



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE EXTRAVASAMENTO EM
RESERVATÓRIOS DOMICILIARES PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E
PARÂMETROS PLUVIOMÉTRICOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

ENRICO TAGLIETTI SALES

JOÃO PESSOA, PB

JUNHO, 2016

ENRICO TAGLIETTI SALES

**RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE EXTRAVASAMENTO EM
RESERVATÓRIOS DOMICILIARES PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E
PARÂMETROS PLUVIOMÉTRICOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Civil, da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gílson Barbosa Athayde Júnior

JOÃO PESSOA, PB

JUNHO, 2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

ENRICO TAGLIETTI SALES

**RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE EXTRAVASAMENTO EM
RESERVATÓRIOS DOMICILIARES PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE
CHUVA E
PARÂMETROS PLUVIOMÉTRICOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/06/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Orientador: Prof. Gílson Barbosa Athayde Junior

Examinador: Prof. Leonardo Vieira Soares

Examinador: Prof. Hamilcar José Almeida Filgueira

Prof. Ana Claudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Dilson Sales e Giuliana Taglietti, que ao longo de toda minha vida e jornada acadêmica sempre se fizeram presente, apoiando e incentivando o meu sucesso. Vocês são a base de tudo que eu possa ser!

Aos meus irmãos, Fabricio Sales e Diego Sales, que compartilham cada conquista com alegria, reconhecimento e sempre com uma pitada de humor.

Aos meus avós, paternos e maternos (In Memoriam), que foram parte fundamental para formação de meu caráter.

Aos meus amigos que compartilharam das mesmas emoções através de etapas importantes de nossas vidas, desde o colégio aos dias de hoje.

À minha querida amada, Raissa Tavares, que incondicionalmente caminha ao meu lado por onde quer que essa vida possa nos levar, sempre torcendo pelo melhor, me encorajando e alegrando. Obrigado por tamanho companheirismo e todo amor depositados em mim. Obrigado pelo toque especial que você dá à minha vida!

A todos professores e educadores que contribuíram com meu crescimento intelectual, em especial, ao Prof. Dr. Gílson Athayde, professor e orientador extremamente capacitado. OBRIGADO.

RESUMO

A crise hídrica é um tema que vem ganhando espaço em um panorama mundial. No Brasil, problemas de secas, escassez e falta de gestão dos recursos hídricos estão ligados diretamente à urbanização descontrolada, ao crescimento da demanda, ao desperdício e à poluição dos cursos hídricos. Nesse cenário, ganha importância o estudo de alternativas como o reaproveitamento e busca por novas fontes de água, sendo a captação de água pluvial o foco deste estudo. No aproveitamento de água de chuva, o volume de armazenamento do reservatório é um dos principais pontos a ser determinado, de forma que se obtenha o maior volume de água possível. Um dos métodos de dimensionamento de reservatórios mais utilizados é o Método de Rippl e através dele se define a concepção de coeficiente de extravasamento. Este trabalho propõe analisar dados pluviométricos de alguns municípios brasileiros, afim de correlaciona-los com um coeficiente de extravasamento de reservatórios destinados ao aproveitamento de água da chuva como fonte alternativa para o uso da água. A metodologia do estudo teve a seguinte sequência: Organização dos coeficientes de extravasamento; definição de possíveis parâmetros pluviométricos; criação de gráficos correlacionando os parâmetros pluviométricos com os coeficientes de extravasamento; definição dos gráficos que apresentam melhores coeficientes de determinação (R^2). Por fim, pode-se concluir que é possível correlacionar o coeficiente de extravasamento com alguns parâmetros pluviométricos, como por exemplo: médias de precipitações mensais e diárias, intensidades de chuvas, diferença entre médias de precipitações, porcentagens de chuvas acima de determinados volumes, etc.

PALAVRAS-CHAVE: Água pluvial; Dimensionamento, Coeficiente de extravasamento, Parâmetros pluviométricos.

ABSTRACT

The water crisis is an issue that has been gaining ground around the world. In Brazil, drought problems, scarcity and lack of water resources management are directly connected to uncontrolled urbanization, demand growth, waste and pollution of water courses. Thereby, the study of alternatives such as reusing and new sources of water, gains importance and the use of rainwater is the focus of this study. In the matter of rainwater use, the storage volume of the reservoir is one of the main points to be determined in order to obtain the greatest possible volume of water. One of the reservoirs sizing methods most used is the Rippl method and through its results, define the concept of overflow coefficient. This work aims to analyze rainfall data of some counties in order to correlate them with an overflow coefficient for reservoirs intended for rainwater utilization as an alternative source for water use. The study methodology follows: Organization of overflow coefficients; defining possible precipitation parameters; Charting correlating rainfall parameters with overflow coefficients; defining graphics that show the best determination coefficients (R^2). Finally, it can be concluded that it is possible to correlate overflow coefficients with some precipitation parameters, for example: monthly and daily rainfall averages, rainfall intensity, the difference between rainfall averages, rainfall percentages above certain volumes, etc.

KEY-WORDS: Rain water; Sizing; Overflow coefficient; Rainfall parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da água no mundo.....	16
Figura 2 - Uso interno da água nas residências dos EUA	20
Figura 3 – Porcentagens dos pontos finais de consumo de água	21
Figura 4 - Confiabilidade volumétrica x Volume do reservatório: Padrão Popular - C= 0,85 - Belterra (PA)	33
Figura 5 - Confiabilidade volumétrica x Volume do reservatório: Padrão Popular - C= 0,90 - Belterra (PA)	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de recursos hídricos no Brasil.....	18
Tabela 2 - Uso final da água em residências nos EUA.....	19
Tabela 3 - Componentes básicos do sistema de aproveitamento pluvial	24
Tabela 4 - Coeficientes de runoff	25
Tabela 5 - Análise do método rippl para os dados mensais do ano de 1998 da cidade de Curitiba	29
Tabela 6 - Continuação da tabela 5	29
Tabela 7 - Análise do método rippl para os dados diários do mês 1 ano de 1998 da cidade de Curitiba e Volume de reservatório = 5m ³	31
Tabela 8 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Alto e Runoff = 0,85.....	35
Tabela 9 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Alto e Runoff = 0,90.....	35
Tabela 10 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Médio e Runoff = 0,85.....	35
Tabela 11 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Médio e Runoff = 0,90.....	36
Tabela 12 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Popular e Runoff = 0,85	36
Tabela 13 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Popular e Runoff = 0,90	36
Tabela 14 - Parâmetros pluviométricos.....	37
Tabela 15 - Valores para as intensidades de chuva.....	38
Tabela 16 - Razão entre as intensidades de chuvas e as precipitações anuais	39
Tabela 17 - Produto entre as intensidades de chuvas e as precipitações anuais.....	40
Tabela 18 - Porcentagem de dias em um ano com precipitação maior que 5, 10, 15 e 20 mm.....	41
Tabela 19 - Diferenças entre maiores e menores precipitações médias mensais	42
Tabela 20 - Produtos entre precipitação anual e mensal pelas diferenças D1 e D2 .	42
Tabela 21 - Produto entre as diferenças D1 e D2 pelas porcentagens de dias com precipitação acima de 5, 10, 15 e 20mm.....	43
Tabela 22 - CE's correlacionados com a precipitação anual.....	45
Tabela 23 - Coeficientes de determinação em ordem decrescente	60
Tabela 24 - Médias mensais de precipitação para cidade de João Pessoa – PB.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise de correlação entre o índice de precipitação anual com os CE - Cenário: Padrão Alto, runoff 0,85 e Área de captação 150 m ²	45
Gráfico 2 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm	46
Gráfico 3 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	47
Gráfico 4 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm	47
Gráfico 5 - Parâmetro: Razão entre I _{5/5} e o Índice anual de precipitação	48
Gráfico 6 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	48
Gráfico 7 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	49
Gráfico 8 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	49
Gráfico 9 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais.	50
Gráfico 10 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	50
Gráfico 11 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	51
Gráfico 12 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	51
Gráfico 13 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais	52
Gráfico 14- Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm	53
Gráfico 15 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	54
Gráfico 16 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm	54
Gráfico 17 - Parâmetro: Razão entre I _{5/5} e o Índice anual de precipitação	55

Gráfico 18 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	55
Gráfico 19 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	56
Gráfico 20 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	56
Gráfico 21 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais.	57
Gráfico 22 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	57
Gráfico 23 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	58
Gráfico 24 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2	58
Gráfico 25 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais	59

SUMÁRIO

1.	Problemática do Trabalho.....	12
2.	Justificativa	13
3.	Objetivos	15
3.1.	Objetivo Geral.....	15
3.2.	Objetivos específicos.....	15
4.	Fundamentação Teórica.....	16
4.1.	A água no planeta terra	16
4.2.	A crise dos recursos hídricos	17
4.3.	A disponibilidade e o consumo de água no Brasil.....	17
5.	Aproveitamento de água pluvial.....	22
5.1.	Qualidade da água de chuva	23
5.2.	Estrutura do sistema de captação e aproveitamento	24
5.3.	Dimensionamento do reservatório.	26
5.4.	Coeficiente de confiabilidade volumétrica para o método Rippl	27
5.5.	Estudo de Referência	27
5.5.1.	Séries de parâmetros de variabilidade escolhidos	28
5.5.2.	Cálculo dos volumes armazenados pelo método Rippl.....	28
5.5.2.1.	Volume aproveitado em base mensal (v2)	28
5.5.2.2.	Volume aproveitado em base diária (v1)	30
5.5.2.3.	Confiabilidade volumétrica	33
6.	Metodologia.....	34
6.1.	Coleta e organização dos coeficientes de extravasamento.	34
6.2.	Definição dos parâmetros pluviométricos a serem analisados	37
6.2.1.	<i>Regime pluviométrico das cidades</i>	37
6.2.2.	<i>Intensidades de chuvas</i>	38
6.2.3.	<i>Intensidades de chuvas e precipitação anual</i>	39

6.2.4. <i>Porcentagem de dias com índices de chuvas acima de 5, 10, 15 e 20mm</i>	40
6.2.5. <i>Diferença entre as Maiores e Menores médias mensais</i>	41
6.2.6. <i>Combinações entre os parâmetros anteriores</i>	42
7. Resultados e Discussão	44
7.1. Criação de gráficos correlacionando os parâmetros pluviométricos com os coeficientes de extravasamento	44
7.2. Definição dos gráficos que apresentam melhores coeficientes de determinação (R^2)	46
7.3. Discussão	52
7.4. Exemplo de aplicação	60
8. Conclusão	62
Referências	

1. Problemática do Trabalho

A crença da água ser um recurso natural inesgotável ficou para trás, ela está se esgotando devido justamente à retórica de que se imaginava que nunca iria acabar, promovendo uma cultura consumista crescente que apenas se preocupava em suprir as mais variadas necessidades. Esse abuso começou a ser levado em consideração a ser prejudicial apenas a partir de alguns anos atrás.

Sinais de alerta em relação à água surgiram em inúmeros países e não foi diferente no Brasil. Problemas de secas, escassez e falta de gestão dos recursos hídricos começaram a brotar em todo território brasileiro como, por exemplo, a crise hídrica no Estado de São Paulo. Entre os anos de 2013 e início de 2015 o Estado viveu um período de estiagem que preocupou a todos residentes. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a ocorrência dessa crise seria algo já imaginável, visto que, nos últimos 10 anos o consumo de água na região aumentou em 26% enquanto o sistema de abastecimento teve uma ampliação de apenas 9% nesse período.

Em um panorama geral, as dificuldades enfrentadas no país estão ligadas à urbanização descontrolada, ao crescimento da demanda, ao desperdício e à poluição dos cursos hídricos. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2013) as perdas no sistema de abastecimento, envolvendo as perdas de faturamento e físicas, se situam em torno de 40% no Brasil,

Neste cenário, ganha importância o estudo de alternativas como o reaproveitamento e busca por novas fontes de água. Atualmente as alternativas mais citadas são o aproveitamento de água da chuva, o reúso de águas servidas e o processo de dessalinização da água do mar. A evolução do conceito do uso racional para a conservação de água consiste na associação da gestão, não somente da demanda, mas também da oferta de água, de forma que usos menos nobres possam ser supridos, sempre que possível, por águas de qualidade inferior (SINDUSCON-SP, 2005).

O foco do presente trabalho está relacionado ao aproveitamento de águas pluviais como fonte alternativa em edificações residenciais. Essa é uma prática bastante antiga empregada em todo mundo e atualmente já é praticada no Brasil e em países como os Estados Unidos, Alemanha, Japão, etc.

2. Justificativa

É extremamente plausível a pesquisa no tema pois, as formas de combater as dificuldades encontradas na disponibilidade de água potável e de reduzir a sua demanda, vêm lentamente ganhando espaço através do uso de fontes alternativas e estratégias de uso racional deste recurso. Dentre essas formas, brevemente já citadas no tópico anterior, são mais comuns o aproveitamento de água pluvial, a instalação de equipamentos economizadores (ex: descargas econômicas em vasos sanitários), e o reuso de águas cinzas.

O consumo da água em áreas residenciais inclui os usos externos e internos à residência. No uso interno tem-se principalmente as funções de higiene e limpeza no geral, já a parte externa de seu uso é destinado normalmente à irrigação de jardins, lavagens de automóveis, piscinas, lavagens de áreas externas, entre outros. Os principais destinos da água dentro das residências são na descarga de vasos sanitários, no chuveiro de banho e em máquinas de lavar roupa. Do consumo de água nas edificações unifamiliares, 40% dele, em média, é destinado a fins não potáveis (Gonçalves, 2009).

O destaque está no fato de que a captação e armazenamento do volume de água proveniente da chuva pode diminuir o impacto decorrente na disponibilidade e redução da demanda da água potável, de forma que esta pode ser aproveitada para suprir o uso não potável, promovendo benefícios diretos na economia dos gastos associados à conta de água e indiretos relacionados a um alívio na grande demanda do sistema de abastecimento da região, resultando em melhores condições de funcionamento.

No aproveitamento pluvial, o volume de armazenamento do reservatório é um dos principais pontos a ser determinado, visto que ele deve ser dimensionado no ponto ótimo a fim de que não transborde, ou transborde uma quantidade relativamente aceitável, durante períodos chuvosos, enquanto que em períodos de estiagem não fique totalmente obsoleto e conseqüentemente oneroso.

Um dos métodos de dimensionamento do reservatório mais utilizados é o Método Rippl, cujo princípio é a regularização da vazão, implicando em um total atendimento da demanda ao longo do período. Esse método simples considera que o volume do reservatório é a soma acumulada, da diferença entre a demanda de água

de chuva e o volume de água aproveitável conforme norma brasileira ABNT NBR 15527/2007.

Neste método podem ser usadas as séries históricas mensais ou diárias, porém, devido à indisponibilidade de séries diárias em várias regiões do Brasil, é mais comum ser utilizado com séries mensais. Contudo, o uso de dados históricos mensais leva a um superdimensionamento (em relação ao uso em bases diárias) do reservatório, uma vez que se considera que a chuva é regularmente distribuída e acumulado ao longo do mês, ocultando os picos e variações de volumes de chuvas.

É diante deste contexto que surgiu a motivação deste trabalho que propõe a definição de alguns parâmetros pluviométricos, afim de correlaciona-los com um coeficiente de extravasamento de reservatórios destinados ao aproveitamento de água da chuva como fonte alternativa para o uso da água.

É importante ressaltar, que a metodologia de aplicação do aproveitamento de água da chuva considerado neste trabalho, é voltada especificamente para captação em telhados de áreas residenciais.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Analisar dados pluviométricos de alguns municípios brasileiros, afim de correlacioná-los com um coeficiente de extravasamento de reservatórios destinados ao aproveitamento de água da chuva como fonte alternativa para o uso da água.

3.2. Objetivos específicos

- Analisar o coeficiente de extravasamento em diferentes situações de localidades brasileiras, padrões socioeconômicos de residências, coeficiente de escoamento e volumes de reservatórios.
- Definir parâmetro(s) pluviométrico(s) que melhor se correlacionem com os coeficientes de extravasamento.

4. Fundamentação Teórica

4.1. A água no planeta terra

A disponibilidade de água é um assunto que ganha preocupação crescente e vem requerendo uma conscientização maior em relação ao uso deste recurso. Ela é o líquido mais importante em nosso planeta e é essencial à vida, representa 70% da superfície da Terra e compõe 70% do peso do corpo humano (Branco, 2014). Segundo o United States Geological Survey (USGS) a Terra possui aproximadamente 1,4 bilhões de quilômetros cúbicos de água, no entanto, a distribuição da mesma na biosfera terrestre se dá de forma que aproximadamente 97% é água salgada concentrada principalmente em oceanos e mares e os 3% restantes são formados por água doce, porém, deste percentual, 7% está localizada em rios e lagos, 18% em cursos subterrâneos, conforme citado por Pena (2013) e observado na Figura 1.



Figura 1 - Distribuição da água no mundo
 Fonte: Pena, 2013

Desta forma, nota-se que a problemática relacionada à água está no fato de que grande parte de seu volume não é próprio para o consumo de forma direta. No mundo, o consumo da mesma cresce a cada ano devido a atividades industriais e agrícolas, superpopulação e ao mau uso dos recursos hídricos.

Água Potável é, “A água para o consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem ao padrão de potabilidade e não oferece risco à saúde” (Ministério da Saúde, 2011). Portanto, a água potável deve estar livre de qualquer tipo de contaminação.

4.2. *A crise dos recursos hídricos*

Conforme dados do Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, 2012), a população mundial em 2011 era de 7 bilhões de habitantes, e a perspectiva é que a ocupação populacional no ano de 2050 atinja aproximadamente os 9 bilhões de habitantes. Com o crescimento da população, o consumo de água também cresce.

Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2008), na época, já 29 países se apresentavam problemas com falta de água e milhões de pessoas viviam com um consumo médio diário abaixo de 5 litros. A Organização Mundial da Saúde estipula que em 2050 cerca de 50 países apresentarão crise de abastecimento.

Diante dos fatos apresentados, nota-se que a crise de recursos hídricos é uma problemática de grande influência que gera preocupações geopolíticas, humanas, e incentiva a busca por novas alternativas e soluções para o racionamento e o combate à escassez.

4.3. *A disponibilidade e o consumo de água no Brasil*

O Brasil é conhecido por ter riqueza hídrica em relação ao mundo. Aproximadamente 13% de toda água doce disponível no planeta (ANA, informe 2014), se encontra no país, apresentando uma disponibilidade hídrica per capita bastante variada, atingindo valores mínimos de 1.835 m³/hab./ano e máximos de 628.938 m³/hab./ano, nas bacias hidrográficas do Atlântico Leste e Amazônica

respectivamente (Freitas, 1999). A desigualdade em sua distribuição é mais nítida quando analisadas as regiões e sua população. O Sudeste representa 43% da população e conta com apenas 6% da água disponível; enquanto o Norte representa 7% da população e dispõe de 68% da água do Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição de recursos hídricos no Brasil
Fonte: adaptado do IBGE e ANA (2010).

