32%	-1,80%	-0,44%
ABR	-0,18%	0,24%	-1,71%	-0,08%	0,71%	-0,77%	1,09%
MAI	0,31%	0,64%	-2,11%	-0,68%	0,19%	-2,13%	1,22%
JUN	0,13%	0,21%	-1,91%	-1,42%	0,44%	-1,23%	1,24%
JUL	0,06%	0,65%	-2,18%	0,10%	0,01%	-2,41%	0,81%
AGO	1,95%	0,20%	-0,90%	-3,56%	1,66%	-6,47%	1,42%
SET	1,69%	-1,52%	-0,48%	1,15%	-3,94%	-3,16%	2,51%
OUT	4,38%	-3,10%	-0,41%	3,77%	-4,66%	-8,43%	9,06%
NOV	4,22%	-2,02%	-1,51%	2,16%	-4,74%	-6,50%	5,51%
DEZ	3,06%	-1,29%	0,41%	6,34%	-4,61%	-4,43%	1,59%

**APÊNDICE 7 – Comparação entre as médias obtidas e a média histórica.**

MÉDIA OBTI- DA/MÉDIA HISTÓRICA	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%
JAN	29,71%	28,12%	22,92%	-1,16%	-30,11%	-27,90%	-20,62%
FEV	30,76%	29,40%	23,01%	0,15%	-30,35%	-29,11%	-20,24%
MAR	31,42%	29,39%	22,76%	0,30%	-32,24%	-29,21%	-20,53%
ABR	31,28%	29,62%	23,45%	-1,33%	-31,76%	-29,63%	-20,50%
MAI	31,69%	29,69%	23,84%	-0,38%	-31,96%	-29,45%	-20,59%
JUN	27,34%	28,84%	23,72%	0,03%	-32,34%	-29,85%	-20,37%
JUL	30,45%	28,77%	24,00%	2,01%	-32,45%	-29,79%	-20,36%
AGO	32,02%	28,93%	23,09%	0,68%	-33,24%	-28,95%	-20,62%
SET	31,03%	29,21%	22,89%	-0,15%	-30,71%	-28,90%	-20,55%
OUT	27,18%	28,79%	22,49%	0,52%	-29,45%	-24,97%	-21,75%
NOV	27,16%	28,84%	22,22%	0,91%	-29,67%	-25,32%	-22,02%
DEZ	26,61%	29,14%	24,08%	3,55%	-29,97%	-27,16%	-20,70%
<b>MÉDIA</b>	<b>29,72%</b>	<b>29,06%</b>	<b>23,21%</b>	<b>0,43%</b>	<b>-31,19%</b>	<b>-28,35%</b>	<b>-20,74%</b>

MÉDIA OBTI- DA/MÉDIA HISTÓRICA	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m-30% & v+10%	ACARI m-30% & v-10%	ACARI m-20% & v+0%
JAN	30,32%	26,38%	19,14%	-1,43%	-25,61%	-27,28%	-19,48%
FEV	30,86%	29,14%	15,64%	-0,15%	-28,57%	-30,17%	-20,18%
MAR	34,08%	29,86%	22,99%	1,12%	-32,74%	-30,29%	-20,05%
ABR	28,84%	29,57%	22,54%	-1,40%	-30,57%	-28,87%	-20,84%
MAI	27,56%	31,01%	20,13%	0,40%	-31,38%	-26,82%	-21,10%
JUN	26,69%	31,80%	19,54%	2,69%	-27,37%	-27,10%	-23,14%
JUL	26,37%	31,58%	19,71%	0,41%	-27,10%	-27,36%	-21,36%
AGO	26,01%	32,41%	20,27%	-3,68%	-28,09%	-30,29%	-23,72%
SET	21,43%	24,14%	27,56%	-0,92%	-12,76%	-35,00%	-26,37%
OUT	20,49%	29,31%	24,19%	3,06%	-19,13%	-33,91%	-27,97%
NOV	26,36%	28,20%	23,61%	2,18%	-19,55%	-31,91%	-26,01%
DEZ	27,58%	32,54%	17,47%	3,83%	-26,41%	-29,04%	-26,33%
<b>MÉDIA</b>	<b>27,22%</b>	<b>29,66%</b>	<b>21,07%</b>	<b>0,51%</b>	<b>-25,77%</b>	<b>-29,84%</b>	<b>-23,05%</b>

MÉDIA OBTI- DA/MÉDIA HISTÓRI- CA	PORTA- LEGRE m+30% & v+30%	PORTA- LEGRE m+30% & v+10%	PORTA- LEGRE m+20% & v+0%	PORTA- LEGRE m+0% & v+0%	PORTA- LEGRE m-30% & v+10%	PORTA- LEGRE m-30% & v-10%	PORTA- LEGRE m-20% & v+0%
JAN	29,57%	28,86%	22,72%	-0,72%	-30,17%	-28,46%	-20,80%
FEV	29,97%	30,07%	21,97%	0,09%	-30,68%	-29,77%	-20,87%
MAR	31,03%	30,13%	22,31%	0,28%	-31,73%	-29,30%	-20,63%
ABR	30,89%	30,21%	22,00%	-1,30%	-32,51%	-29,24%	-20,14%
MAI	31,16%	29,64%	22,44%	1,24%	-30,85%	-28,84%	-20,35%
JUN	27,09%	30,16%	23,07%	3,43%	-30,16%	-27,40%	-21,63%
JUL	27,73%	31,35%	20,29%	-2,50%	-31,27%	-26,73%	-21,99%
AGO	19,33%	31,18%	17,38%	3,66%	-23,14%	-26,89%	-28,99%
SET	26,00%	32,78%	16,59%	-2,64%	-25,80%	-27,77%	-28,16%
OUT	13,94%	36,52%	19,13%	3,63%	-25,25%	-26,44%	-26,55%
NOV	25,59%	32,28%	16,75%	0,86%	-26,14%	-28,13%	-31,11%
DEZ	26,31%	32,28%	19,85%	8,20%	-26,79%	-27,26%	-24,40%
<b>MÉDIA</b>	<b>26,55%</b>	<b>31,29%</b>	<b>20,37%</b>	<b>1,19%</b>	<b>-28,71%</b>	<b>-28,02%</b>	<b>-23,80%</b>

MÉDIA OBTI- DA/MÉDIA HISTÓRICA	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+30%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-30% & v-10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-20% & v+0%
JAN	25,99%	31,68%	20,96%	1,91%	-30,06%	-26,14%	-22,66%
FEV	27,40%	29,70%	21,18%	0,70%	-30,57%	-26,11%	-21,31%
MAR	29,82%	29,83%	22,29%	0,13%	-30,22%	-28,74%	-19,65%
ABR	30,24%	29,69%	22,05%	0,08%	-30,50%	-29,46%	-20,87%
MAI	29,60%	29,17%	22,53%	0,68%	-30,13%	-28,51%	-20,97%
JUN	29,82%	29,72%	22,29%	1,42%	-30,31%	-29,14%	-20,99%
JUL	29,93%	29,16%	22,62%	-0,10%	-30,01%	-28,31%	-20,65%
AGO	27,46%	29,74%	21,08%	3,56%	-31,16%	-25,47%	-21,14%
SET	27,80%	31,98%	20,58%	-1,15%	-27,24%	-27,79%	-22,00%
OUT	24,30%	34,03%	20,49%	-3,77%	-26,74%	-24,10%	-27,25%
NOV	24,51%	32,62%	21,81%	-2,16%	-26,68%	-25,45%	-24,41%
DEZ	26,02%	31,68%	19,51%	-6,34%	-26,78%	-26,90%	-21,27%
<b>MÉDIA</b>	<b>27,74%</b>	<b>30,75%</b>	<b>21,45%</b>	<b>-0,42%</b>	<b>-29,20%</b>	<b>-27,18%</b>	<b>-21,93%</b>

**APÊNDICE 8 – Variâncias mensais de precipitação calculadas para os diferentes cenários.**

VA-RIÂ-CIAS	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%	NATAL histórica
JAN	217,1474	169,5115	173,5684258	164,4849	176,5823	157,5183	162,4510	167,3032
FEV	269,2898	208,4599	210,5771	202,9172	215,7699	184,2345	196,6076	202,3491
MAR	401,6126	321,5179	316,0562	300,3965	305,0885	275,0604	291,8078	303,4148
ABR	412,6696	336,2896	334,0124	295,7370	316,3761	282,9262	307,0110	314,3873
MAI	456,4687	371,4206	370,9868	334,8967	346,0950	312,8050	337,4239	346,3995
JUN	634	542,8643	545,6965	506,1262	504,9124	457,4552	494,8000	507,6466
JUL	576,2401	471,9970	478,2719	465,5245	436,9390	399,0751	431,7042	442,0088
AGO	236,6661	187,4623	185,4328	192,9753	172,9926	161,5442	167,9505	177,3701
SET	101,7911	77,8122	79,4990	72,9861	79,5858	68,6939	72,9754	76,0373
OUT	46,3151	36,9847	37,5769	42,1211	39,7924	36,7585	35,5843	36,7797
NOV	53,8331	43,2453	43,7954	43,5443	46,3116	42,5994	41,2580	42,9189
DEZ	68,5941	56,5452	57,5617	57,1871	59,5326	52,5822	53,4296	54,8246

VA- RIÃ- CIAS	ACARI m+30 % & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m- 30% & v+10%	ACARI m- 30% & v- 10%	ACARI m- 20% & v+0%	ACARI histórica
JAN	467,41 90	415,2509	354,7215	342,0790	420,3159	383,2108	376,0709	362,1652
FEV	338,65 20	278,2548	249,3583	251,2632	298,9419	245,3443	250,2211	262,6681
MAR	396,27 33	309,8231	305,1609	294,3838	287,9779	257,2012	290,6647	296,7091
ABR	394,78 31	318,5821	311,8734	283,2927	328,4924	286,8142	299,3300	306,3048
MAI	238,42 73	193,3306	186,4093 328	181,5968	190,7294	183,6422	182,9568	185,6446
JUN	268,60 96873	214,6220	211,2484	236,8061	232,6703	196,9604	172,1133	209,7583
JUL	161,58 34	134,2582	129,3343 608	132,8068	146,2731	126,7333 351	107,1242 58	129,6622 845
AGO	49,079 5	58,9673	49,4664	47,7839	57,1951	53,4600	43,9177	49,8942
SET	74,632 9	72,4689	102,4598	65,8165	126,2640	96,9241	71,9297	86,0284
OUT	749,23 87	976,7275	897,9297	1.099,84 58	1.106,24 11	926,3279	707,0358	858,4249
NOV	79,767 2	89,1927	88,3013	90,9203	112,0543	89,3200	73,7600	84,0273
DEZ	177,30 37	181,5820	160,7827	191,4242	188,7193	162,8940	137,8567	163,4597