Região	Densidade demográfica (hab/km ²)	Disponibilidade Hídrica (%)
Norte	4,12	68,5 %
Nordeste	34,15	3,3 %
Centro-Oeste	8,75	15,7 %
Sudeste	86,92	6 %
Sul	48,58	6,5 %

Logo, somando-se às suas dimensões geográficas e diversidades climáticas, o desmatamento, a falta de políticas efetivas e a poluição dos rios, tem-se como resultado o problema de escassez em algumas regiões do nosso país. Em consequência disso tudo, quase um quinto dos brasileiros não têm acesso a serviços de água tratada (Trata Brasil, 2014).

Diante do panorama apresentado, o Brasil vem tentando criar uma gestão política de sustentabilidade ambiental. Assim em 1997 foi sancionada a Lei das Águas (Lei Federal n.9433) que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). Essa lei baseia-se em sete princípios, dentre eles, abrange os fundamentos de que a água deve ser tida como de domínio público não podendo ser privatizada, ela é um recurso limitado e deve ser destinada para múltiplos usos (energia, indústria, irrigação, abastecimento etc.) e em casos de falta a prioridade destina-se ao consumo humano e de animais. Os objetivos principais da mesma são relacionados à garantia da distribuição de água em quantidades adequadas aos usos para a atual e futuras gerações e visar o desenvolvimento sustentável através do uso racionalizado.

A distribuição das áreas de consumo de água mundial, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), apresenta a atividade agropecuária como sendo o setor de maior consumo, responsável por 70%. Em

segundo lugar se encontra a atividade industrial consumindo 22% da água disponível e por último é que vem o uso doméstico com responsabilidade de cerca de 8% da utilização deste recurso natural. Já no Brasil, conforme informado no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos (ANA, 2014) em 2010 a irrigação foi responsável por 72% da vazão consumida; o uso dos animais por 11%; o uso urbano por 9%, o industrial por 7% e o rural (o consumo das pessoas e a não a atividade agrícola) por 1% do total consumido.

No uso doméstico da água, tem-se uma estimativa de que para residências cada pessoa consome, aproximadamente 150 litros por dia, para exercer suas atividades necessárias e manter sua higiene (Norma técnica Sabesp - NTS 181 - 2012). Em um estudo realizado em 1988 pela American Water Works Association – Research Foundation (AWWA) foi feita uma pesquisa com finalidade de listar os usos finais da água no âmbito doméstico, para a análise, o perfil do consumo de água foi realizado em 12 cidades americanas, sendo monitoradas 1.188 residências com registros a cada 10 segundos processados de maneira a se identificar o uso pontual de água tais como um ciclo de máquina de lavar roupas, ciclo de máquina de lavar pratos, uma descarga de um vaso sanitário, uso de torneiras em geral e assim por diante. A Tabela 2 e Figura 3 mostram resultados da pesquisa.

Tabela 2 - Uso final da água em residências nos EUA
Fonte: adaptado do AWWA – Research Foundation, 1999.

Tipo de consumo	Só uso interno (%)
Banheira	1,7
Chuveiro	16,8
Bacia sanitária	26,7
Lava-pratos	1,4
Lava-roupas	21,7
Torneiras em geral	15,7
Vazamentos	13,7
Outros	2,2

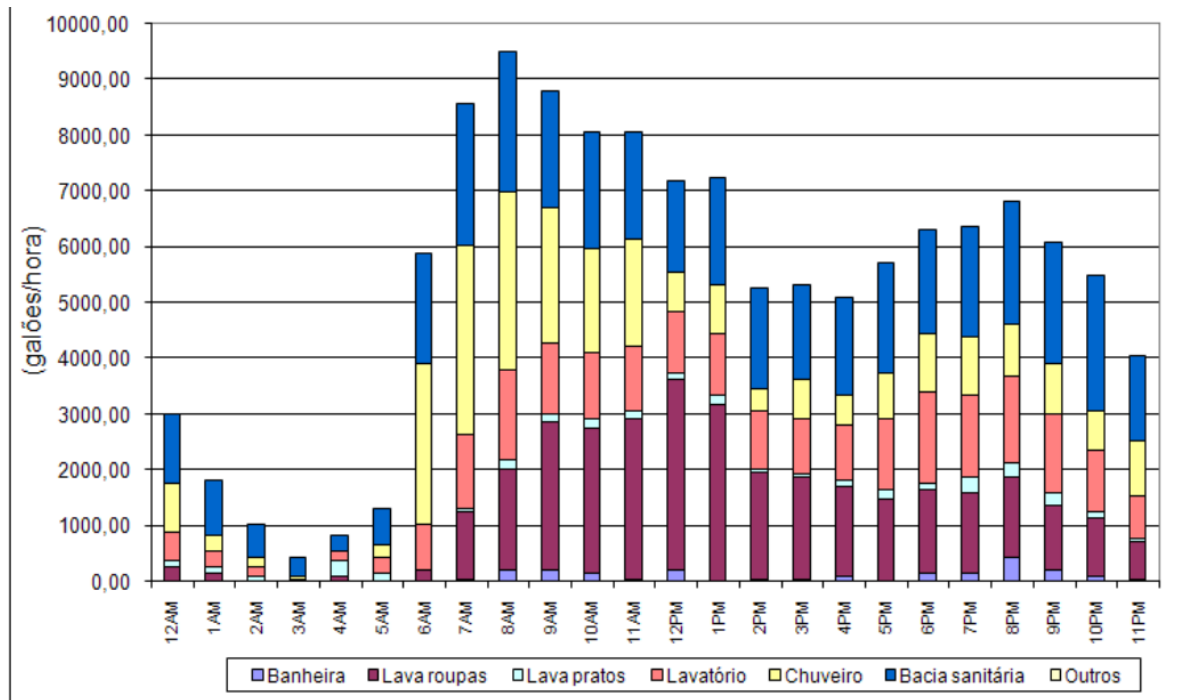


Figura 2 - Uso interno da água nas residências dos EUA
 Fonte: adaptado do AWWA – Research Foundation, 1999.

A Figura 3 mostra o perfil de comportamento do consumo de água em dois locais diferentes. Um deles foi feito nas dependências da Universidade Federal de São Paulo e o outro em unidades residenciais unifamiliar.

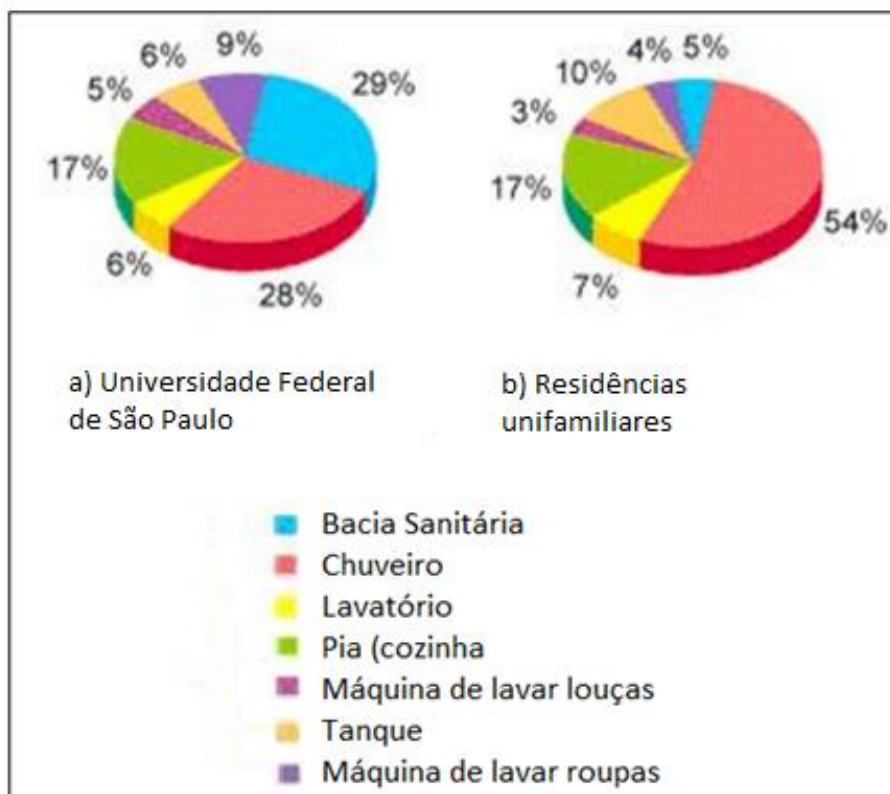


Figura 3 – Porcentagens dos pontos finais de consumo de água

Fonte: adaptado de Okaruma, 2006.

Sabe-se que esses perfis apresentados não podem ser tomados como absolutos, uma vez que o consumo em uma residência é bem variado e sofre influência de vários fatores tais como: valor da tarifa; características culturais; número de moradores na residência; renda familiar; clima da região e gerenciamento do sistema de abastecimento de águas.

Entretanto, pode-se perceber, fazendo uma rápida análise comparativa entre os estudos mencionados acima, que eles seguem um mesmo padrão onde os pontos finais que mais consomem água são a bacia sanitária, o chuveiro e as máquinas de lavar louça/roupa.

Separando-se os usos finais da água, tem-se que eles podem ser categorizados em dois grupos, segundo Gonçalves (2006), são eles:

- Usos potáveis - higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos, que exigem água de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação; e,
- Usos não potáveis - lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, etc.

5. Aproveitamento de água pluvial

O aproveitamento de água de chuva propicia, além de uma redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, redução do volume de água que chega ao sistema de drenagem urbana, contribuindo para amortecimento dos picos e inundações durante chuvas intensas, também o benefício de sustentabilidade na conservação de água.

Esse aproveitamento já é uma prática difundida em várias partes do mundo. Em alguns casos, essa prática é utilizada com finalidade principal de preservar os mananciais e economizar água tratada pelo sistema de abastecimento, em outros, ela é até considerada a principal forma de acesso à água no geral. No Brasil, algumas cidades já possuem lei que orienta o aproveitamento pluvial como, por exemplo, as cidades de São Paulo –SP e Curitiba – PR.

Em Curitiba existe a lei municipal N° 10.785/2003, que tem como objetivo “Instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água” por meio do Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA). Em São Paulo a lei N° 12.526/2007 da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, determina obrigatória a implantação de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais em lotes que possuam área impermeabilizada superior a 500m².

Contudo, em nosso país essa prática ainda é pouco utilizada e difundida, parte pelo motivo de que à exceção da região Nordeste que sofre longos períodos de seca, as outras regiões não dão muita importância a essa prática. Sendo assim, a implantação desse sistema de aproveitamento pluvial acaba por despertar maior interesse em cidades com índices pluviométricos baixos, pois essa ação permite, se corretamente aplicada, armazenar água durante período chuvoso para ser utilizado no período de estiagem sem depender completamente do sistema local, o qual normalmente também já enfrenta dificuldades.

Segundo a ABNT – NBR 15.527/2007 a utilização da água pluvial, após devido tratamento, pode ser aplicada para os seguintes fins:

- Descarga em bacias sanitárias;
- Irrigação de gramados e plantas ornamentais;
- Lavagem de veículos;
- Limpeza de calçadas e ruas;
- Limpeza de pátios;
- Espelhos de água; e,
- Usos industriais.

Podendo ser adicionados outros usos, como por exemplo: em sistema de refrigeração; no combate ao incêndio e em caso emergencial de estiagens.

Captar e armazenar água de chuva não é apenas uma prática para conservar a água, mas também a energia, uma vez que, a redução no consumo de água influi diretamente na redução no consumo de energia necessária para a operação de uma estação de tratamento de água e todas operações no sistema de bombeamento e distribuição.

5.1. *Qualidade da água de chuva*

Primeiramente deve-se ter o conhecimento de que a qualidade do ar influencia na qualidade da água da chuva, uma vez que, as partículas poluentes presentes na atmosfera da região, são parte incorporadas pelas gotas de chuva em seu caminho descendente até atingir a superfície. Outro processo que interfere na qualidade da água pluvial é a própria estrutura de captação da mesma, no caso os telhados das residências, pois neles podem ser encontrados dejetos de animais, lixo urbano, material em decomposição etc.

Portanto, é recomendado técnicas para realização do descarte da primeira água chuva ou água de lavagem do telhado. Técnicas essas que utilizam um reservatório inicial de pequeno volume para receber as primeiras águas da chuva até que seja totalmente preenchido e, em seguida a água da chuva passa a ser direcionada diretamente para o reservatório principal. Recomenda-se geralmente o descarte de 1mm de água, porém em grandes cidades e em regiões que possuem maior poluentes no ar, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas recomenda aumentar a proporção de descarte para 2mm.

5.2. Estrutura do sistema de captação e aproveitamento

A estrutura do sistema de captação e aproveitamento, como observado na Tabela 3, é composto pelos seguintes componentes: Captação, Condução, Tratamento, Armazenamento e Distribuição.

Tabela 3 - Componentes básicos do sistema de aproveitamento pluvial

Fonte: Gonçalves, 2006.

Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva				
SUBSISTEMAS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA				
Captação	Condução	Tratamento	Armazenamento	Distribuição
Telhados	Calhas	Filtros de material grosseiro	Reservatórios ou cisternas ¹	Tubulações, conexões e peças de utilização
Lajes	Caixas de amortecimento	Filtros de material fino		
Toldos	Tubos de queda, conexões e condutores horizontais	Dispositivos de descarte de primeira chuva		
Pátios específicos	Caixas de desvio e inspeção	Equipamento de desinfecção		

- **Captação**

São as áreas destinadas a coletar a precipitação, são geralmente telhados de casas ou indústrias. As telhas podem ser variadas dos tipos: fibrocimento; cerâmicas; zinco; concreto armado; plásticas; derro galvanizado; etc.

O escoamento direcionado pelas telhas depende diretamente do tipo do telhado, onde cada material possui um coeficiente de escoamento (C) ou também chamado de runoff. Quanto maior for esse coeficiente, mais eficiente é o escoamento resultando em menores perdas de carga. A Tabela 4 abaixo mostra os coeficientes de escoamento para cada material.

Tabela 4 - Coeficientes de runoff
 Fonte: Gonçalves, 2006.

Material	Faixa de C	Fonte
Telha Cerâmica	0,80 - 0,90	Holkes e Fraiser <i>apud</i> Tomaz (2003)
	0,75 - 0,90	Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999)
	0,56	Khan <i>apud</i> May (2005)
Telha Metálica	0,70 - 0,90	Holkes e Fraiser <i>apud</i> Tomaz (2003)
	0,85	Khan <i>apud</i> May (2005)
Telha Esmaltada	0,80 - 0,95	Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999)
Cobertura de PVC	0,94	Khan <i>apud</i> May (2005)
Betume	0,80 - 0,95	Van den Bossche <i>apud</i> Vaes e Berlamont (1999)
Telhados Verdes	0,27	Khan <i>apud</i> May (2005)
Pavimentos	0,40 - 0,90	Wilken <i>apud</i> Tomaz (2005)
	0,68	Khan <i>apud</i> May (2005)

- Condução

Elementos responsáveis pelo direcionamento da água captada nos telhados, sendo eles calhas, tubos e conexões, normalmente feitos de PVC ou metálicos.

- Tratamento

Etapa para remoção dos materiais em suspensão e poluentes, usando-se filtros para material grosso e fino, dispositivos para descarte da água de lavagem e dispositivos auxiliares para desinfecção.

- Armazenamento

Elemento responsável por armazenar o volume de água coletado na captação, são estes os reservatórios. O dimensionamento dos mesmo será melhor detalhado no tópico seguinte.

- Distribuição

Componentes finais responsáveis por conduzir e distribuir a água contida no reservatório para os seus devidos usos finais através de tubulações, peças e conexões.

5.3. *Dimensionamento do reservatório.*

O dimensionamento do reservatório, ou seja, a escolha de sua capacidade de armazenamento é um dos pontos cruciais para tornar o aproveitamento de águas pluviais viável, pois é ele o componente mais oneroso do sistema. Para o dimensionamento existem seis métodos citados pela norma técnica ABNT – NBR 15.527/2007, são eles: Métodos de Rippl, da Simulação, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano.

A escolha do volume do reservatório depende de algumas variáveis como: regime de chuvas local, área de captação de chuva, coeficiente de escoamento do telhado e da demanda à qual se pretende atender com essa água. Todos esses parâmetros devem ser levados em consideração de forma que haja uma regularização das vazões, ou seja, armazenar água durante períodos de chuvas para suprir as necessidades em períodos de estiagem.

Dentre os métodos citados, o de Rippl será abordado. Ele permite o cálculo a partir do uso de dados pluviométricos diários ou mensais. Utilizando os dados mensais se obtém um dimensionamento mais prático, porém, não muito preciso pois a ocorrência de picos de chuvas intensas anômalas acarreta numa caracterização infiel dos dados pluviométricos locais, resultando num reservatório superdimensionado. Assim, o uso de dados diários de precipitações no método Rippl se mostra ser mais vantajoso e resulta em um dimensionamento mais preciso e menos dispendioso.

5.4. *Coefficiente de confiabilidade volumétrica para o método Rippl*

O coeficiente de confiabilidade volumétrica, definido por Dias (2007), é dado pela razão entre o volume de água aproveitado levando-se em consideração os dados em base diária (v_1) e volume aproveitado levando-se em consideração os dados em base mensal (v_2), de forma que:

$$\text{Confiabilidade Volumétrica} = 100 * \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (1)$$

Como já mencionado anteriormente, a análise por meio dos dados de precipitação diárias resulta em um dimensionamento mais preciso e que nem sempre se é possível obter esses dados.

Diante dessa situação foi que surgiu a determinação deste coeficiente de confiabilidade volumétrica que tem como função corrigir os volumes dos reservatórios de acumulação calculados pelo método Rippl, considerando-se valores em bases mensais, para um novo volume de água de chuva aproveitado mais preciso.

Segundo Lacerda (2015), “A partir da determinação do parâmetro da confiabilidade para uma dada situação, pode-se calcular o volume que este efetivamente aproveitará, corrigindo-se aquele encontrado para um balanço hídrico em base mensal”.

5.5. *Estudo de Referência*

O presente estudo tomou como base o Trabalho de Conclusão de Curso já apresentado na UFPB em 2015, o qual possui o título de “**CONFIABILIDADE VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS**” por Natália Marques de Sousa Lacerda.

Esse estudo foi direcionado para uma análise envolvendo os cálculos para determinação de um parâmetro que relaciona a razão entre dois volumes (V_1 e V_2) aproveitados por um reservatório de armazenamento de água da chuva. Sendo V_1 o volume aproveitado utilizando-se séries de precipitações diárias, enquanto o V_2 é o volume aproveitado utilizando-se séries de precipitações mensais.

Uma síntese do trabalho de Lacerda (2015) será apresentada a seguir e posteriormente será exposta uma complementação do estudo que é o foco deste trabalho.

5.5.1. Séries de parâmetros de variabilidade escolhidos

Para se chegar aos valores finais de coeficientes de confiabilidade volumétricas, vários parâmetros de variabilidades foram escolhidos. Entre eles:

- Séries de precipitações diárias de 14 municípios brasileiros num espaço amostral de 30 anos, desde 1984 a 2013 (retiradas do INMET);
- Capacidade de armazenamento dos reservatórios de 40, 30, 20, 15, 10 e 5 m³;
- Coeficientes de escoamento iguais à 0,85 e 0,90;
- Áreas de captação de chuva iguais à 60, 75, 100, 150, 200 e 300 m²; e,
- Padrões de consumo de água classificados em Popular, 460 litros/dia; Médio, 750 litros/dia e Alto, 1200 litros/dia;

5.5.2. Cálculo dos volumes armazenados pelo método Rippl

5.5.2.1. Volume aproveitado em base mensal (V2)

Para o cálculo do V2, será usado como exemplo o caso de combinação dos parâmetros de variabilidades seguintes: série de precipitações diárias da cidade de Curitiba do ano de 1998, Padrão Médio, runoff de 0,85 e área de captação de 100m².

A Tabela contendo a análise de todos os meses do ano de 1998 para Curitiba é muito extensa. Na Tabela 5, com finalidade apenas de uma simples explicação e devido ao fato de a tabela ser extensa, será apresentado a análise para apenas os meses de janeiro, fevereiro e março de 1998.

Tabela 5 - Análise do método rippl para os dados mensais do ano de 1998 da cidade de Curitiba
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015

ANO	Meses	Precipitação Média (mm)	Armaze. (m ³ /Mês)	Dias no Mês	Consumo (m ³ /Mês)	Saldo (m ³ /Mês)
1998	Janeiro	160,900	13,677	31	23,25	-9,574
	Fevereiro	178,900	15,207	28	21,00	-5,794
	Março	335,800	28,543	31	23,25	5,293

As precipitações médias mensais mostradas na Tabela 5 para os meses de janeiro, fevereiro e março, no ano de 1998 foram, respectivamente, 160,9 mm, 178,9 mm e 335,8 mm.

Para determinação do volume armazenado de chuva em janeiro, tem-se:
Volume armazenado = Precipitação x Área de captação x Coeficiente runoff / 1000

$$Volume\ armazenado = \frac{160,9mm * 100\ m^2 * 0,85}{1000} \quad (2)$$

$$Volume\ armazenado = 13,677 \frac{m^3}{mes}$$

Para determinação do consumo mensal em m³ por mês, foi feita apenas uma conversão de unidades, onde:

$$(750 \frac{litros}{dia} * 31\ dias\ em\ Janeiro) / 1000 = 23,25\ m^3/mês.$$

O saldo no mês é determinado pela diferença entre o volume armazenado menos o consumo mensal.

Em sequência é feita a análise de volume aproveitado e volume transbordado para os 6 tipos de reservatórios pré-estabelecidos (volumes de 40, 30, 20, 15, 10 e 5m³). (Tabela 6).

Tabela 6 - Continuação da tabela 5
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015

	Reservatório de 40m ³		Reservatório de 30 m ³		Reservatório de 20 m ³		Reservatório de 15 m ³		Reservatório de 10 m ³		Reservatório de 5 m ³	
	Vol. aproveitado	Vol. transbordado	Vol. aproveitado	Vol. transbordado	Vol. aproveitado	Vol. transbordado	Vol. aproveitado	Vol. transbordado	Vol. aproveitado	Vol. transbordado	Vol. aproveitado	Vol. transbordado
Janeiro	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
Fevereiro	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
Março	5,29	0,000	5,29	0,000	5,29	0,000	5,29	0,000	5,29	0,000	5,00	0,293

O volume aproveitado está relacionado com o saldo apresentado na Tabela 6 da seguinte maneira:

- Caso o saldo seja negativo, significa que a água da chuva armazenada foi toda utilizada, mas mesmo assim não deu para suprir a demanda da residência.;
- Caso o saldo seja positivo e menor que o volume do reservatório, significa que a água da chuva armazenada supriu a demanda da residência e ainda sobrou uma quantidade armazenada para o mês seguinte; e,
- Caso o saldo seja positivo e maior que o volume do reservatório, significa que a água da chuva armazenada supriu a demanda e ainda superou o volume máximo do reservatório, causando transbordamento do mesmo.

De maneira análoga, são feitas todas essas considerações para todos os meses do ano para cada ano durante o espaço de 30 anos de dados considerados.

Por fim, tem-se um V_2 para cada ano e cada volume de reservatório. O V_2 do exemplo é o resultado da subtração do somatório de todos os volumes armazenados em cada mês do ano de 1998 menos o somatório dos volumes transbordados no mesmo ano para o reservatório de 5m^3 . Sendo este valor de V_2 do exemplo igual à $172,566\text{ m}^3$

5.5.2.2. *Volume aproveitado em base diária (V_1)*

Para o cálculo do V_1 , será usado como exemplo o caso de combinação dos parâmetros de variabilidades seguintes: Série de precipitações diárias da cidade de Curitiba do ano de 1998, Padrão Médio, runoff de 0,85 e área de captação de 100 m^2 .

A Tabela contendo a análise de todos os dias meses do ano de 1998 para Curitiba também é muito extensa. Na Tabela 7, com finalidade apenas de uma simples explicação e devido ao fato de a tabela ser extensa, será apresentado a análise para apenas os dias do mês de março e volume de reservatório de 5m^3 .

Tabela 7 - Análise do método rippl para os dados diários do mês 1 ano de 1998 da cidade de Curitiba e Volume de reservatório = 5m³
 Fonte: Adaptado de Lacerda, 2015

A N O	M ês	Data	Índice Pluviométrico (mm)	Armazenamento (m ³)	Consumo do Dia (m ³)	Saldo de Água do Dia (m ³)	Saldo de Água Acumulado (m ³)	Volume de Água existente no reservatório de 5m ³ (m ³)	Volume transbordado no dia (m ³)
1998	MARÇO	1	18,200	1,547	0,750	0,797	3,979	3,979	0,000
		2	0,200	0,017	0,750	-0,733	3,246	3,246	0,000
		3	1,600	0,136	0,750	-0,614	2,632	2,632	0,000
		4	0,000	0,000	0,750	-0,750	1,882	1,882	0,000
		5	0,000	0,000	0,750	-0,750	1,132	1,132	0,000
		6	54,000	4,590	0,750	3,840	4,972	4,972	0,000
		7	0,600	0,051	0,750	-0,699	4,273	4,273	0,000
		8	0,200	0,017	0,750	-0,733	3,540	3,540	0,000
		9	0,000	0,000	0,750	-0,750	2,790	2,790	0,000
		10	4,300	0,366	0,750	-0,385	2,405	2,405	0,000
		11	0,000	0,000	0,750	-0,750	1,655	1,655	0,000
		12	1,300	0,111	0,750	-0,640	1,016	1,016	0,000
		13	0,200	0,017	0,750	-0,733	0,282	0,282	0,000
		14	60,900	5,177	0,750	4,427	4,709	4,709	0,000
		15	12,000	1,020	0,750	0,270	4,979	4,979	0,000
		16	1,700	0,145	0,750	-0,606	4,374	4,374	0,000
		17	0,400	0,034	0,750	-0,716	3,658	3,658	0,000
		18	32,000	2,720	0,750	1,970	5,000	5,000	0,628
		19	33,700	2,865	0,750	2,115	5,000	5,000	2,115
		20	21,600	1,836	0,750	1,086	5,000	5,000	1,086
		21	0,000	0,000	0,750	-0,750	4,250	4,250	0,000
		22	0,000	0,000	0,750	-0,750	3,500	3,500	0,000
		23	10,100	0,859	0,750	0,109	3,609	3,609	0,000
		24	0,000	0,000	0,750	-0,750	2,859	2,859	0,000
		25	2,300	0,196	0,750	-0,555	2,304	2,304	0,000
		26	0,000	0,000	0,750	-0,750	1,554	1,554	0,000
		27	0,000	0,000	0,750	-0,750	0,804	0,804	0,000
		28	0,000	0,000	0,750	-0,750	0,054	0,054	0,000
		29	37,600	3,196	0,750	2,446	2,500	2,500	0,000
		30	29,800	2,533	0,750	1,783	4,283	4,283	0,000
		31	13,100	1,114	0,750	0,364	4,647	4,647	0,000

Para determinação do volume armazenado de chuva, tem-se:

Volume armazenado = Precipitação x Área de captação x Coeficiente runoff / 1000

$$\text{Volume armazenado para 2 de janeiro} = \frac{1,2\text{mm} \cdot 100 \text{ m}^2 \cdot 0,85}{1000} \quad (3)$$

$$\text{Volume armazenado para 2 de janeiro} = 0,102 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

O consumo diário em m³ para uma residência de padrão médio é 750 litros por dia, que convertendo em m³ dá 0,75 m³ por dia.

O saldo de água no dia é determinado pela diferença entre o volume armazenado menos o consumo diário.

O volume de água existente no reservatório está relacionado com o saldo de água no dia da seguinte maneira:

- Caso o saldo seja negativo, significa que a água da chuva armazenada foi toda utilizada, mas mesmo assim não deu para suprir a demanda diária da residência;
- Caso o saldo seja positivo e menor que o volume do reservatório, significa que a água da chuva armazenada supriu a demanda da residência e ainda sobrou uma quantidade armazenada para o dia seguinte; e,
- Caso o saldo seja positivo e maior que o volume do reservatório, significa que a água da chuva armazenada supriu a demanda e ainda superou o volume máximo do reservatório, causando transbordamento do mesmo.

De maneira análoga, são feitas todas essas considerações para todos os dias de todos os meses do ano para cada ano durante o espaço de 30 anos de dados considerados.

Por fim, tem-se um V1 para cada ano e cada volume de reservatório. O V1 do exemplo é o resultado da subtração do somatório de todos os volumes armazenados em cada dia do ano de 1998 menos o somatório dos volumes transbordados nos mesmos dias para o reservatório de 5m³. Sendo este valor de V1 do exemplo igual à 154,746 m³

5.5.2.3. Confiabilidade volumétrica

Para o cálculo da determinação da confiabilidade volumétrica deste exemplo, foi utilizado a equação (1), conforme abaixo:

$$\text{Confiabilidade volumétrica} = 100 * (154,746 / 172,566) = \mathbf{89,674 \%}$$

Lacerda (2015) gerou um gráfico relacionando os volumes dos reservatórios, os padrões de residências e os coeficientes de escoamento para cada cidade, resultando em um total de 6 gráficos por cidade. As Figuras 4 e 5 a seguir são exemplos destes gráficos gerados para a cidade de Belterra (PA) e padrão popular.

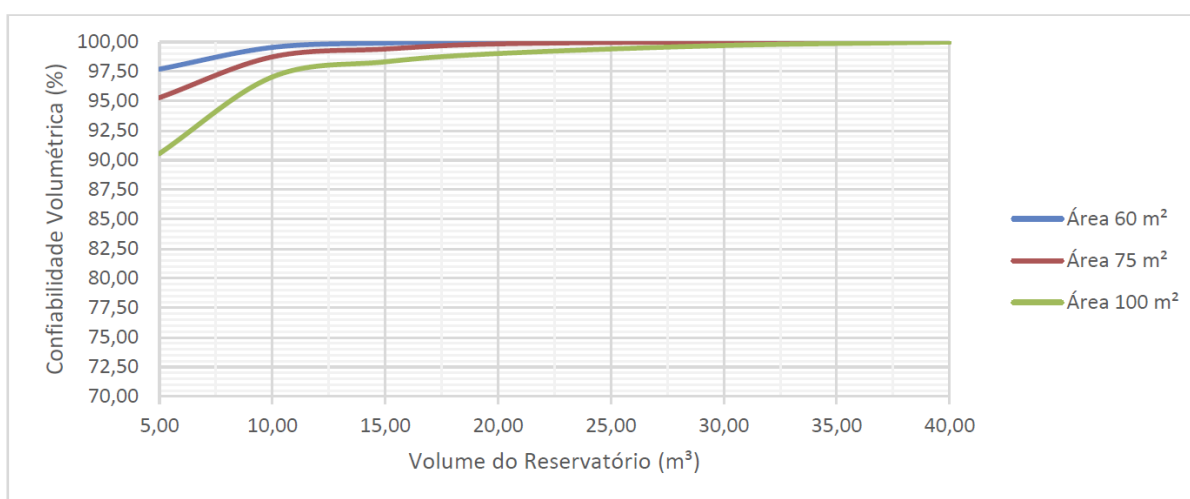


Figura 4 - Confiabilidade volumétrica x Volume do reservatório: Padrão Popular - C= 0,85 - Belterra (PA)
Fonte: Lacerda, 2015.

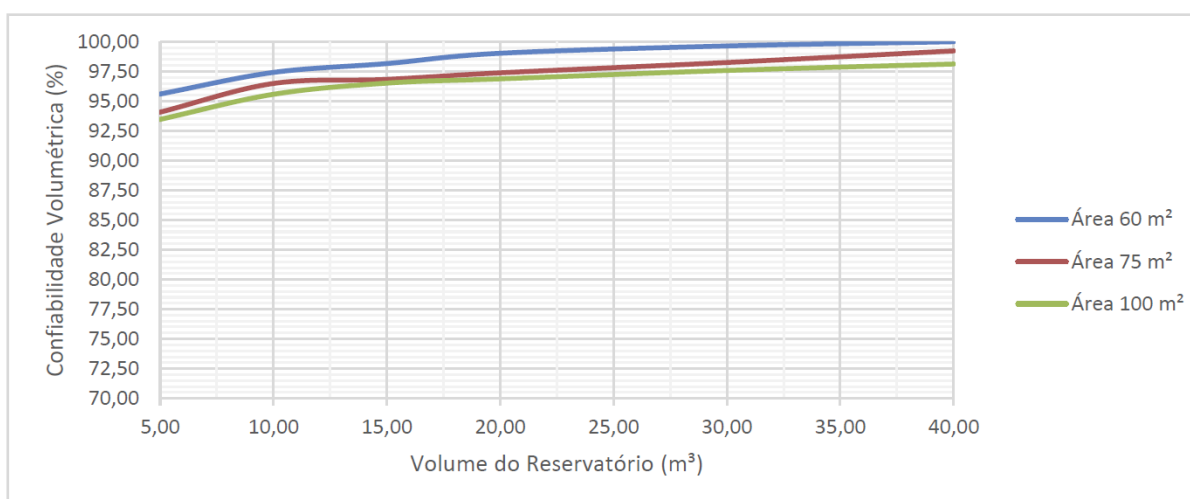


Figura 5 - Confiabilidade volumétrica x Volume do reservatório: Padrão Popular - C= 0,90 - Belterra (PA)
Fonte: Lacerda, 2015.

6. Metodologia

Como proposta de aprofundamento do estudo de referência (Lacerda, 2015). Criou-se a ideia de colher todos os coeficientes de confiabilidades por ela apresentados como resultado e tentar correlaciona-los com parâmetros pluviométricos das cidades selecionadas no estudo, de forma que se encontrassem gráficos que apresentem um coeficiente de determinação (R^2) elevado. Assim, como objetivo final desta complementação do estudo, serão apresentados gráficos abrangentes que possam ser utilizados para toda a extensão do território brasileiro.

Na sequência deste trabalho, optou-se por substituir o termo “confiabilidade volumétrica” por “coeficiente de extravasamento” para uma melhor adequação com a complementação abordada. Para maior praticidade, o termo coeficiente de extravasamento será abreviado para CE em alguns casos.

Desta forma, a metodologia utilizada nesta análise, se sequencia conforme abaixo:

- Coleta e Organização dos coeficientes de extravasamento para todos os volumes de reservatórios, para cada coeficiente de escoamento e cada área de captação de cada uma das cidades do trabalho;
- Definição de possíveis parâmetros pluviométricos à serem analisados;
- Criação de gráficos correlacionando os parâmetros pluviométricos com os coeficientes de extravasamento; e,
- Definição dos gráficos que apresentam melhores coeficientes de determinação (R^2).

6.1. *Coleta e organização dos coeficientes de extravasamento.*

No trabalho de referência (Lacerda, 2015), obtiveram-se valores de coeficientes de extravasamento para cada ano de um dado cenário estabelecido. Por exemplo: para uma área de captação de 150 m², numa residência de Padrão Alto, volume de reservatório de 40m³ e runoff de 0,85; obtiveram-se uma CE para cada ano desde 1984 até 2013, em seguida, calculou-se um valor médio para esses CE's.

Sendo assim, o número de possibilidades de diferentes cenários para cada cidade, por análise combinatória são 108. Pois existem: 3 áreas de captação, 3 padrões de residências, 6 volumes de reservatórios e 2 coeficientes de escoamento.

$$\text{Número de possíveis cenários} = 3 * 3 * 6 * 2 = 108.$$

Como exemplo, seguem organizados os CE's e seus respectivos cenários para a cidade de Belterra (PA) (Tabelas 8, 9, 10, 11, 12 e 13)

Tabela 8 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Alto e Runoff = 0,85
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,85	Padrão Alto	A = 150 m ²	A = 200 m ²	A = 300 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	99,051	97,016	96,465
	30,000	98,226	96,670	95,710
	20,000	97,448	96,001	94,800
	15,000	96,736	94,965	93,891
	10,000	94,877	92,669	91,163
	5,000	88,606	85,604	83,880

Tabela 9 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Alto e Runoff = 0,90
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,90	Padrão Alto	A = 150 m ²	A = 200 m ²	A = 300 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	98,626	96,825	96,357
	30,000	97,613	96,596	95,612
	20,000	97,186	95,715	94,692
	15,000	96,470	94,619	93,715
	10,000	94,406	92,397	90,849
	5,000	87,904	85,244	83,599

Tabela 10 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Médio e Runoff = 0,85
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,85	Padrão Médio	A = 75 m ²	A = 100 m ²	A = 150 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	100,000	99,550	97,347
	30,000	99,944	99,054	96,862
	20,000	99,614	97,994	96,367
	15,000	99,279	97,438	95,631
	10,000	98,146	96,634	94,499
	5,000	94,842	92,695	90,011

Tabela 11 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Médio e Runoff = 0,90
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,90	Padrão Médio	A = 75 m ²	A = 100 m ²	A = 150 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	100,000	99,156	97,358
	30,000	99,821	98,548	96,766
	20,000	99,484	97,576	96,217
	15,000	99,025	97,212	95,481
	10,000	97,729	96,231	94,403
	5,000	94,333	92,189	89,853

Tabela 12 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Popular e Runoff = 0,85
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,85	Padrão Popular	A = 60 m ²	A = 75 m ²	A = 100 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	100,000	99,508	98,270
	30,000	99,894	98,914	97,579
	20,000	99,251	97,579	96,916
	15,000	98,700	97,126	96,476
	10,000	97,712	96,628	95,659
	5,000	96,062	94,426	93,512

Tabela 13 - Coeficiente de extravasamento para Belterra (PA) Padrão Popular e Runoff = 0,90
Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

Runoff = 0,90	Padrão Popular	A = 60 m ²	A = 75 m ²	A = 100 m ²
CIDADES	Volumes do Reservatório (m ³)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)	Coeficiente de extravasamento (%)
BELTERRA (PA)	40,000	100,000	99,228	98,127
	30,000	99,644	98,253	97,583
	20,000	99,029	97,382	96,877
	15,000	98,163	96,834	96,516
	10,000	97,417	96,488	95,577
	5,000	95,601	94,076	93,466

6.2. Definição dos parâmetros pluviométricos a serem analisados

6.2.1. Regime pluviométrico das cidades

Os dados referentes aos regimes pluviométricos foram organizados em forma de tabela e analisados os parâmetros de variabilidade indicados no trabalho de referência (Lacerda, 2015) para caracterizar o regime pluviométrico das cidades. São eles:

- Desvio padrão dos índices diários de precipitação de séries de trinta anos;
- Desvio padrão dos índices médios mensais de precipitação;
- Índice anual de precipitação (H anual);
- Intensidade pluviométrica da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos (I_{5/5}); e,
- Razão entre Intensidade pluviométrica da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos e o Índice anual de precipitação (I_{5/5} / HANUAL).