VA- RIÂ- CIAS	POR- TALE- GRE m+30 % & v+30%	PORTA- LEGRE m+30% & v+10%	PORTA- LEGRE m+20% & v+0%	PORTA- LEGRE m+0% & v+0%	PORTA- LEGRE m- 30% & v+10%	PORTA- LEGRE m- 30% & v- 10%	PORTA- LEGRE m- 20% & v+0%	PORTA- LEGRE histórica
JAN	415,32 32	325,8433	325,5795	315,1004	339,8657	299,0217	311,2124	318,0659
FEV	292,63 17	235,1868	230,7959	222,7700	236,5006	202,4176	218,0932	225,0475
MAR	301,21 54	244,4005	235,4874	227,8329	235,3390	208,5569	222,8121	228,5019
ABR	327,75 07	265,0468	251,8996	229,1478	250,4057	225,2669	240,3685	246,2507
MAI	278,59 42	215,4438	217,2297	213,3227	219,7417	192,5058	204,5316	207,9593
JUN	146,07 94	120,2737	120,5697	125,5690	124,0918	112,5026	111,2732	115,9886
JUL	74,723 6	60,3333	58,0568	56,0948	59,6459	56,7403	54,2796	57,7324
AGO	221,21 67	234,6351	221,2223	261,4273	245,3827	226,1452	156,4291	227,5523
SET	19,221 5	19,6850	18,1464	16,3761	20,3510	18,9378	14,2193	18,1583
OUT	186,40 21	266,7520	221,8969	272,7161	244,7083	265,2842	169,3055	223,7911
NOV	79,018 8	82,5800	76,3503	71,1478	83,7160	80,8244	54,6705	76,4088
DEZ	327,89 40	261,3975	258,0685	300,1901	277,6534	239,2626	189,7077	255,4886

VA- RIÃ- CIAS	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30 % & v+30%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 30% & v- 10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m- 20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI histórica
JAN	260,56 46	210,9119	211,2216	193,0548	208,4547	197,4335	179,9749	201,7145
FEV	254,93 06	202,9067	202,1337	198,2596	209,4578	199,5405	189,9629	198,2993
MAR	177,00 65	141,1258	138,1498	136,8113	146,3335	126,2367	132,0181	135,5077
ABR	247,31 86	196,1656	190,4786	194,0915	201,6793	170,9533	183,0007	188,5272
MAI	133,05 83	104,8613	103,8538	101,2706	109,1857	95,9596	99,6158	101,9657
JUN	110,35 61	88,0998	86,0522	88,7457	91,5746	77,3152	81,5702	84,5309
JUL	143,88 19	112,8831	112,7804	103,9565	117,3479	102,6722	106,8925	109,6495
AGO	132,49 29	104,4480	103,2979	116,6007	107,0788	103,8959	99,5656	102,9745
SET	77,751 8	60,5610	61,1253	61,3332	65,0804	54,3603	52,7198	58,4650
OUT	14,493 7	15,0252	13,6897	13,8770	15,0785	15,1679	10,3018	13,7267
NOV	32,601 5	31,7180	30,6105	31,6630	32,6400	31,6171	23,7115	29,7939
DEZ	57,192 4	48,4196	45,9330	39,7050	52,0731	44,9500	37,6787	46,1674

**APÊNDICE 9 – Erros calculados entre as variâncias de entrada e as variâncias obtidas.**

ERROS VA- RIÂNCIAS	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%
JAN	0,16%	7,89%	-3,74%	1,68%	4,05%	-4,61%	2,90%
FEV	-2,37%	6,35%	-4,07%	-0,28%	3,06%	-1,16%	2,84%
MAR	-1,82%	3,67%	-4,17%	0,99%	8,59%	-0,73%	3,83%
ABR	-0,97%	2,76%	-6,24%	5,93%	8,52%	0,01%	2,35%
MAI	-1,37%	2,52%	-7,10%	3,32%	9,17%	-0,34%	2,59%
JUN	3,98%	2,78%	-7,50%	0,30%	9,58%	-0,13%	2,53%
JUL	-0,28%	2,92%	-8,20%	-5,32%	10,13%	-0,32%	2,33%
AGO	-2,64%	3,92%	-4,55%	-8,80%	11,33%	-1,20%	5,31%
SET	-2,98%	6,97%	-4,55%	4,01%	4,85%	-0,38%	4,03%
OUT	3,13%	8,58%	-2,17%	-14,52%	1,64%	-11,05%	3,25%
NOV	3,52%	8,40%	-2,04%	-1,46%	1,90%	-10,28%	3,87%
DEZ	3,76%	6,24%	-4,99%	-4,31%	1,28%	-6,57%	2,54%

ERROS VA- RIÂNCIAS	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m-30% & v+10%	ACARI m-30% & v-10%	ACARI m-20% & v+0%
JAN	0,72%	-4,23%	2,06%	5,55%	-5,51%	-17,57%	-3,84%
FEV	0,82%	3,70%	5,07%	4,34%	-3,46%	-3,78%	4,74%
MAR	-2,74%	5,07%	-2,85%	0,78%	11,77%	3,68%	2,04%
ABR	0,86%	5,45%	-1,82%	7,51%	2,51%	-4,04%	2,28%
MAI	1,21%	5,33%	-0,41%	2,18%	6,60%	-9,91%	1,45%
JUN	1,49%	6,98%	-0,71%	-12,89%	-0,84%	-4,33%	17,95%
JUL	4,14%	5,87%	0,25%	-2,43%	-2,56%	-8,60%	17,38%
AGO	24,33%	-7,44%	0,86%	4,23%	-4,21%	-19,05%	11,98%
SET	33,27%	23,42%	-19,10%	23,49%	-33,43%	-25,18%	16,39%
OUT	32,86%	-3,44%	-4,60%	-28,12%	-17,15%	-19,90%	17,64%
NOV	26,98%	3,50%	-5,09%	-8,20%	-21,23%	-18,11%	12,22%
DEZ	16,56%	-0,99%	1,64%	-17,11%	-4,96%	-10,73%	15,66%