Tabela 14 - Parâmetros pluviométricos

Fonte: adaptado de Lacerda, 2015.

CIDADES	MÉDIA DIÁRIA (mm)	DESVIO PADRÃO DAS MÉDIAS DIÁRIAS	MÉDIA MENSAL (mm)	DESVIO PADRÃO DAS MÉDIAS MENSAIS	Média da H ANUAL (mm/ano)	I _{5/5} (mm/h)	I _{5/5} / H ANUAL
BELÉM (PA)	8,68	4,96	264,31	134,66	3171,67	181,08	500,13
BELTERRA (PA)	5,34	4,07	162,67	107,59	1952,02	-	-
BRASÍLIA (DF)	4,09	3,57	124,33	96,87	1491,93	175,86	1032,58
CURITIBA (PR)	4,28	2,17	130,19	38,31	1562,26	180,96	1014,69
FORMOSA (GO)	3,82	3,64	116,24	102,46	1394,82	179,70	1128,58
FRANCA (SP)	4,48	3,92	136,29	107,83	1635,51	-	-
GOIÂNIA (GO)	4,49	4,03	135,80	110,89	1629,63	199,20	1070,79
MANAUS (AM)	6,44	4,08	195,84	103,82	2350,07	209,70	781,67
MARINGÁ (PR)	4,41	2,52	134,32	47,50	1611,81	-	-
PATO BRANCO (PR)	5,58	2,57	170,31	35,17	2043,73	162,73	697,51
QUIXERAMOBIM (CE)	2,03	2,30	61,71	60,69	740,53	173,58	2053,33
RECIFE (PE)	6,35	4,94	193,58	131,72	2322,96	137,90	520,03
SÃO LUIZ (MA)	6,16	6,30	186,64	172,97	2239,70	145,32	568,38
SÃO PAULO (SP)	4,48	3,44	136,26	88,64	1635,11	132,00	707,18

I_{5/5}: Intensidade de chuva de duração 5 minutos e período de retorno 5 anos

H anual: Precipitação média anual em mm

Em seguida, foram determinados vários outros novos parâmetros à serem analisados, de forma a encontrar um que melhor se correlacione com os coeficientes de extravasamento.

6.2.2. Intensidades de chuvas

Foram selecionadas diferentes intensidades de chuva com períodos de retorno e durações maiores. Apesar da chuva de duração de 5 minutos e período de retorno de 5 anos ($I_{5/5}$) ser a mais frequente nas cidades, ela isoladamente não expressa bem o regime pluviométrico de uma região, pois outras intensidades de chuvas também ocorrem e influem principalmente no estudo de aproveitamento de águas, pois são elas que provavelmente causam transbordamentos nos reservatórios.

As diferentes intensidades de chuvas selecionadas foram:

- Chuva de duração de 5 minutos e período de retorno de 10 anos ($I_{5/10}$);
- Chuva de duração de 10 minutos e período de retorno de 5 anos ($I_{10/5}$);
- Chuva de duração de 10 minutos e período de retorno de 10 anos ($I_{10/10}$).

Todos esses valores foram retirados do Manual de Drenagem Urbana da CETESB 1986 e são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores para as intensidades de chuva
Fonte: adaptado do Manual de drenagem da Cetesb, 1986

Cidades	$I_{5/5}$ (mm/h)	$I_{5/10}$ (mm/h)	$I_{10/5}$ (mm/h)	$I_{10/10}$ (mm/h)
BELÉM (PA)	181,08	193,5	140,04	151,08
BELTERRA (PA)	-	-	-	-
BRASÍLIA (DF)	175,86	196,49	140,9	157,43
CURITIBA (PR)	180,96	201,96	136,86	153,48
FORMOSA (GO)	179,7	197,04	135,96	149,88
FRANCA (SP)	-	-	-	-
GOIÂNIA (GO)	199,2	218,46	150,6	166,02
MANAUS (AM)	209,7	228	155,16	168,78
MARINGÁ (PR)	-	-	-	-
PATO BRANCO (PR)	162,73	180,8	130,14	144,6
QUIXERAMOBIM (CE)	173,58	183,84	125,7	135,78
RECIFE (PE)	137,9	149,07	120,38	130,14
SÃO LUIZ (MA)	145,32	153,9	124,38	133,68
SÃO PAULO (SP)	132	143,748	126,9	146,4

$I_{x/y}$: Intensidade de chuva de duração x minutos e período de retorno y anos

Observar que os valores para algumas intensidades de chuva não foram apresentados para todas as cidades devido à falta de dados na literatura consultada.

6.2.3. Intensidades de chuvas e precipitação anual

Foram analisadas uma relação entre as intensidades de chuvas apresentadas na Tabela 15 e os índices de precipitação anual para cada cidade. Essa relação foi estudada de duas formas. A Primeira (Tabela 16) é uma relação de razão entre os dois parâmetros, intensidade da chuva dividido pelo índice anual. A segunda (Tabela 17) é a situação inversa, o produto entre os dois parâmetros.

Tabela 16 - Razão entre as intensidades de chuvas e as precipitações anuais

Cidades	$I_{5/5} / H$ ANUAL	$I_{5/10} / H$ ANUAL	$I_{10/5} / H$ ANUAL	$I_{10/10} / H$ ANUAL
BELÉM (PA)	500,135	534,438	386,784	417,276
BELTERRA (PA)	-	-	-	-
BRASÍLIA (DF)	1032,575	542,697	389,159	434,815
CURITIBA (PR)	1014,688	557,804	378,001	423,905
FORMOSA (GO)	1128,584	544,216	375,515	413,962
FRANCA (SP)	-	-	-	-
GOIÂNIA (GO)	1070,790	603,377	415,950	458,540
MANAUS (AM)	781,666	629,726	428,545	466,163
MARINGÁ (PR)	-	-	-	-
PATO BRANCO (PR)	697,505	499,361	359,441	399,379
QUIXERAMOBIM (CE)	2053,332	507,758	347,178	375,018
RECIFE (PE)	520,028	411,725	332,484	359,441
SÃO LUIZ (MA)	568,380	425,065	343,532	369,218
SÃO PAULO (SP)	707,182	397,025	350,492	404,350

$I_{x/y}$: Intensidade de chuva de duração x minutos e período de retorno y anos

H anual: Precipitação média anual em mm

Tabela 17 - Produto entre as intensidades de chuvas e as precipitações anuais

Cidades	$I_{5/5} * H$ ANUAL	$I_{5/10} * H$ ANUAL	$I_{10/5} * H$ ANUAL	$I_{10/10} * H$ ANUAL
BELÉM (PA)	65,562	70,059	50,703	54,700
BELTERRA (PA)	-	-	-	-
BRASÍLIA (DF)	29,951	33,465	23,997	26,812
CURITIBA (PR)	32,273	36,018	24,408	27,372
FORMOSA (GO)	28,613	31,374	21,648	23,865
FRANCA (SP)	-	-	-	-
GOIÂNIA (GO)	37,057	40,640	28,016	30,885
MANAUS (AM)	56,257	61,166	41,625	45,279
MARINGÁ (PR)	-	-	-	-
PATO BRANCO (PR)	37,965	42,181	30,362	33,736
QUIXERAMOBIM (CE)	14,674	15,541	10,626	11,478
RECIFE (PE)	36,568	39,530	31,922	34,510
SÃO LUIZ (MA)	37,155	39,348	31,801	34,178
SÃO PAULO (SP)	24,639	26,831	23,687	27,326

$I_{x/y}$: Intensidade de chuva de duração x minutos e período de retorno y anos

H anual: Precipitação média anual em mm

6.2.4. Porcentagem de dias com índices de chuvas acima de 5, 10, 15 e 20 mm

Outra variável analisada foi a de porcentagem de dias em um ano em que o índice de precipitação superou determinados valores (5, 10, 15 e 20mm). Esse parâmetro foi escolhido pois esses valores permitem avaliar a situação em que a possibilidade de uma dada chuva causar o transbordamento do reservatório é maior quanto maior for essa porcentagem.

Para a obtenção desse parâmetro, foram consultados todos os valores de precipitações diárias de cada cidade estudada e realizado o cálculo de porcentagens para cada altura de chuva por meio de planilha do Microsoft Excel. O resumo dos resultados está apresentado na Tabela 18 a seguir:

Tabela 18 - Porcentagem de dias em um ano com precipitação maior que 5, 10, 15 e 20 mm

Cidades	Dias com precipitação maior que 5mm	Dias com precipitação maior que 10mm	Dias com precipitação maior que 15mm	Dias com precipitação maior que 20mm
BELÉM (PA)	41,6%	28,8%	20,0%	13,9%
BELTERRA (PA)	24,1%	15,7%	11,2%	8,4%
BRASÍLIA (DF)	19,4%	13,2%	9,2%	6,6%
CURITIBA (PR)	19,8%	13,7%	9,7%	7,0%
FORMOSA (GO)	17,5%	12,1%	8,7%	6,2%
FRANCA (SP)	20,1%	14,5%	10,5%	7,6%
GOIÂNIA (GO)	20,8%	14,1%	10,3%	7,4%
MANAUS (AM)	27,7%	19,8%	14,2%	10,4%
MARINGÁ (PR)	18,5%	13,6%	10,1%	7,5%
PATO BRANCO (PR)	22,1%	16,2%	12,3%	9,6%
QUIXERAMOBIM (CE)	10,2%	6,4%	4,4%	3,0%
RECIFE (PE)	26,3%	17,1%	12,2%	9,2%
SÃO LUIZ (MA)	23,9%	16,7%	12,9%	9,9%
SÃO PAULO (SP)	19,8%	14,0%	10,2%	7,6%

6.2.5. Diferença entre as Maiores e Menores médias mensais

Para a determinação desse parâmetro foram selecionadas as médias de precipitação mensal de cada cidade e feita duas abordagens diferentes: na primeira abordagem foi escolhido a maior e a menor média mensal de precipitação e foi feita a subtração entre elas, resultando um valor de diferença D1. Na segunda abordagem a mesma linha de raciocínio foi seguida, porém ao invés de escolher apenas a maior e menor média mensal, foram escolhidas a média entre três maiores e a média entre as três menores e feita a subtração entre eles, resultando um valor de diferença D2.

O valor de D1 representa a média de amplitude pluviométrica de uma cidade em um ano, já o valor de D2 ameniza um pouco essa amplitude uma vez que utilizando-se as médias das três menores e maiores, elimina-se casos extremos em que um dado mês dentro do espaço amostral utilizado, apresente situação de precipitações raras àquela região. Os parâmetros D1 e D2 estão apresentados na Tabela 19 e podem ser representados pelas equações (2) e (3).

$$D1 = M - m \quad (4)$$

$$D2 = \overline{M} - \overline{m} \quad (5)$$

Tabela 19 - Diferenças entre maiores e menores precipitações médias mensais

Cidades	D1 (mm)	D2 (mm)
BELÉM (PA)	344,45	275,51
BELTERRA (PA)	304,38	259,13
BRASÍLIA (DF)	243,79	224,26
CURITIBA (PR)	134,31	80,24
FORMOSA (GO)	278,12	232,24
FRANCA (SP)	300,87	260,20
GOIÂNIA (GO)	286,86	257,73
MANAUS (AM)	268,92	243,87
MARINGÁ (PR)	153,79	122,61
PATO BRANCO (PR)	130,74	84,97
QUIXERAMOBIM (CE)	185,53	143,29
RECIFE (PE)	359,46	316,18
SÃO LUIZ (MA)	463,74	411,55
SÃO PAULO (SP)	265,51	211,63

D1: Diferença entre a maior e a menor média mensal de precipitação

D2: Diferença entre a média das três maiores e a média das três menores precipitações

6.2.6. Combinações entre os parâmetros anteriores

Definidos os parâmetros pluviométricos apresentados neste tópico 6.2, foram feitas algumas combinações entre os mesmos. As correlações feitas foram baseadas em combinações matemáticas onde os diferentes parâmetros foram multiplicados entre si, dentre elas, seguem:

- Produto entre as precipitações médias anual e mensal pelas diferenças D1 e D2.

Tabela 20 - Produtos entre precipitação anual e mensal pelas diferenças D1 e D2

Cidades	D1*H anual	D2*H anual	D1* Média mensal	D2* Média mensal
Belém (PA)	1092480,6	873818,8	91040,05	72818,24
BELTERRA (PA)	594161,3	505828,2	49513,44	42152,35
BRASÍLIA (DF)	363713,5	334584,3	30309,45	27882,02
CURITIBA (PR)	209822,4	125361,2	17485,20	10446,77
FORMOSA (GO)	387927,3	323936,1	32327,28	26994,67
FRANCA (SP)	492080,3	425551,6	41006,70	35462,63
GOIÂNIA (GO)	467481,1	420010,0	38956,76	35000,83
MANAUS (AM)	631973,9	573117,6	52664,49	47759,80
MARINGÁ (PR)	247885,6	197620,4	20657,14	16468,37
PATO BRANCO (PR)	267204,5	173646,9	22267,04	14470,58
QUIXERAMOBIM (CE)	137388,7	106107,7	11449,06	8842,31
RECIFE (PE)	835018,9	734470,9	69584,91	61205,91
SÃO LUIZ (MA)	1038647,5	921749,9	86553,96	76812,49
SÃO PAULO (SP)	434138,1	346034,7	36178,17	28836,22

D1: Diferença entre a maior e a menor média mensal de precipitação

D2: Diferença entre a média das três maiores e a média das três menores precipitações

H anual: Precipitação média anual em mm

- Produto entre as diferenças D1 e D2 pelas as porcentagens de chuva acima de 5, 10, 15 e 20.

Tabela 21 - Produto entre as diferenças D1 e D2 pelas porcentagens de dias com precipitação acima de 5, 10, 15 e 20mm

Cidades	D1 * % maior que 5mm	D2* % maior que 5mm	D1 * % maior que 10mm	D2* % maior que 10mm	D1* % maior que 15mm	D2* % maior que 15mm	D1* % maior que 20mm	D2 * % maior que 20mm
BELÉM (PA)	143,43	114,72	99,30	79,42	68,81	55,04	47,81	38,24
BELTERRA (PA)	73,30	62,41	47,67	40,58	34,19	29,11	25,53	21,73
BSB (DF)	47,19	43,41	32,06	29,49	22,34	20,55	16,02	14,74
CURITIBA (PR)	26,54	15,85	18,40	10,99	13,09	7,82	9,46	5,65
FORMOSA (GO)	48,60	40,59	33,78	28,21	24,19	20,20	17,26	14,41
FRANCA (SP)	60,62	52,43	43,60	37,71	31,60	27,33	22,93	19,83
GOIÂNIA (GO)	59,71	53,65	40,55	36,43	29,48	26,48	21,23	19,07
MANAUS (AM)	74,48	67,54	53,35	48,38	38,26	34,70	27,88	25,28
MARINGÁ (PR)	28,45	22,68	20,95	16,71	15,59	12,43	11,58	9,23
PATOBranco (PR)	28,90	18,78	21,14	13,74	16,08	10,45	12,56	8,16
QUIXERAMBIM (CE)	18,91	14,61	11,80	9,11	8,11	6,26	5,60	4,33
RECIFE (PE)	94,44	83,07	61,57	54,16	43,92	38,64	33,20	29,20
SÃO LUIZ (MA)	110,84	98,36	77,62	68,88	59,80	53,07	46,04	40,86
SÃO PAULO (SP)	52,48	41,83	37,27	29,70	27,04	21,55	20,16	16,07

D1: Diferença entre a maior e a menor média mensal de precipitação

D2: Diferença entre a média das três maiores e a média das três menores precipitações

7. Resultados e Discussão

7.1. *Correlação entre os parâmetros pluviométricos e os coeficientes de extravasamento*

De posse de todas as variáveis apresentadas no tópico anterior, foram feitas as correlações das mesmas com os devidos coeficientes de extravasamento para cada cidade. Assim, vários gráficos foram gerados através de ferramenta de criação de gráficos de dispersão no Microsoft Excel. Estes foram formados da seguinte forma:

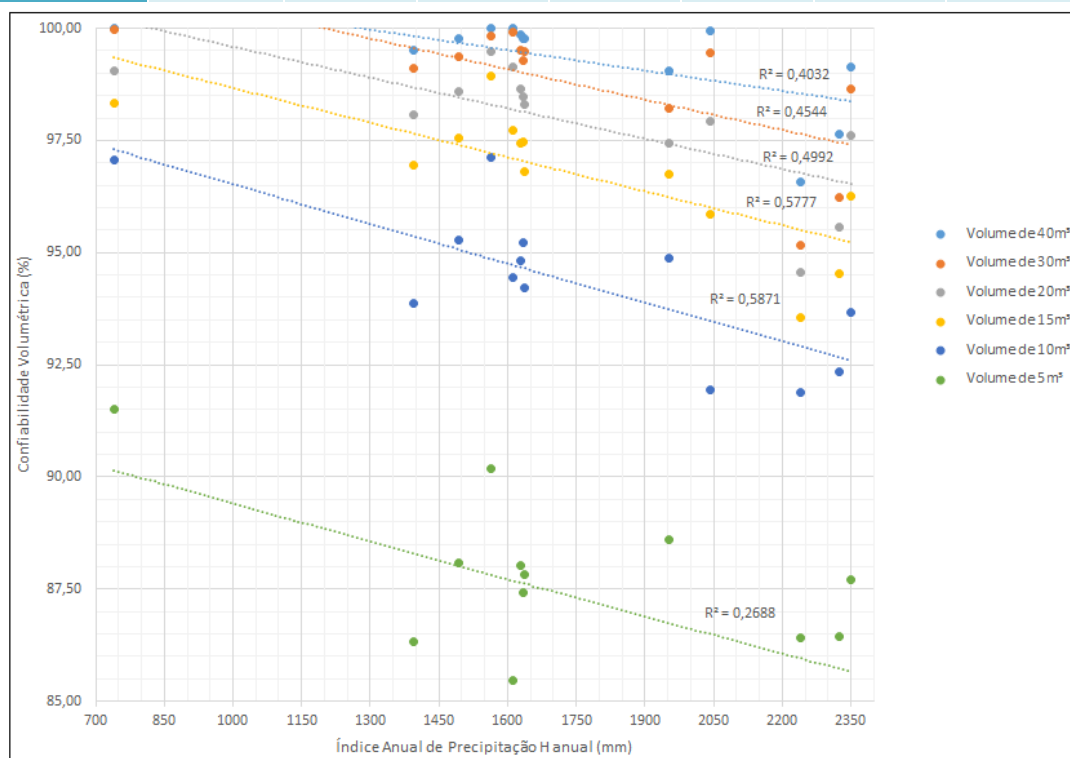
- Eixo das abcissas (x) corresponde ao parâmetro hidrológico em análise; e
- Eixo das ordenadas (y) corresponde aos coeficientes de extravasamento de cada cidade para um determinado volume de reservatório e coeficiente de runoff.

Com o intuito de reduzir o número de gráficos que seriam formados, duas considerações foram adotadas. Primeiro foram organizados todos os diferentes volumes de reservatórios em um mesmo gráfico. Segundo foram selecionadas duas das três opções de tamanhos de área de captação para cada um dos três padrões de residências: Para o padrão alto, áreas de 150 m² e 200 m². Para o padrão médio, áreas de 75 m² e 100 m². Para o padrão popular, áreas de 60 m² e 75 m².

Sendo assim, para uma determinada análise de um parâmetro hidrológico, foram gerados 12 gráficos. Nestes, para cada grupo de pontos de dispersão foi criada uma linha de tendência que melhor representasse o conjunto de pontos, sendo verificado o valor do R² (Medida descritiva da qualidade do ajuste da curva obtido). Como exemplo da estrutura dos gráficos obtidos, segue abaixo a análise feita como o parâmetro de índice de precipitação anual e cenário de padrão alto, área de captação 150 m² e runoff de 0,85.

Tabela 22 - CE's correlacionados com a precipitação anual

CIDADES	Padrão Alto / A = 150 m ² / Runoff = 0,85						Índice Anual de Precip. (mm)
	CE reserv. de 40m ³ (%)	CE reserv. de 30m ³ (%)	CE reserv. de 20m ³ (%)	CE reserv. de 15m ³ (%)	CE reserv. de 10m ³ (%)	CE reserv. de 5m ³ (%)	
BELTERRA (PA)	99,05	98,23	97,45	96,74	94,88	88,61	1952,0
BRASÍLIA (DF)	99,77	99,36	98,60	97,56	95,28	88,09	1491,9
CURITIBA (PR)	100,00	99,84	99,48	98,94	97,13	90,19	1562,3
FORMOSA (GO)	99,50	99,12	98,08	96,95	93,88	86,33	1394,8
FRANCA (SP)	99,77	99,49	98,29	96,81	94,21	87,82	1635,5
GOIÂNIA (GO)	99,85	99,51	98,64	97,44	94,83	88,03	1629,6
MANAUS (AM)	99,14	98,64	97,62	96,26	93,66	87,72	2350,1
MARINGÁ (PR)	100,00	99,92	99,13	97,73	94,44	85,46	1611,8
PATO BRANCO (PR)	99,93	99,44	97,92	95,85	91,94	81,71	2043,7
QUIXERAMOBIM (CE)	100,00	99,97	99,06	98,32	97,07	91,50	740,5
RECIFE (PE)	97,63	96,22	95,55	94,55	92,35	86,44	2323,0
SÃO LUIZ (MA)	96,57	95,15	94,57	93,55	91,88	86,42	2239,7
SÃO PAULO (SP)	99,77	99,29	98,47	97,48	95,23	87,41	1635,1

Gráfico 1 - Análise de correlação entre o índice de precipitação anual com os CE - Cenário: Padrão Alto, runoff 0,85 e Área de captação 150 m²

7.2. Definição dos gráficos que apresentam melhores coeficientes de determinação (R^2).

Regressão linear é o método que consiste em expressar o comportamento de uma variável em função de outra. Uma vez que essa expressão é obtida, pode ser utilizada para prever valores para o comportamento de uma análise. Neste trabalho essa expressão está apresentada como a curva de tendência mencionada anteriormente. Para se ter uma indicação se esta curva de tendência é confiável o parâmetro utilizado é o coeficiente de determinação R^2 , onde o seu valor varia entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo da unidade melhor é expressa a correlação entre as variáveis.

Desta forma, após feitas todas as análises dos gráficos gerados no item 7.1, foram selecionados aqueles que possuem o maior R^2 para cada tipo de cenário, resultando em um total de 12 gráficos.

- Cenário: Área de captação 150 m² - Runoff 0,85 – Padrão Alto

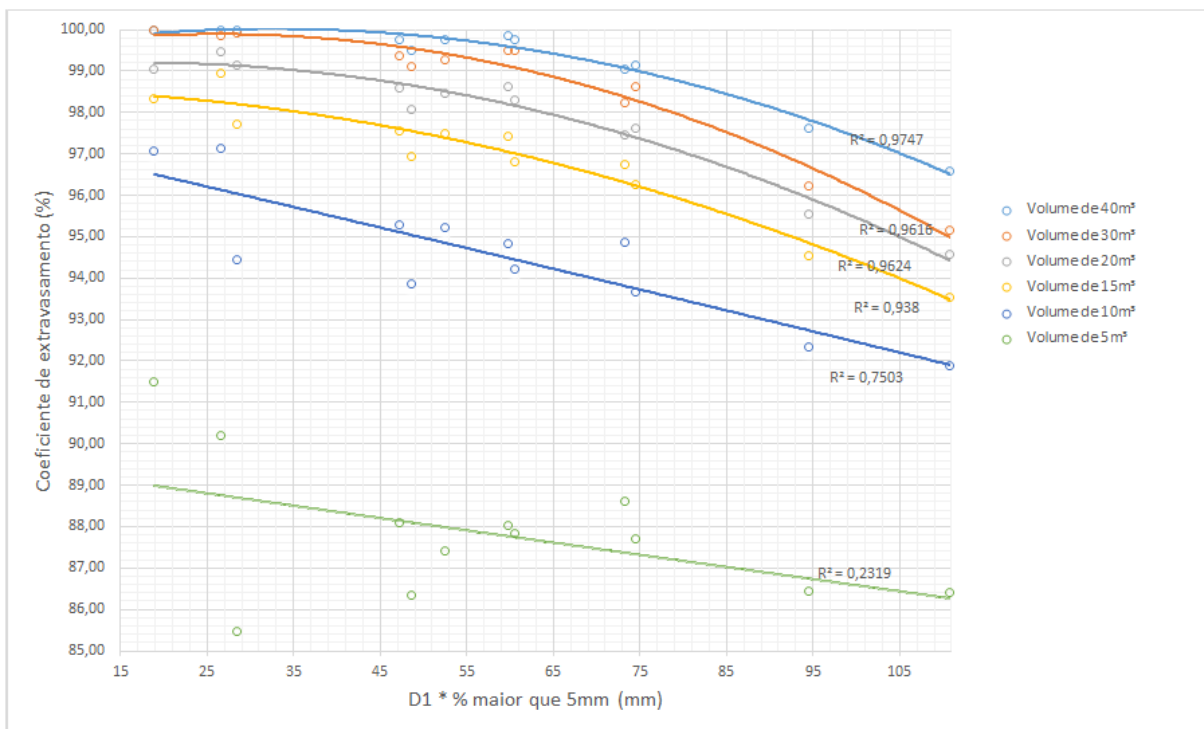


Gráfico 2 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm

- Cenário: Área de captação 200 m² - Runoff 0,85 – Padrão Alto

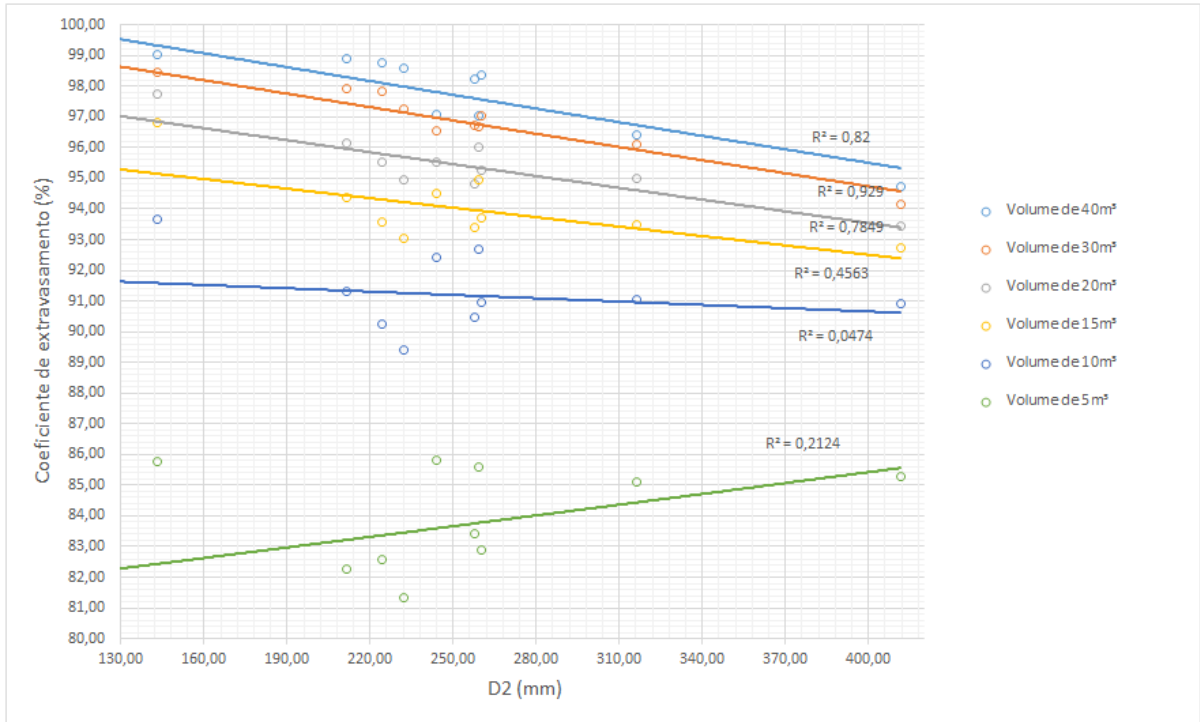


Gráfico 3 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 150 m² - Runoff 0,90 – Padrão Alto

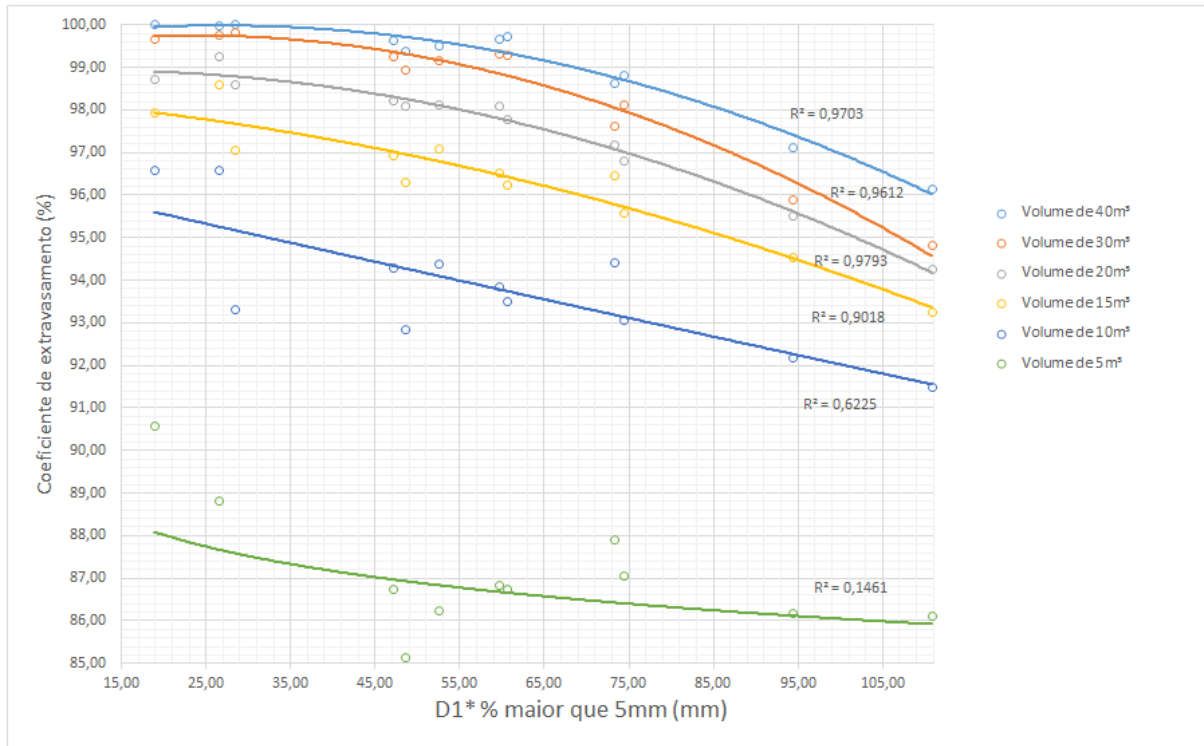


Gráfico 4 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm

- Cenário: Área de captação 200 m² - Runoff 0,90 – Padrão Alto

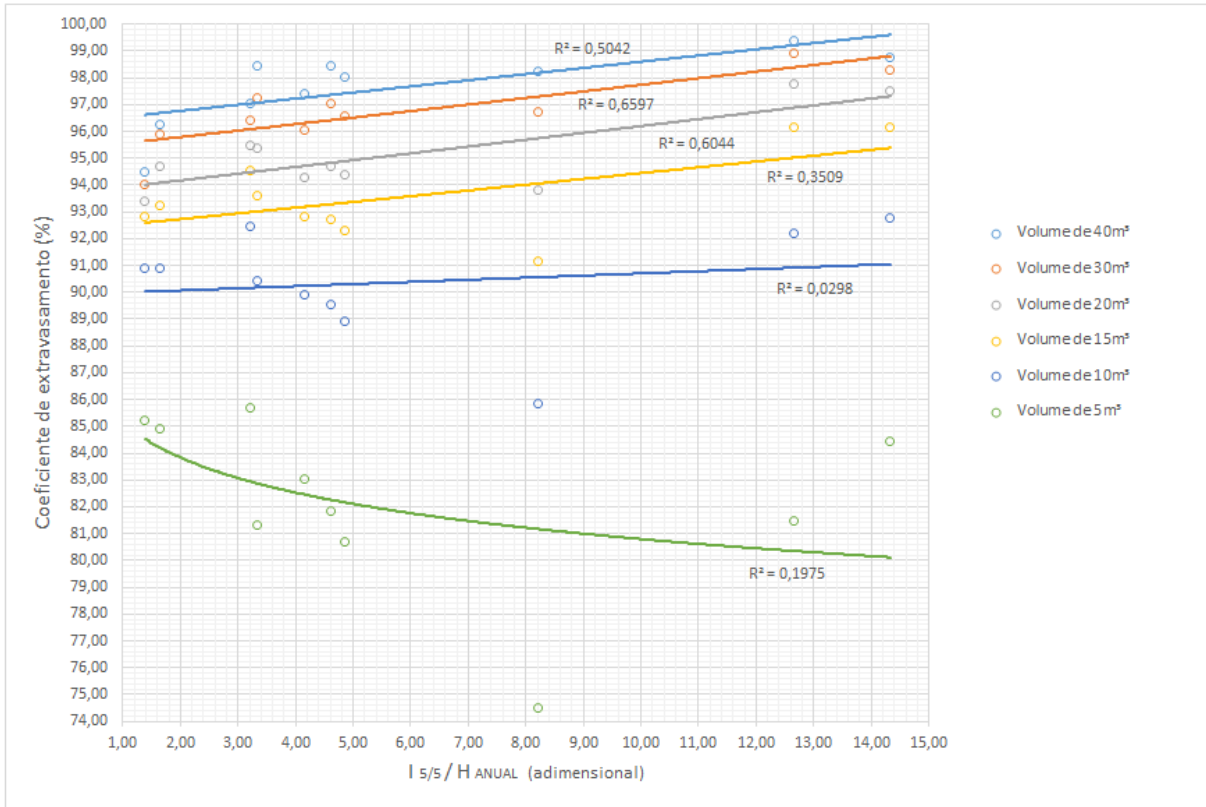


Gráfico 5 - Parâmetro: Razão entre $I_{5/5}$ e o Índice anual de precipitação

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,85 – Padrão Médio

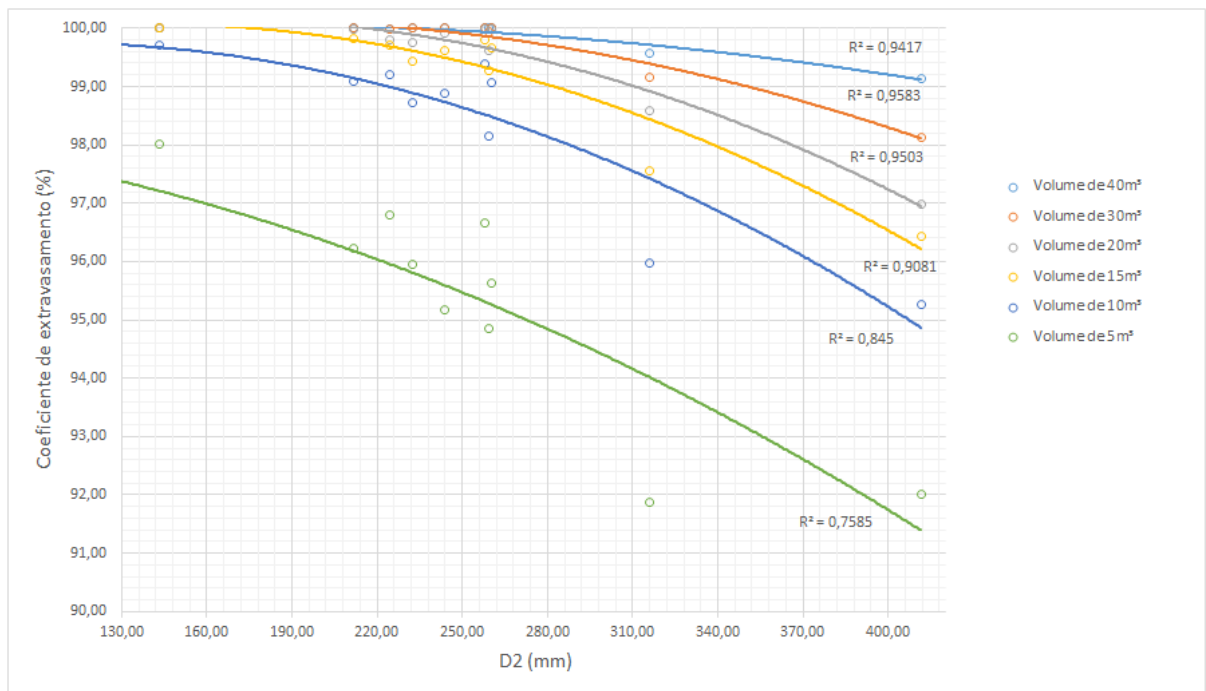


Gráfico 6 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 100 m² - Runoff 0,85 – Padrão Médio