ERROS VARIÂNCIAS	PORTALEGRE m+30% & v+30%	PORTALEGRE m+30% & v+10%	PORTALEGRE m+20% & v+0%	PORTALEGRE m+0% & v+0%	PORTALEGRE m-30% & v+10%	PORTALEGRE m-30% & v-10%	PORTALEGRE m-20% & v+0%
JAN	-0,44%	6,87%	-2,36%	0,93%	2,86%	-4,46%	2,15%
FEV	-0,02%	5,00%	-2,55%	1,01%	4,46%	0,06%	3,09%
MAR	-1,40%	2,77%	-3,06%	0,29%	6,37%	-1,41%	2,49%
ABR	-2,38%	2,15%	-2,29%	6,95%	7,56%	-1,64%	2,39%
MAI	-3,05%	5,82%	-4,46%	-2,58%	3,94%	-2,85%	1,65%
JUN	3,12%	5,73%	-3,95%	-8,26%	2,74%	-7,77%	4,07%
JUL	0,44%	5,00%	-0,56%	2,84%	6,08%	-9,20%	5,98%
AGO	25,22%	6,26%	2,78%	-14,89%	1,97%	-10,42%	31,26%
SET	18,57%	1,45%	0,07%	9,82%	-1,89%	-15,88%	21,69%
OUT	35,93%	-8,36%	0,85%	-21,86%	0,59%	-31,71%	24,35%
NOV	20,45%	1,75%	0,08%	6,89%	0,40%	-17,53%	28,45%
DEZ	1,28%	6,99%	-1,01%	-17,50%	1,20%	-4,05%	25,75%

ERROS VARIÂNCIAS	SAO PAULO DO POTENGI m+30% & v+30%	SAO PAULO DO POTENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO POTENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO POTENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO POTENGI m-30% & v+10%	SAO PAULO DO POTENGI m-30% & v-10%	SAO PAULO DO POTENGI m-20% & v+0%
JAN	0,63%	4,95%	-4,71%	4,29%	6,05%	-8,75%	10,78%
FEV	1,11%	6,98%	-1,93%	0,02%	3,98%	-11,81%	4,20%
MAR	-0,48%	5,32%	-1,95%	-0,96%	1,83%	-3,51%	2,58%
ABR	-0,91%	5,41%	-1,04%	-2,95%	2,75%	-0,75%	2,93%
MAI	-0,38%	6,51%	-1,85%	0,68%	2,65%	-4,57%	2,30%
JUN	-0,42%	5,25%	-1,80%	-4,99%	1,52%	-1,63%	3,50%
JUL	-0,94%	6,41%	-2,86%	5,19%	2,71%	-4,04%	2,51%
AGO	1,03%	7,79%	-0,31%	-13,23%	5,47%	-12,11%	3,31%
SET	-2,30%	5,83%	-4,55%	-4,91%	-1,20%	-3,31%	9,83%
OUT	18,78%	0,49%	0,27%	-1,09%	0,14%	-22,78%	24,95%
NOV	15,83%	3,22%	-2,74%	-6,27%	0,41%	-17,91%	20,41%
DEZ	4,71%	4,66%	0,51%	14,00%	-2,54%	-8,18%	18,39%

**APÊNDICE 10 – Comparação entre as variâncias obtidas e a variância histórica.**

VARIÂNCIA OBTIDA/ VARIÂNCIA HISTÓRICA	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%
JAN	29,79%	1,32%	3,74%	-1,68%	5,55%	-5,85%	-2,90%
FEV	33,08%	3,02%	4,07%	0,28%	6,63%	-8,95%	-2,84%
MAR	32,36%	5,97%	4,17%	-0,99%	0,55%	-9,35%	-3,83%
ABR	31,26%	6,97%	6,24%	-5,93%	0,63%	-10,01%	-2,35%
MAI	31,78%	7,22%	7,10%	-3,32%	-0,09%	-9,70%	-2,59%
JUN	24,82%	6,94%	7,50%	-0,30%	-0,54%	-9,89%	-2,53%
JUL	30,37%	6,78%	8,20%	5,32%	-1,15%	-9,71%	-2,33%
AGO	33,43%	5,69%	4,55%	8,80%	-2,47%	-8,92%	-5,31%
SET	33,87%	2,33%	4,55%	-4,01%	4,67%	-9,66%	-4,03%
OUT	25,93%	0,56%	2,17%	14,52%	8,19%	-0,06%	-3,25%
NOV	25,43%	0,76%	2,04%	1,46%	7,90%	-0,74%	-3,87%
DEZ	25,12%	3,14%	4,99%	4,31%	8,59%	-4,09%	-2,54%
<b>MÉDIA</b>	<b>29,77%</b>	<b>4,22%</b>	<b>4,94%</b>	<b>1,54%</b>	<b>3,21%</b>	<b>-7,24%</b>	<b>-3,20%</b>