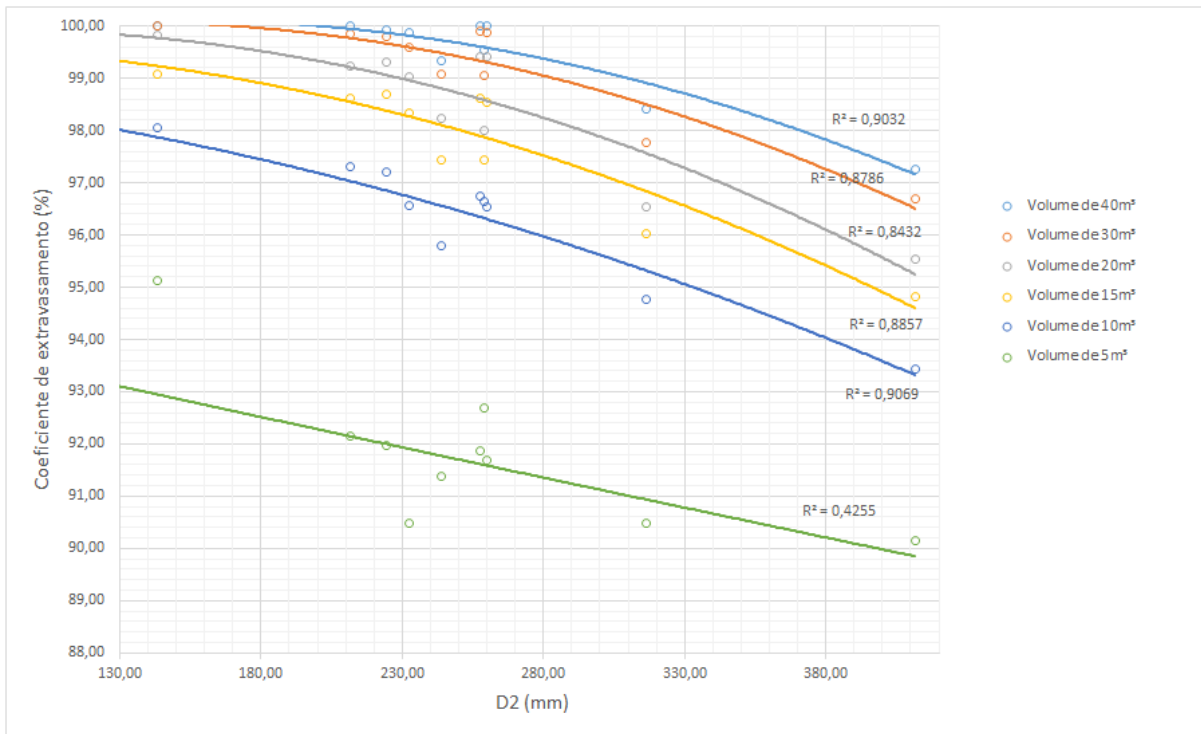


Gráfico 7 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,90 – Padrão Médio

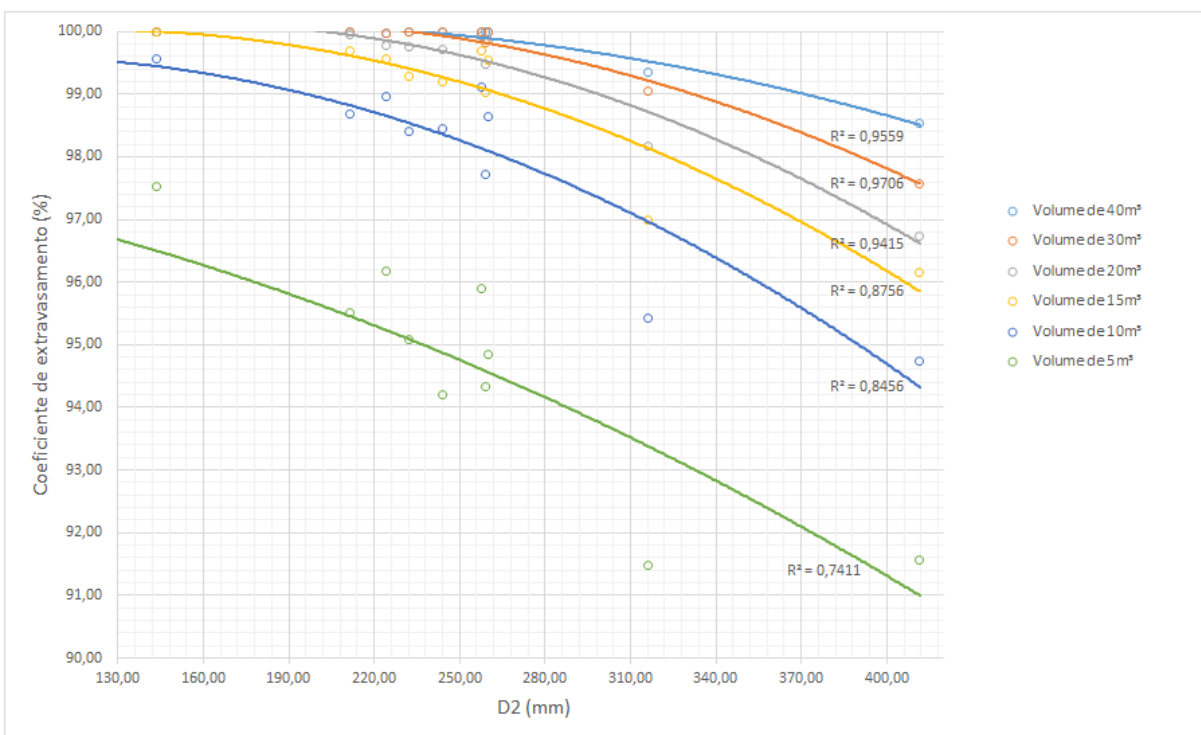


Gráfico 8 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 100 m² - Runoff 0,90 – Padrão Médio

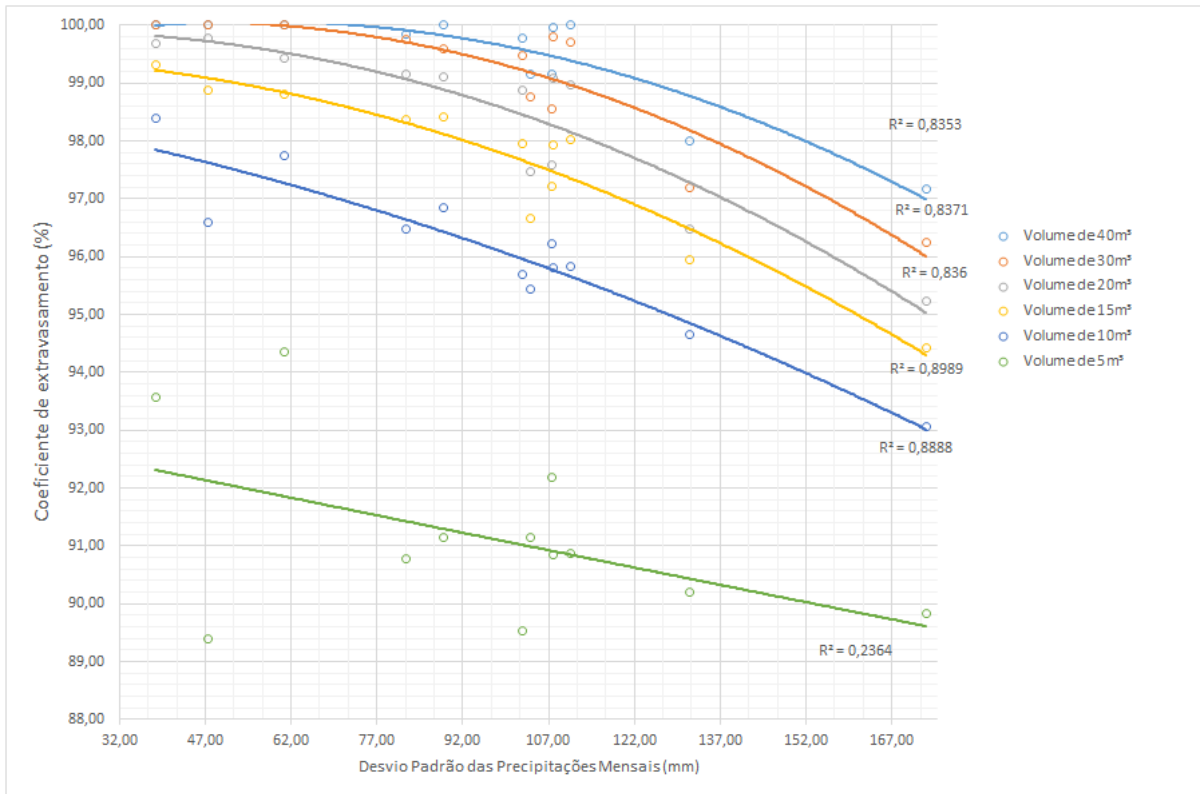


Gráfico 9 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais.

- Cenário: Área de captação 60 m² - Runoff 0,85 – Padrão Popular

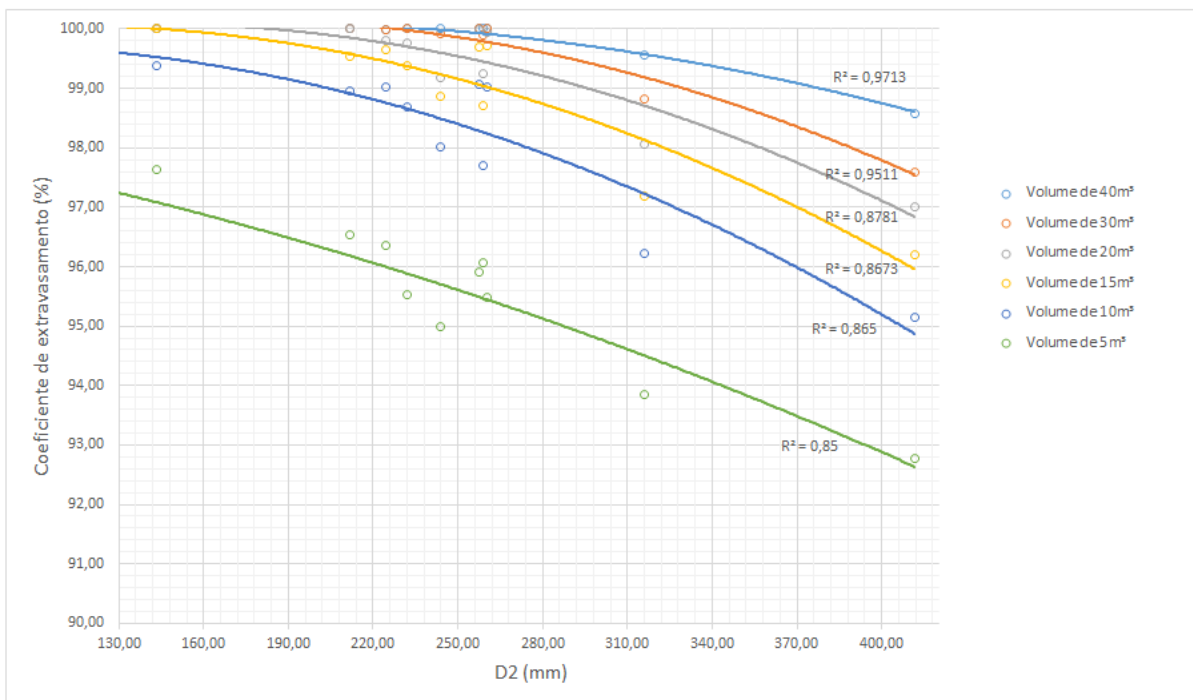


Gráfico 10 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,85 – Padrão Popular

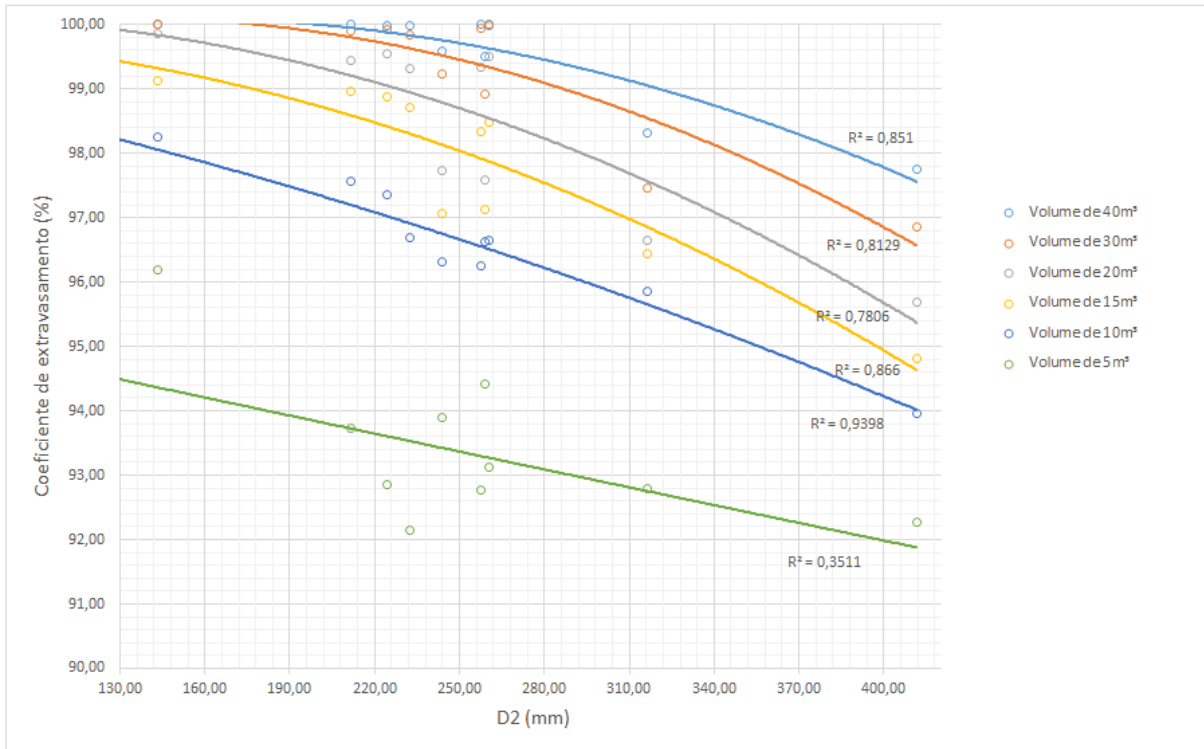


Gráfico 11 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 60 m² - Runoff 0,90 – Padrão Popular

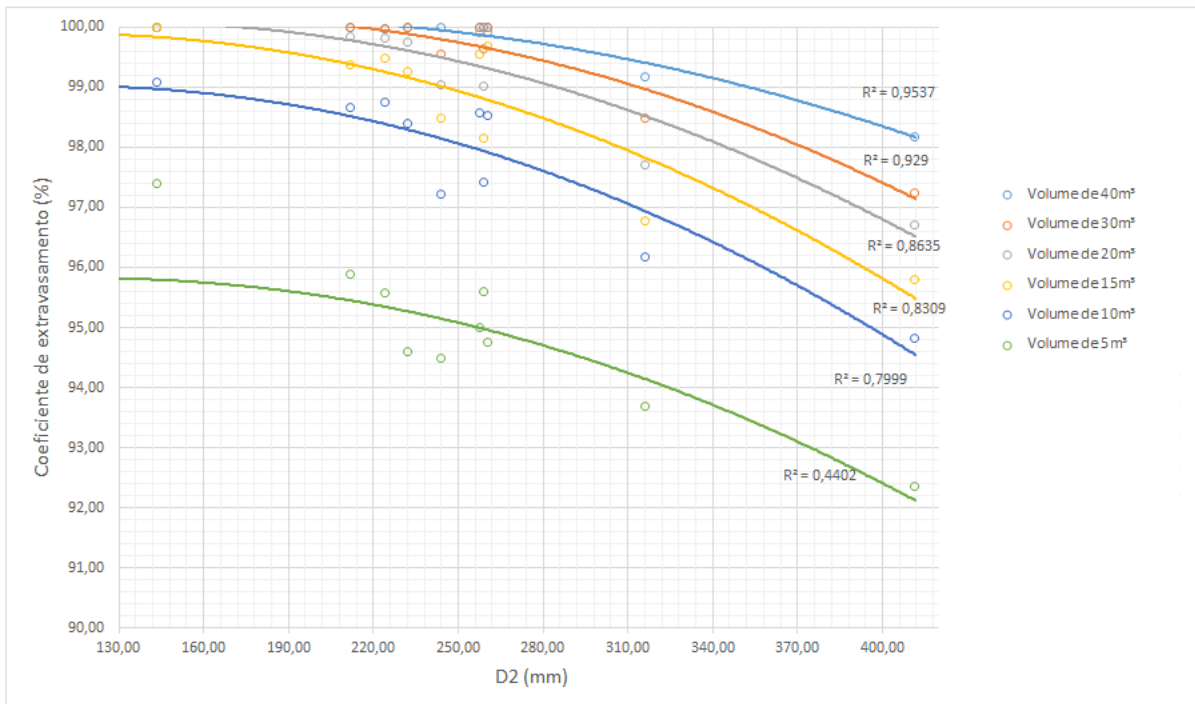


Gráfico 12 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,90 – Padrão Popular

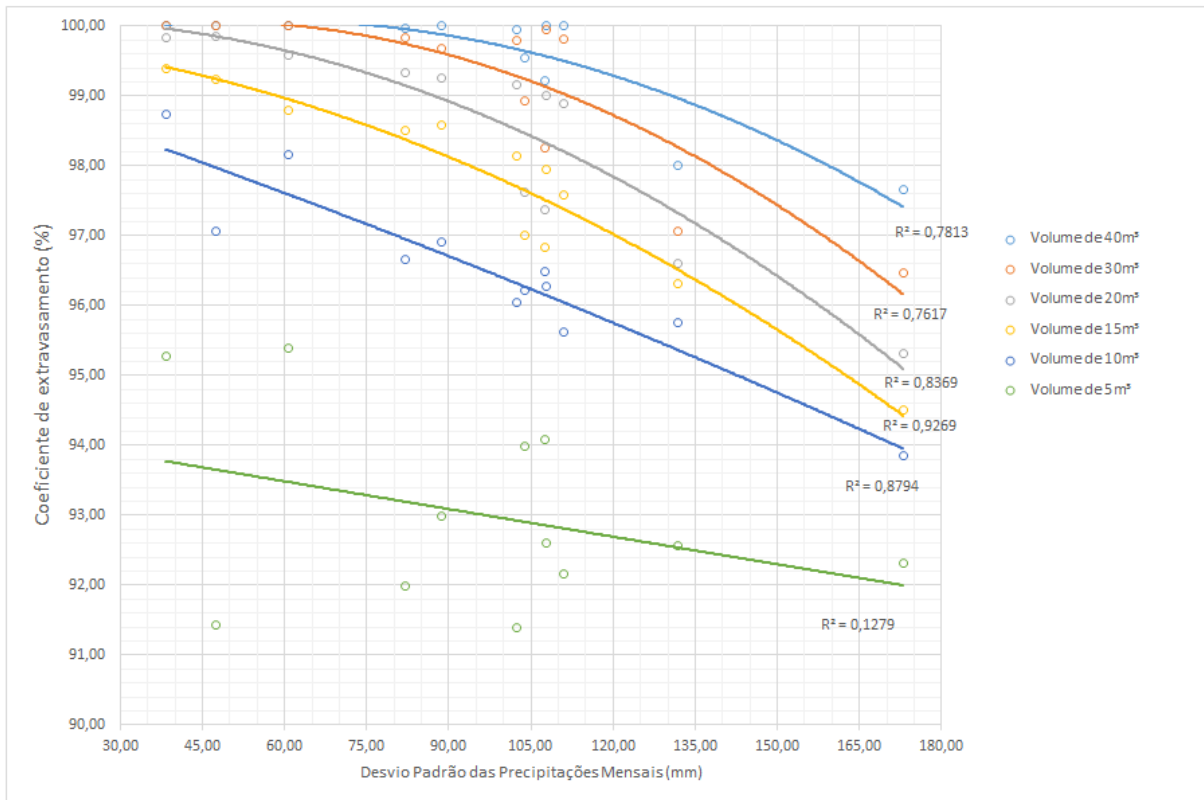


Gráfico 13 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais

7.3. Discussão

O transbordamento do reservatório será sempre maior quando analisado em base diária do que quando em base mensal, já que neste é considerado que a chuva é regularmente distribuída durante os dias e assim os picos diários são subestimados e consequentemente, o transbordamento que os picos causam também são.

Esta análise pode ser facilmente identificada quando se observa o Gráfico 12, por exemplo, em que as curvas para os menores volumes de reservatórios estão sempre abaixo das curvas para os maiores volumes. Quando analisado as curvas de um mesmo determinado volume de dois gráficos de o mesmo cenário sendo apenas as áreas de captação diferentes (Ex. Curva de volume 20m³ dos Gráficos 12 e 13), é perceptível um leve deslocamento para baixo da curva, refletindo uma diminuição dos coeficientes de extravasamento.

Observou-se que as curvas que representam os volumes de reservatórios de 40m³ e 30m³ tendem a atingir os valores máximos de CE (100%) nas situações em que o parâmetro pluviométrico expressa uma menor variação no regime climático da

cidade. Ou seja, em cenários para regiões com climas mais uniformes e reservatório com maiores capacidades de armazenamento, a análise de extravasamento se mostra confiável para o método de Rippl em bases mensais.

A aplicação do trabalho aqui apresentado é voltada para a situação em que já se possui o dimensionamento de um sistema de captação de água pluviais, permitindo ao usuário fazer uma correção do volume de chuva que se espera aproveitar, afim de se obter um valor mais representativo da realidade.

Após a análise dos resultados obtidos, optou-se por determinar um limite mínimo aceitável de 0,60 para o coeficiente de determinação R^2 . As curvas que apresentarem valores abaixo do limite estabelecido serão desconsideradas. Sendo assim, os gráficos contendo apenas as curvas aceitas seguem abaixo:

- Cenário: Área de captação 150 m² - Runoff 0,85 – Padrão Alto

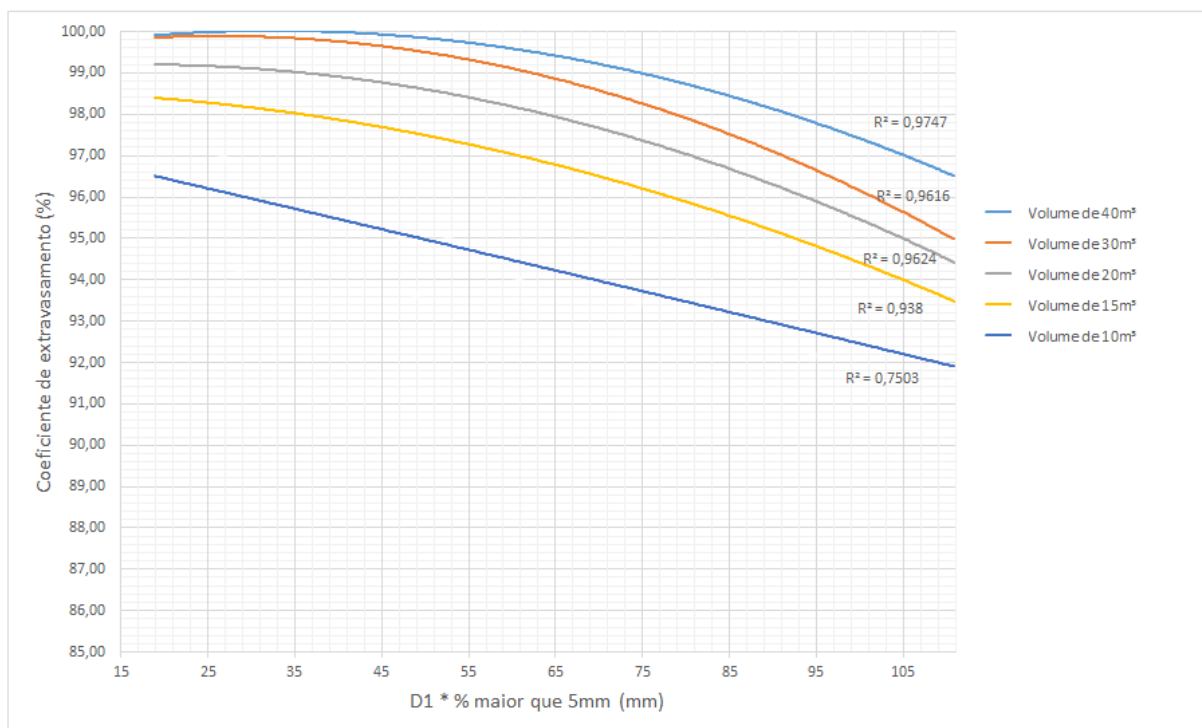


Gráfico 14- Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm

- Cenário: Área de captação 200 m² - Runoff 0,85 – Padrão Alto

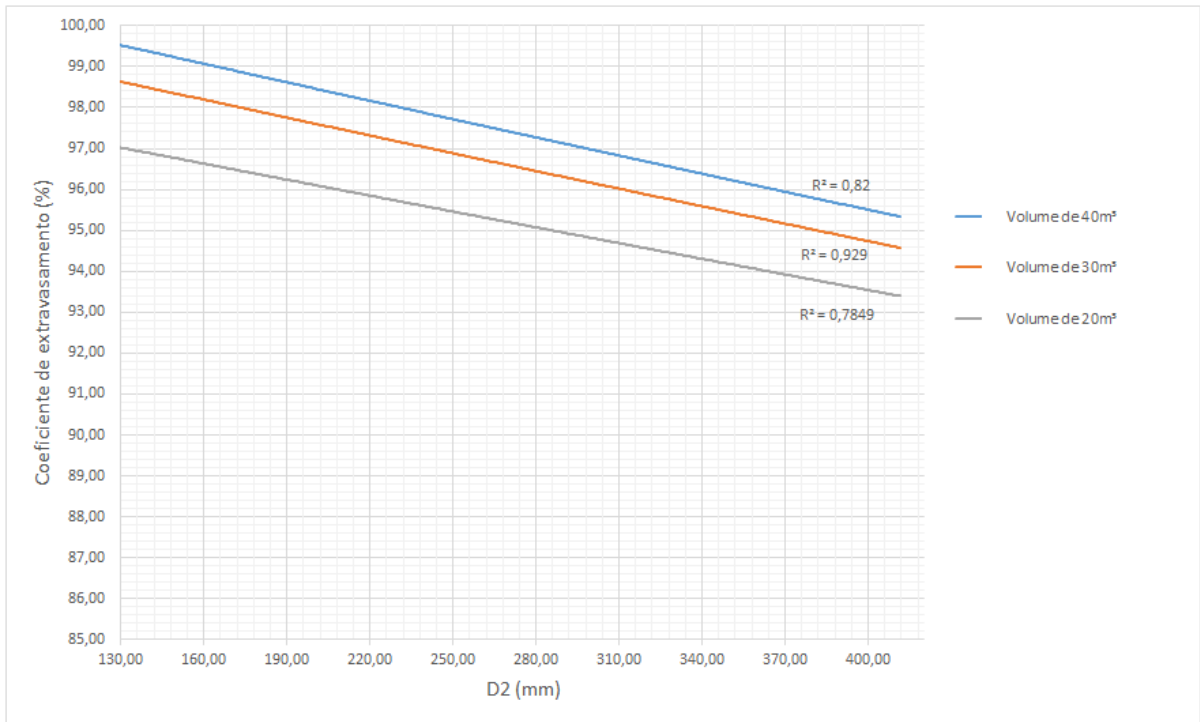


Gráfico 15 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 150 m² - Runoff 0,90 – Padrão Alto

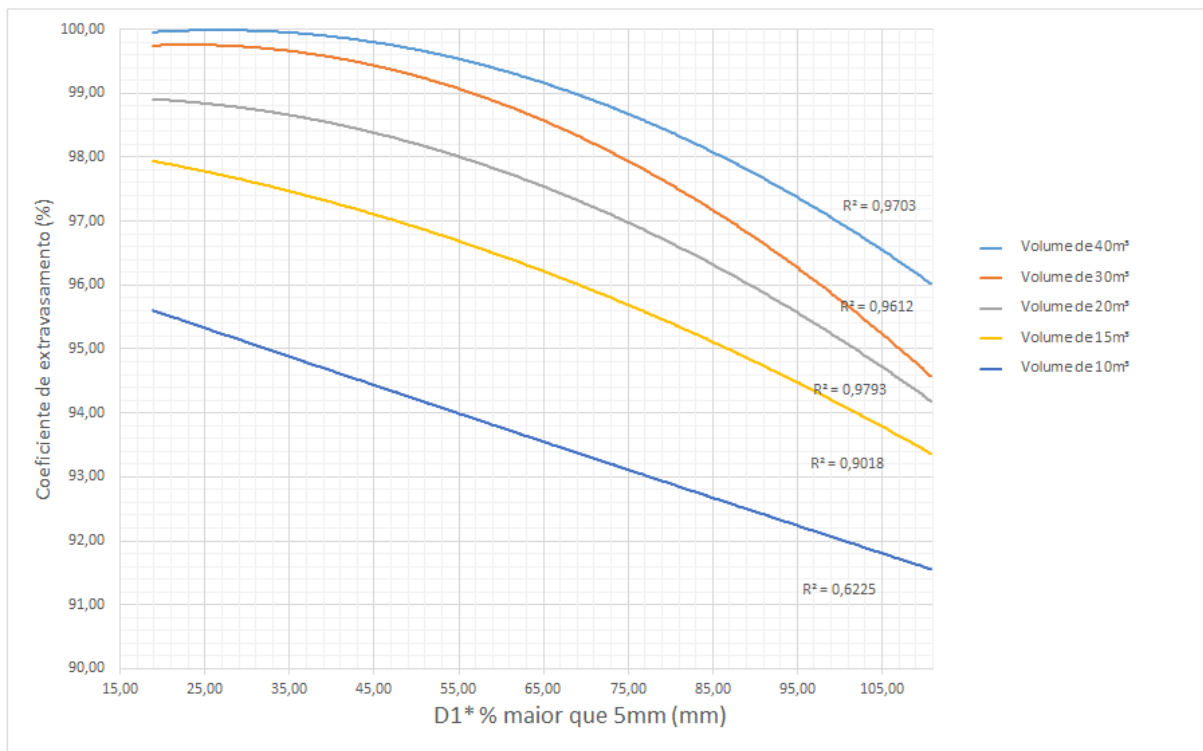


Gráfico 16 - Parâmetro: D1 * porcentagem de dias com precipitação maior que 5mm

- Cenário: Área de captação 200 m² - Runoff 0,90 – Padrão Alto

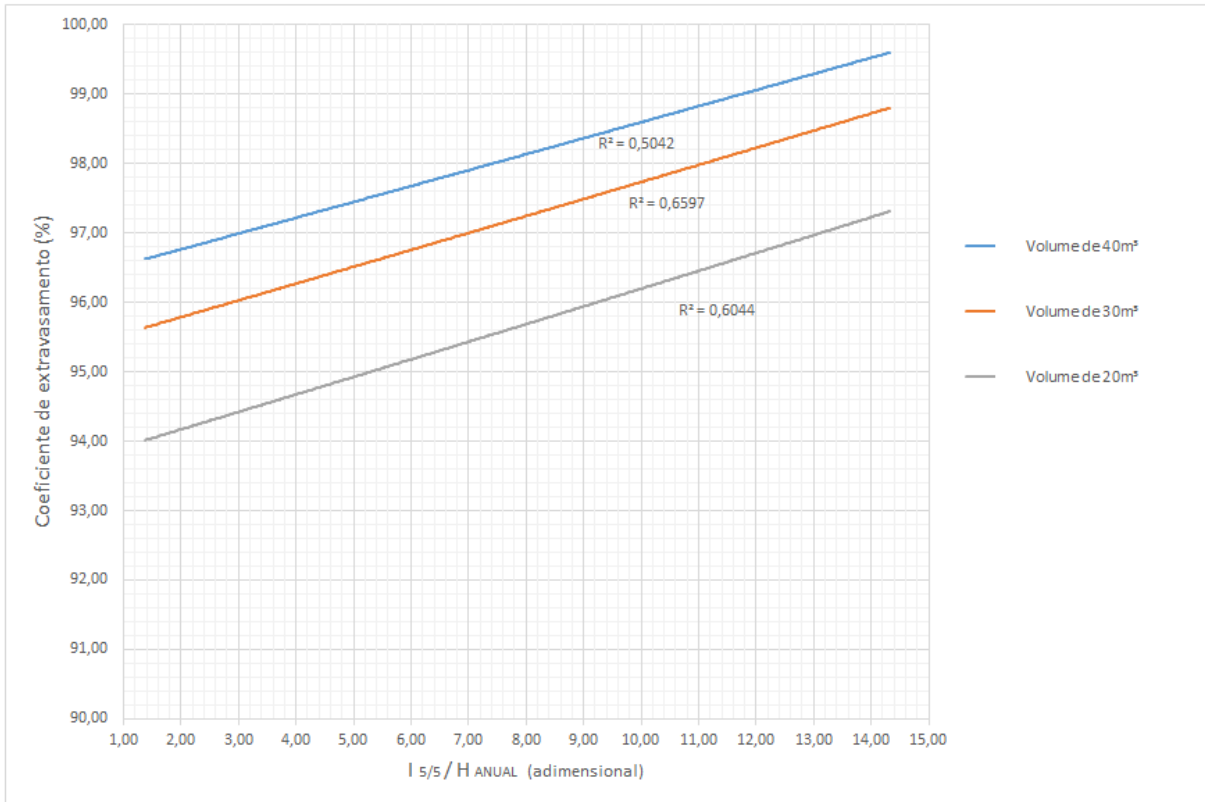


Gráfico 17 - Parâmetro: Razão entre $I_{5/5}$ e o Índice anual de precipitação

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,85 – Padrão Médio

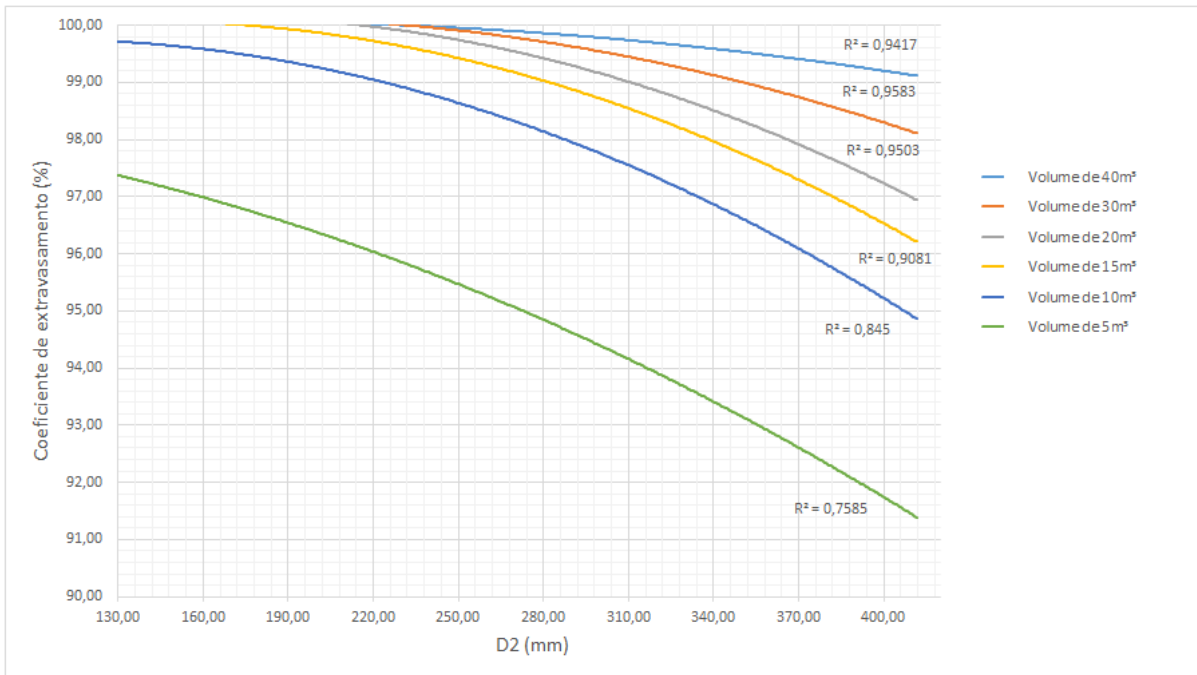


Gráfico 18 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D_2

- Cenário: Área de captação 100 m² - Runoff 0,85 – Padrão Médio

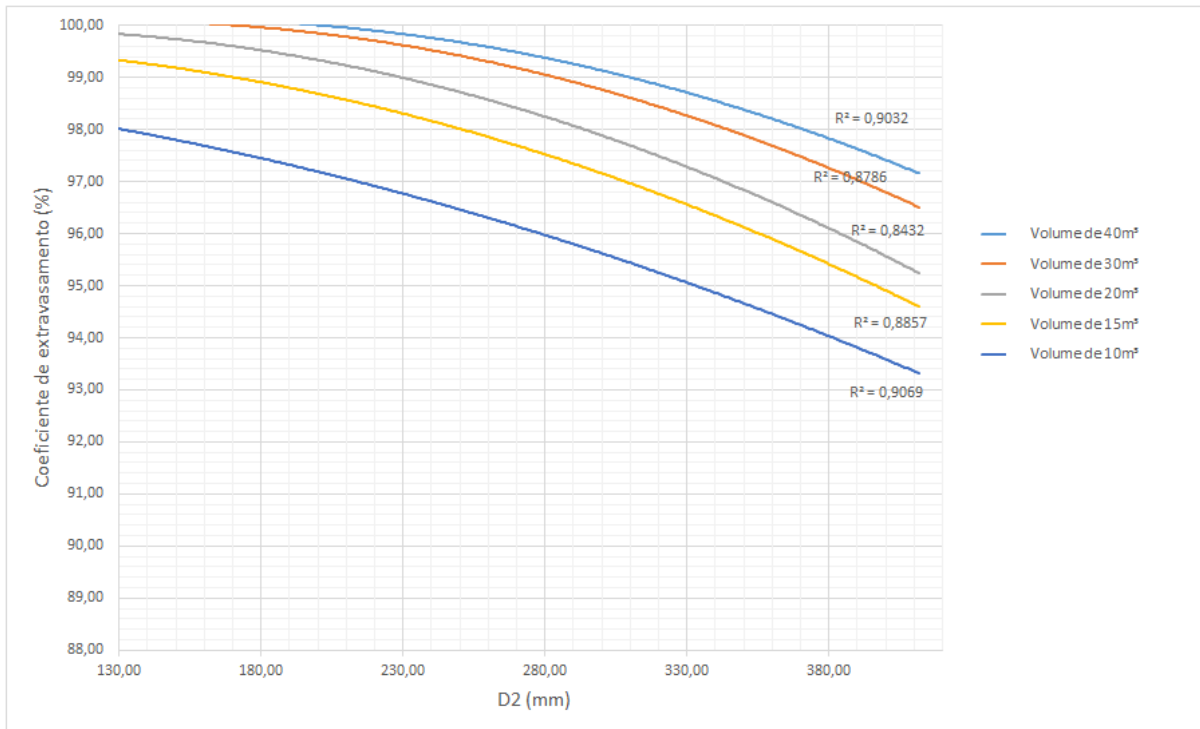


Gráfico 19 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,90 – Padrão Médio