VARIÂNCIA OBTIDA/ VARIÂNCIA HISTÓRICA	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m-30% & v+10%	ACARI m-30% & v-10%	ACARI m-20% & v+0%
JAN	29,06%	14,66%	-2,06%	-5,55%	16,06%	5,81%	3,84%
FEV	28,93%	5,93%	-5,07%	-4,34%	13,81%	-6,60%	-4,74%
MAR	33,56%	4,42%	2,85%	-0,78%	-2,94%	-13,32%	-2,04%
ABR	28,89%	4,01%	1,82%	-7,51%	7,24%	-6,36%	-2,28%
MAI	28,43%	4,14%	0,41%	-2,18%	2,74%	-1,08%	-1,45%
JUN	28,06%	2,32%	0,71%	12,89%	10,92%	-6,10%	-17,95%
JUL	24,62%	3,54%	-0,25%	2,43%	12,81%	-2,26%	-17,38%
AGO	-1,63%	18,18%	-0,86%	-4,23%	14,63%	7,15%	-11,98%
SET	-13,25%	-15,76%	19,10%	-23,49%	46,77%	12,67%	-16,39%
OUT	-12,72%	13,78%	4,60%	28,12%	28,87%	7,91%	-17,64%
NOV	-5,07%	6,15%	5,09%	8,20%	33,35%	6,30%	-12,22%
DEZ	8,47%	11,09%	-1,64%	17,11%	15,45%	-0,35%	-15,66%
<b>MÉDIA</b>	<b>14,78%</b>	<b>6,04%</b>	<b>2,06%</b>	<b>1,72%</b>	<b>16,64%</b>	<b>0,31%</b>	<b>-9,66%</b>

VARIÂNCIA OBTIDA/ VARIÂNCIA HISTÓRICA	PORTA- LEGRE m+30% & v+30%	PORTA- LEGRE m+30% & v+10%	PORTA- LEGRE m+20% & v+0%	PORTA- LEGRE m+0% & v+0%	PORTA- LEGRE m- 30% & v+10%	PORTA- LEGRE m- 30% & v- 10%	PORTA- LEGRE m- 20% & v+0%
JAN	30,58%	2,45%	2,36%	-0,93%	6,85%	-5,99%	-2,15%
FEV	30,03%	4,51%	2,55%	-1,01%	5,09%	-10,06%	-3,09%
MAR	31,82%	6,96%	3,06%	-0,29%	2,99%	-8,73%	-2,49%
ABR	33,10%	7,63%	2,29%	-6,95%	1,69%	-8,52%	-2,39%
MAI	33,97%	3,60%	4,46%	2,58%	5,67%	-7,43%	-1,65%
JUN	25,94%	3,69%	3,95%	8,26%	6,99%	-3,01%	-4,07%
JUL	29,43%	4,50%	0,56%	-2,84%	3,31%	-1,72%	-5,98%
AGO	-2,78%	3,11%	-2,78%	14,89%	7,84%	-0,62%	-31,26%
SET	5,85%	8,41%	-0,07%	-9,82%	12,08%	4,29%	-21,69%
OUT	-16,71%	19,20%	-0,85%	21,86%	9,35%	18,54%	-24,35%
NOV	3,42%	8,08%	-0,08%	-6,89%	9,56%	5,78%	-28,45%
DEZ	28,34%	2,31%	1,01%	17,50%	8,68%	-6,35%	-25,75%
<b>MÉDIA</b>	<b>19,42%</b>	<b>6,20%</b>	<b>1,37%</b>	<b>3,03%</b>	<b>6,67%</b>	<b>-1,98%</b>	<b>-12,78%</b>

VARIÂNCIA OBTIDA/ VARIÂNCIA HISTÓRICA	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+30%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+20% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m+0% & v+0%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-30% & v+10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-30% & v-10%	SAO PAULO DO PO- TENGI m-20% & v+0%
JAN	29,17%	4,56%	4,71%	-4,29%	3,34%	-2,12%	-10,78%
FEV	28,56%	2,32%	1,93%	-0,02%	5,63%	0,63%	-4,20%
MAR	30,62%	4,15%	1,95%	0,96%	7,99%	-6,84%	-2,58%
ABR	31,18%	4,05%	1,04%	2,95%	6,98%	-9,32%	-2,93%
MAI	30,49%	2,84%	1,85%	-0,68%	7,08%	-5,89%	-2,30%
JUN	30,55%	4,22%	1,80%	4,99%	8,33%	-8,54%	-3,50%
JUL	31,22%	2,95%	2,86%	-5,19%	7,02%	-6,36%	-2,51%
AGO	28,67%	1,43%	0,31%	13,23%	3,99%	0,89%	-3,31%
SET	32,99%	3,58%	4,55%	4,91%	11,32%	-7,02%	-9,83%
OUT	5,59%	9,46%	-0,27%	1,09%	9,85%	10,50%	-24,95%
NOV	9,42%	6,46%	2,74%	6,27%	9,55%	6,12%	-20,41%
DEZ	23,88%	4,88%	-0,51%	-14,00%	12,79%	-2,64%	-18,39%
<b>MÉDIA</b>	<b>26,03%</b>	<b>4,24%</b>	<b>1,91%</b>	<b>0,85%</b>	<b>7,82%</b>	<b>-2,55%</b>	<b>-8,81%</b>

## APÊNDICE 11 – Eficiências calculadas para as quatro cidades e sete cenários

Demanda (L/dia)	Área de captação (m2)	Capacidade cisterna (m3)	pi (adimensional)	NATAL m+30% & v+30%	NATAL m+30% & v+10%	NATAL m+20% & v+0%	NATAL m+0% & v+0%	NATAL m-30% & v+10%	NATAL m-30% & v-10%	NATAL m-20% & v+0%	NATAL histórica
100	50	10	0,232079442	99,23044831	99,35640999	99,12313686	97,28317477	88,852573	90,40144295	93,08398522	90,5835469
100	100	10	0,464158883	99,93990488	99,98072569	99,96913459	99,77491246	97,24373962	97,73517413	98,87477546	97,23770792
100	150	10	0,696238325	99,97416806	99,99666473	99,99780972	99,94369645	98,94104628	99,0230117	99,63891553	98,83643255
100	50	15	0,348119163	99,98663521	99,98687846	99,99340098	99,95910314	97,2003755	98,12052495	99,36142186	98,09284348
100	100	15	0,696238325	99,9913388	99,99239182	99,99780972	99,99189346	99,95109875	99,85441324	99,99453838	99,83118935
100	150	15	1,044357488	99,99193633	99,99666473	99,99780972	99,99373299	99,97621528	99,95417127	99,99734984	99,89065674
100	50	20	0,464158883	99,98663521	99,98687846	99,99340098	99,98554289	99,05605034	99,42867513	99,83890936	99,37599415
100	100	20	0,928317767	99,9913388	99,99239182	99,99780972	99,99189346	99,97741348	99,95047021	99,99732061	99,90648274
100	150	20	1,39247665	99,99193633	99,99666473	99,99780972	99,99373299	99,97761919	99,9804033	99,99734984	99,90768167
150	50	10	0,118073174	88,64323354	88,74427927	87,79005154	83,10486359	70,54298629	72,22802869	76,40012046	75,04623075
150	100	10	0,236146349	96,90754259	97,37884432	96,74618605	93,76656463	85,29401934	86,67386925	89,20014189	86,64760191
150	150	10	0,354219523	98,83936753	99,19364238	98,89169902	97,35851333	90,8669295	92,05604042	93,96907101	91,28015664
150	50	15	0,177109762	96,65902084	96,80209397	96,10965102	91,96725673	76,00991384	77,82606917	83,64057407	82,36931102
150	100	15	0,354219523	99,77312886	99,82403661	99,76154134	98,98876713	93,46880518	94,6606929	96,49956868	93,85649701
150	150	15	0,531329285	99,93990488	99,98072569	99,96913459	99,77491246	97,24373962	97,73517413	98,87477546	97,23770792
150	50	20	0,236146349	99,77064762	99,794835	99,73070243	98,08374677	79,057467	81,3127734	88,73685973	88,04052895
150	100	20	0,472292697	99,98882706	99,98924085	99,99685954	99,95163329	98,53586076	98,83354772	99,61117299	98,50299465
150	150	20	0,708439046	99,9913388	99,99239182	99,99780972	99,98975913	99,74684278	99,62310561	99,93597652	99,60757437
200	50	10	0,073100443	79,17350348	79,16887457	78,05504692	72,79742991	57,37558498	58,94972233	64,15878466	64,21741113
200	100	10	0,146200887	90,27127101	90,52159069	89,59280412	85,38786983	75,85378074	77,35629096	80,1107641	78,05952266
200	150	10	0,21930133	94,82470721	95,41415375	94,50244606	91,18811125	82,60869907	83,94587879	86,42630975	83,90302211
200	50	15	0,109650665	85,98985544	85,97528473	84,8214788	78,95528486	59,71163519	61,4909483	67,91865922	69,17972918
200	100	15	0,21930133	96,04848862	96,34948265	95,67312722	92,03041588	82,56687388	84,05529942	86,87292382	84,67524459
200	150	15	0,328951996	98,64577589	98,97470966	98,59416769	96,59842532	89,18352006	90,55735208	92,76119763	90,03427619
200	50	20	0,146200887	92,5617244	92,52271573	91,26869131	83,90626747	60,7934181	62,69257608	69,97846914	73,45187507
200	100	20	0,292401774	99,23044831	99,35640999	99,12313686	97,28317477	88,852573	90,40144295	93,08398522	90,5835469
200	150	20	0,438602661	99,8583808	99,90113367	99,86092641	99,35466453	94,82462448	95,82303806	97,41230676	95,08503363

Demanda (L/dia)	Área de captação (m2)	Capacidade cisterna (m3)	pi (adimensional)	ACARI m+30% & v+30%	ACARI m+30% & v+10%	ACARI m+20% & v+0%	ACARI m+0% & v+0%	ACARI m-30% & v+10%	ACARI m-30% & v-10%	ACARI m-20% & v+0%	ACARI histórica
100	50	10	0,232079442	70,24314467	71,25698461	68,25543366	60,85237737	44,39839031	44,86746304	49,42941851	53,17723491
100	100	10	0,464158883	82,10651813	82,96933893	81,95984671	77,69847617	67,32557111	68,19456842	70,73810003	67,30266497
100	150	10	0,696238325	86,42952807	87,1749768	86,61551464	82,70949967	74,40979389	74,94659967	76,99842445	71,94032713
100	50	15	0,348119163	78,48310547	79,44268966	75,08377724	64,11504158	45,33978902	45,45285674	50,63389475	57,93349549
100	100	15	0,696238325	93,66281924	94,56733814	93,68415027	89,68436662	76,26867802	77,58682251	81,46806692	78,47790468
100	150	15	1,044357488	96,27873752	96,97504791	96,5813533	93,99787537	86,13313436	87,10210118	89,0053203	84,33756345
100	50	20	0,464158883	82,61063233	83,13065932	77,83436123	64,7909615	45,47969082	45,5177841	50,77405017	60,50585871
100	100	20	0,928317767	99,15916394	99,53102899	99,08568329	97,20351831	81,95451201	83,52832138	88,37441726	86,71934574
100	150	20	1,39247665	99,72425174	99,87434313	99,7899536	99,25381439	93,97446054	95,4503032	96,6414724	92,58530739
150	50	10	0,118073174	52,37465215	53,04307028	49,98402877	42,59678886	30,11758102	30,24426972	33,64776463	38,58696654
150	100	10	0,236146349	67,44302891	68,4281439	66,75526647	62,13726172	50,85466391	51,52717183	54,47121188	53,1106881
150	150	10	0,354219523	73,11282431	73,87799937	72,90582216	68,58568757	59,56298954	60,12520581	62,23375076	58,69745723
150	50	15	0,177109762	55,55084609	55,77749989	52,06741836	43,23014429	30,31957959	30,34646706	33,85411777	40,55055932
150	100	15	0,354219523	76,2655527	77,41331351	75,39481383	70,03629163	55,39841633	56,17397704	60,28546381	60,30463433
150	150	15	0,531329285	82,10651813	82,96933893	81,95984671	77,69847617	67,32557111	68,19456842	70,73810003	67,30266497
150	50	20	0,236146349	56,65957845	56,60128811	52,5987389	43,31191298	30,33545514	30,36856159	33,88865569	41,04426114
150	100	20	0,472292697	84,33938837	85,64027646	83,09420312	76,33106561	57,98324334	58,71751391	63,91261568	66,1715642
150	150	20	0,708439046	90,22933257	91,117675	90,1898393	86,01701797	73,67597661	74,84656103	78,22261075	75,05887855
200	50	10	0,073100443	41,30732699	41,57258238	38,78831346	32,34118564	22,70052929	22,73769442	25,36867517	30,13637549
200	100	10	0,146200887	58,16720054	59,06766572	57,09867807	52,24133975	40,71816119	41,18221201	44,40976345	44,62007191
200	150	10	0,21930133	64,53866855	65,43153004	63,97502335	59,66220313	49,99925785	50,70277735	52,96260582	50,70237944
200	50	15	0,109650665	42,43886555	42,39684735	39,4261607	32,49056576	22,75147674	22,77577291	25,41837751	30,69508954
200	100	15	0,21930133	64,55078102	65,55085912	63,15375166	57,29336069	43,21297218	43,69859463	47,71758017	49,61319092
200	150	15	0,328951996	71,52224141	72,48355106	70,97251196	66,42176667	55,37803406	56,09843565	58,95156174	57,02083686
200	50	20	0,146200887	42,71854448	42,63652889	39,54333478	32,50622591	22,75159136	22,7764212	25,43305576	30,78319585
200	100	20	0,292401774	70,24314467	71,25698461	68,25543366	60,85237737	44,39839031	44,86746304	49,42941851	53,17723491
200	150	20	0,438602661	78,19041239	79,25502458	77,5748236	72,72661368	59,46786472	60,2687737	63,94974874	62,54902355

Demanda (L/dia)	Área de captação (m2)	Capacidade cisterna (m3)	pi (adimensional)	SAO P. DO POT. m+30% & v+30%	SAO P. DO POT. m+30% & v+10%	SAO P. DO POT. m+20% & v+0%	SAO P. DO POT. m+0% & v+0%	SAO P. DO POT. m-30% & v+10%	SAO P. DO POT. m-30% & v-10%	SAO P. DO POT. m-20% & v+0%	SAO P. DO POT. historica
100	50	10	0,232079442	79,12792551	80,43082467	76,31787345	64,94599919	45,96568919	46,44938371	51,31917481	57,859684
100	100	10	0,464158883	93,11201842	94,1983732	92,66354633	88,70311341	76,62904038	78,00256643	81,5927485	79,30090061
100	150	10	0,696238325	96,38761482	97,01076103	96,09288552	93,26561623	86,00088562	86,98999292	88,6836631	86,82943239
100	50	15	0,348119163	84,04222004	84,85039892	79,5975338	65,75800025	46,13546261	46,56990198	51,38218498	61,05328879
100	100	15	0,696238325	99,35794636	99,66501679	99,4396251	97,64383807	83,55075917	85,06934414	90,37570466	87,90853872
100	150	15	1,044357488	99,81205741	99,88393906	99,85555332	99,40773245	95,30351486	99,0331041	97,70533253	96,07867105
100	50	20	0,464158883	85,50381588	85,9699929	80,48523979	65,83090001	46,15752295	46,59728048	51,38475797	62,31204414
100	100	20	0,928317767	99,9752834	99,98605415	99,99418699	99,64981308	86,84255492	88,32011793	94,29583616	92,64997604
100	150	20	1,39247665	99,99233402	99,98784234	99,99780972	99,99780972	98,54379736	98,9792137	99,75083467	98,99792539
150	50	10	0,118073174	56,69723363	57,07182277	53,40754987	43,83691694	30,75470767	31,05303697	34,25523225	41,29547021
150	100	10	0,236146349	79,01422789	80,31761327	78,20219219	72,57283198	56,74712502	57,99912193	62,49644499	62,09623688
150	150	10	0,354219523	84,69746774	86,05913091	84,23928755	79,91213509	69,53086102	70,90636093	73,46850485	71,59808356
150	50	15	0,177109762	57,26980566	57,55050687	53,75852216	43,88422059	30,77168197	31,07470992	34,25650531	41,80814974
150	100	15	0,354219523	87,58737442	88,91681356	86,46695267	79,36571321	59,61028114	60,54638062	66,19803232	67,60868142
150	150	15	0,531329285	93,11201842	94,1983732	92,66354633	88,70311341	76,62904038	78,00256643	81,5927485	79,30090061
150	50	20	0,236146349	57,3189894	57,56738875	53,79415459	43,89241897	30,77168197	31,09296226	34,25650531	41,87654774
150	100	20	0,472292697	94,34044044	95,41007116	92,76983029	83,67982925	60,78168421	61,49989015	67,86646243	71,9010781
150	150	20	0,708439046	98,34419867	98,86985819	98,27818396	95,5483383	81,76121485	83,26734637	88,03000421	85,57284618
200	50	10	0,073100443	42,93169809	43,15045164	40,29852319	32,90597064	23,07876147	23,31330469	25,69237898	31,3892304
200	100	10	0,146200887	69,04826401	70,15536432	67,4901317	60,3882776	44,40832916	45,22386971	49,41826427	51,59398733
200	150	10	0,21930133	76,3096395	77,609112	75,69346676	70,78395096	57,9729671	59,36175948	62,78184009	61,54964992
200	50	15	0,109650665	42,99666202	43,17554156	40,34561594	32,91931423	23,07876147	23,32711389	25,69237898	31,4074108
200	100	15	0,21930133	74,72268267	75,93967407	72,67751639	63,56581206	45,59999254	46,15398637	50,93480027	55,1533057
200	150	15	0,328951996	83,08661512	84,41000625	82,46815003	77,29126927	62,26424095	63,65860183	68,0311467	66,81354508
200	50	20	0,146200887	43,00222007	43,17554156	40,34561594	32,91931423	23,07876147	23,33703503	25,69237898	31,4074108
200	100	20	0,292401774	79,12792551	80,43082467	76,31787345	64,94599919	45,96568919	46,44938371	51,31917481	57,859684
200	150	20	0,438602661	89,60578842	90,86685944	88,93533012	83,17128682	65,10111102	66,39517347	71,74815118	71,22431375

Demanda (L/dia)	Área de captação (m2)	Capacidade cisterna (m3)	pi (adimensional)	PORTALEGRE m+30% & v+30%	PORTALEGRE m+30% & v+10%	PORTALEGRE m+20% & v+0%	PORTALEGRE m+0% & v+0%	PORTALEGRE m-30% & v+10%	PORTALEGRE m-30% & v-10%	PORTALEGRE m-20% & v+0%	PORTALEGRE historica
100	50	10	0,232079442	81,81654701	82,75622669	81,29772629	77,6820465	63,08052782	67,24989442	70,76548692	69,54763798
100	100	10	0,464158883	89,39284043	90,45428164	88,96524444	86,27778431	78,32293136	79,54010455	81,23638151	78,18922497
100	150	10	0,696238325	92,45977821	93,34420456	92,09863164	89,91188896	83,08857698	83,58511266	85,30301465	81,75167962
100	50	15	0,348119163	94,62004209	95,34531165	94,01182004	89,84992854	67,04154642	73,24976345	79,16252184	80,46296909
100	100	15	0,696238325	98,55260651	98,91071492	98,52270757	97,24205465	90,80096805	92,16157689	93,75649254	89,35293589
100	150	15	1,044357488	99,31210154	99,49431685	99,28721329	98,55498021	94,53298731	95,09259409	96,25592032	92,11246387
100	50	20	0,464158883	99,77000231	99,90140433	99,58980503	96,63586335	68,26911714	75,38584516	83,06954209	86,88679054
100	100	20	0,928317767	99,96579883	99,99585594	99,99422317	99,97219987	97,88900659	98,92957432	99,44609946	96,54032329
100	150	20	1,39247665	99,98457072	99,99780972	99,99681046	99,99499799	99,46059802	99,68745309	99,81399275	97,99996247
150	50	10	0,118073174	66,97497326	67,82348682	66,27010417	61,78775954	44,52264035	48,96283913	53,05205941	54,29273819
150	100	10	0,236146349	76,240149	77,20784357	75,73500898	72,56272309	63,44660508	65,42587888	67,17236408	64,96208771
150	150	10	0,354219523	80,54916307	81,71586141	80,08879122	77,27540114	69,26135628	70,43803467	72,16735837	69,39017831
150	50	15	0,177109762	75,74373618	76,61901416	74,71475126	67,95733186	45,54555413	50,4081063	55,68184039	59,98314468
150	100	15	0,354219523	85,32450845	86,27381781	84,78395838	81,66573839	71,81510297	74,13026903	76,13605695	73,59474919
150	150	15	0,531329285	89,39284043	90,45428163	88,96524444	86,27778431	78,32293136	79,54010455	81,23638151	78,18922497
150	50	20	0,236146349	83,36149499	84,26484475	81,53247029	71,00816496	45,73707538	50,70327626	56,50665927	63,51018117
150	100	20	0,472229697	93,71634566	94,48514952	93,27444129	90,39051626	78,52000454	81,77251966	84,68155741	81,90529355
150	150	20	0,708439046	96,53021689	97,07562708	96,32083038	94,30028928	86,97025044	88,26089899	89,93409631	86,07049772
200	50	10	0,073100443	57,74865548	58,43052967	56,73080124	51,07496499	34,02931523	37,73165537	41,59767105	44,63757855
200	100	10	0,146200887	68,12963444	69,07215285	67,63302087	64,13668764	53,82118373	56,54201996	58,52179849	56,73919862
200	150	10	0,21930133	73,01851396	74,02191871	72,49339304	69,41924693	60,73135913	62,40237323	64,13713858	61,80262933
200	50	15	0,109650665	63,46791704	64,17760174	61,84396375	53,39961383	34,29970143	38,03373362	42,35871882	47,69750517
200	100	15	0,21930133	74,97714295	75,91883324	74,47996677	70,9641581	59,24337952	62,51842348	64,97954217	63,21369473
200	150	15	0,328951996	79,85367827	80,87184503	79,33806806	76,28926335	67,52668453	69,30266236	70,9840886	68,53116496
200	50	20	0,146200887	67,54706031	68,16393785	64,96609467	54,15518747	34,33050501	38,08652399	42,47458628	49,241581
200	100	20	0,292401774	81,81654701	82,75622669	81,29772629	77,6820465	63,08052782	67,24989442	70,76548692	69,54763798
200	150	20	0,438602661	86,60756779	87,63037818	86,0840031	83,10917275	74,07238876	76,03188412	77,77572545	75,03920882