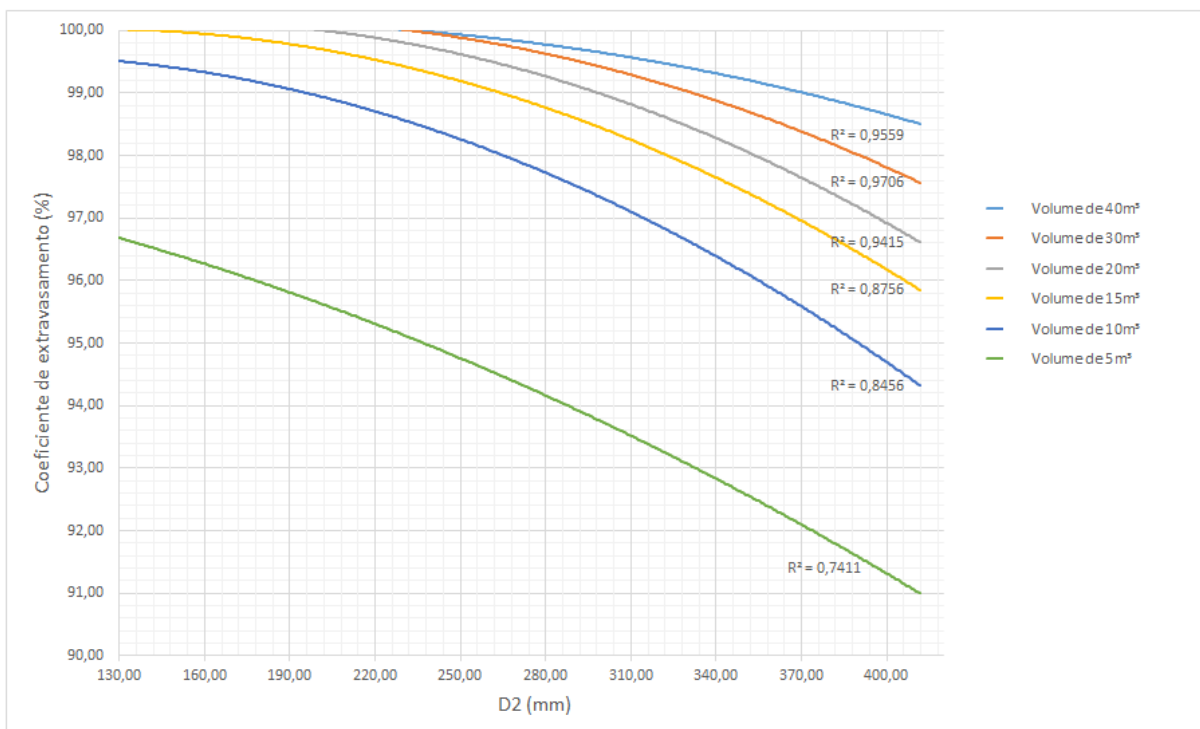


Gráfico 20 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 100 m² - Runoff 0,90 – Padrão Médio

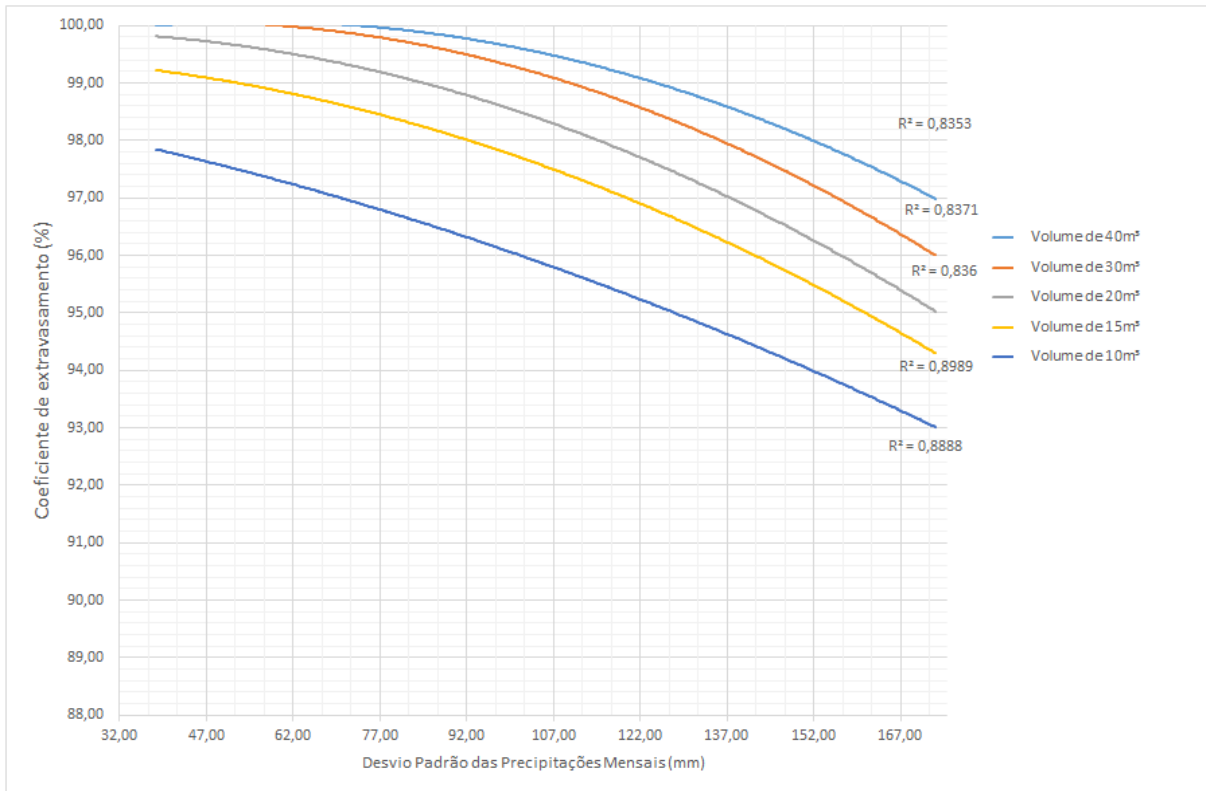


Gráfico 21 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais.

- Cenário: Área de captação 60 m² - Runoff 0,85 – Padrão Popular

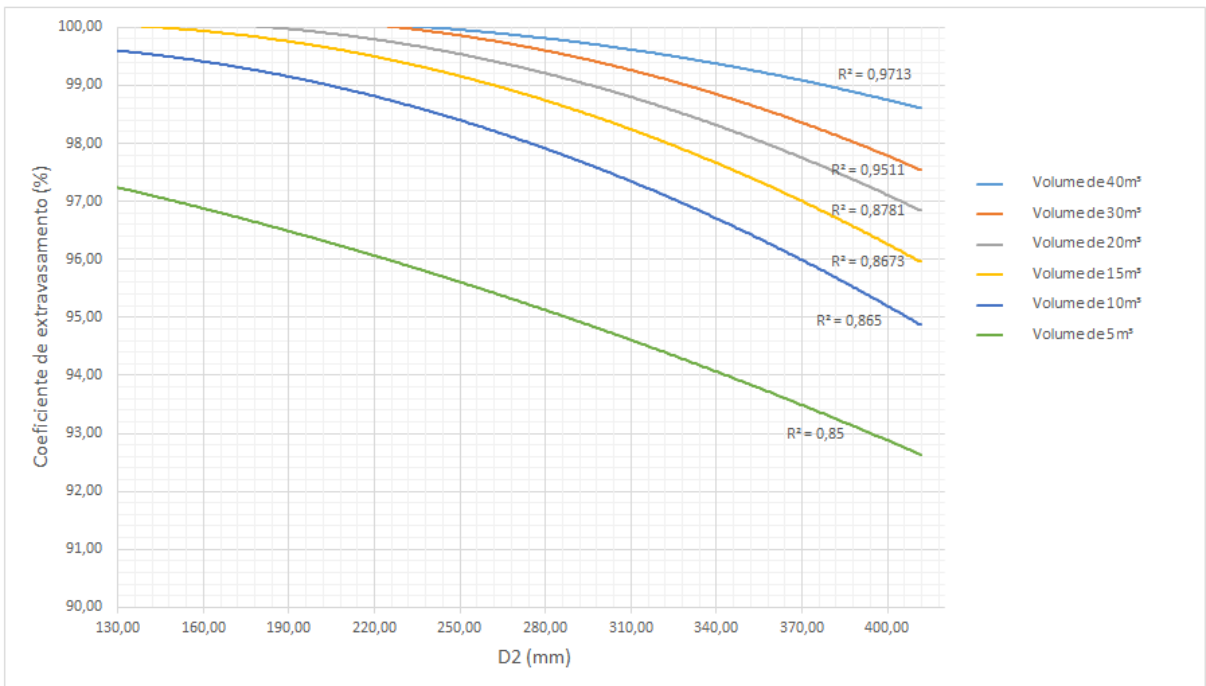


Gráfico 22 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,85 – Padrão Popular

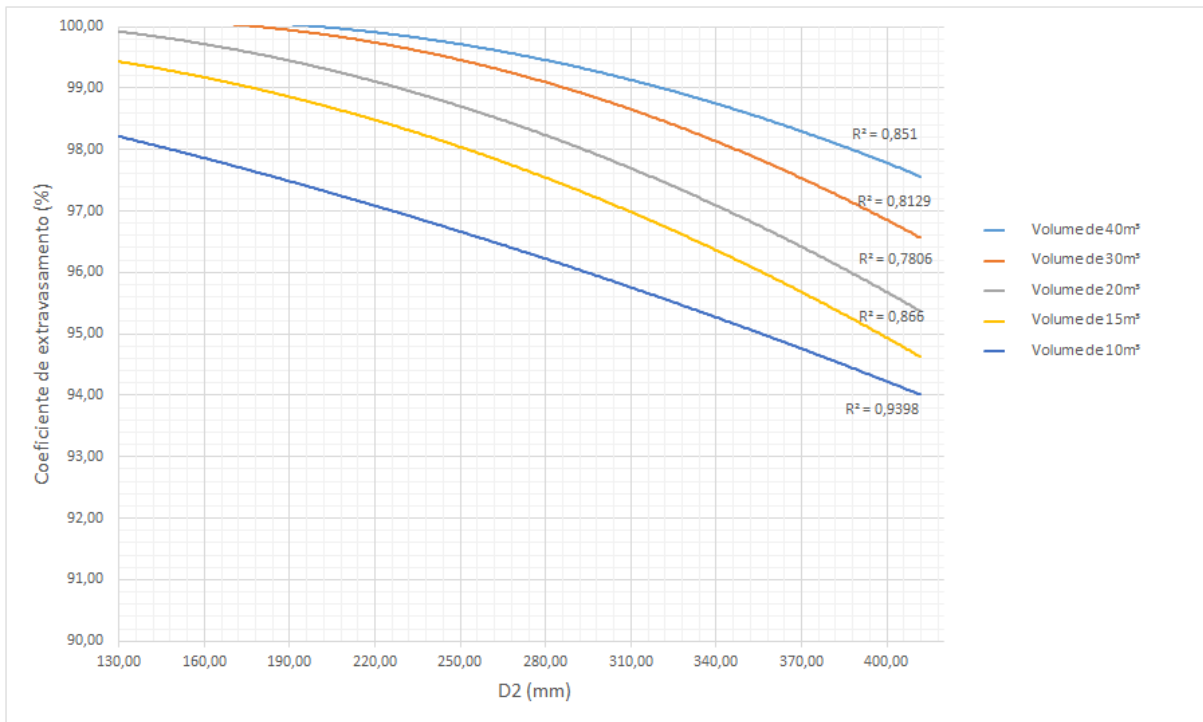


Gráfico 23 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 60 m² - Runoff 0,90 – Padrão Popular

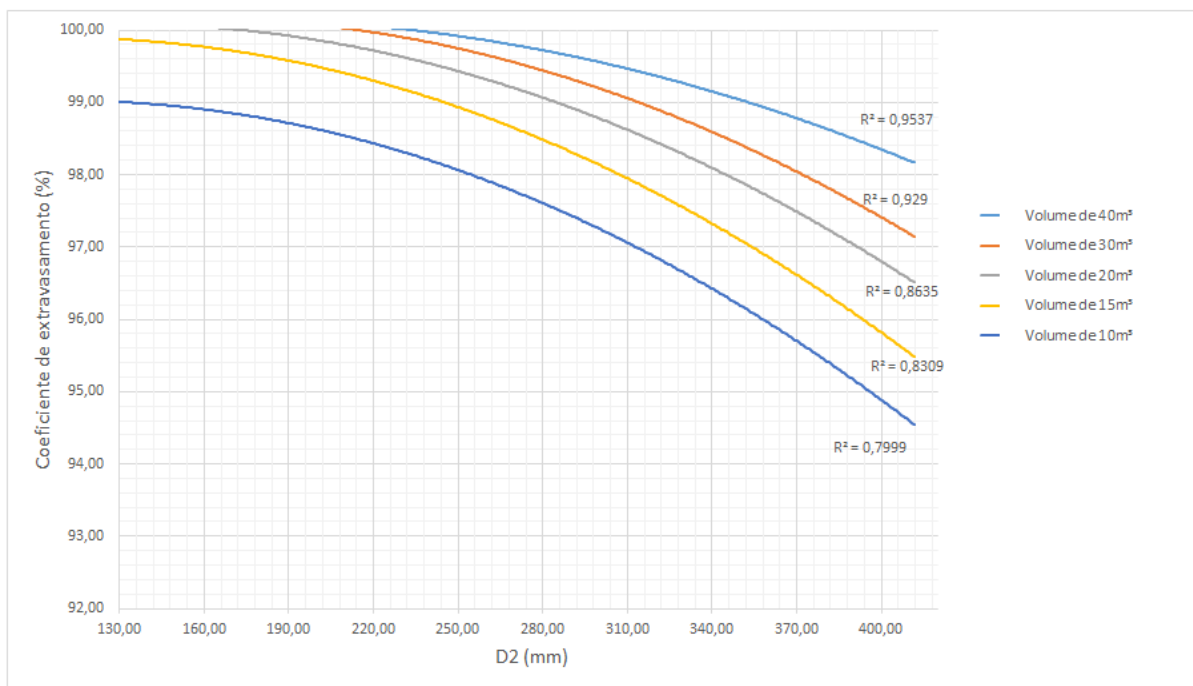


Gráfico 24 - Parâmetro: Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais. D2

- Cenário: Área de captação 75 m² - Runoff 0,90 – Padrão Popular

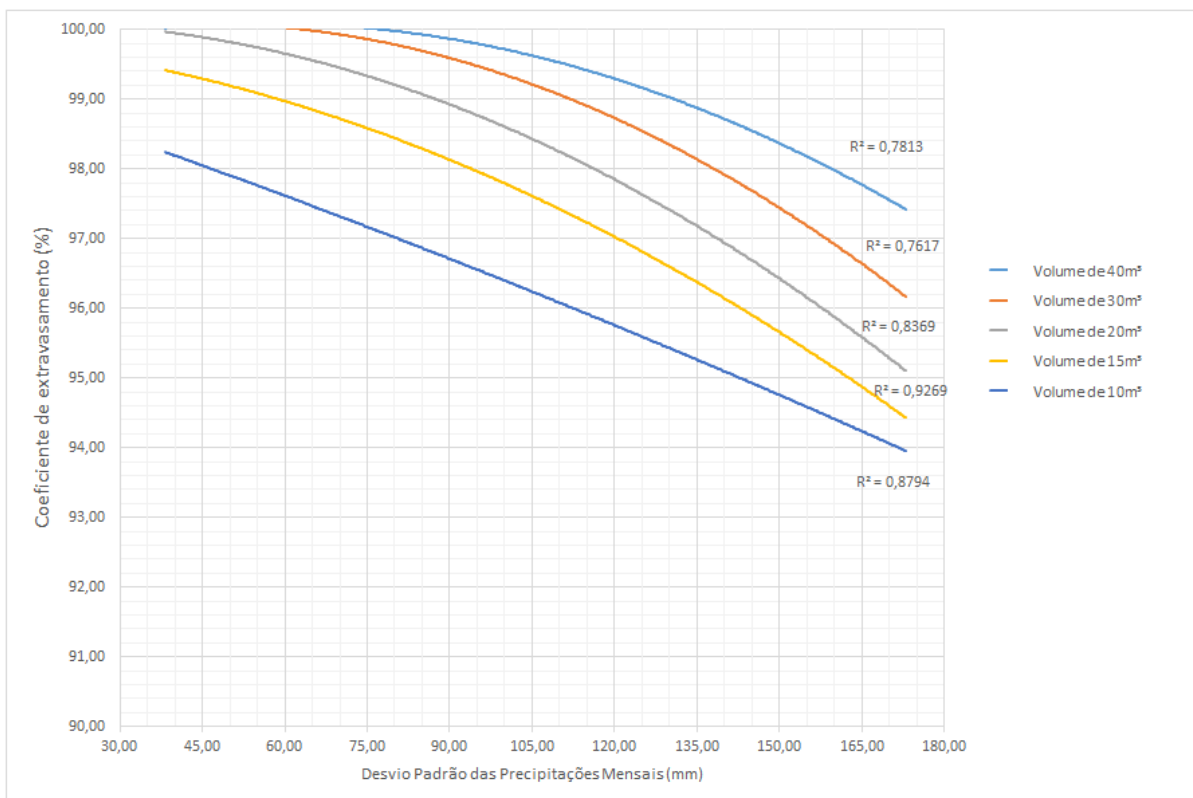


Gráfico 25 - Parâmetro: Desvio padrão das médias das precipitações mensais

O coeficiente de extravasamento, por ser resultado da razão entre o volume aproveitado (volume captado menos o volume transbordado) na aplicação do método rippl em base diária e o volume aproveitado na aplicação em base mensal, irá apresentar valores percentuais maiores à medida que aumenta a capacidade de armazenamento do reservatório e diminui a área de captação do sistema e runoff, sendo essa proporcionalidade expressa da seguinte maneira:

$$CE = f \frac{V}{A * R}$$

Para os cenários de padrão alto e áreas de captação de 200 m² (Gráficos 15 e 17) não foi possível estabelecer um comportamento que expressasse uma boa correlação entre os vários parâmetros pluviométricos aqui analisados e os coeficientes de extravasamento. Esse fato ocorre, pois, o padrão alto expressa um consumo alto de água (devido à grandes áreas de jardins, lavagens de maior número de carros, pisos, piscina, etc.) e quando analisado em base mensal, acaba por absorver a maioria da água captada pelas chuvas, reduzindo os volumes extravasados. Porém, mais uma vez, quando analisado em bases diárias os picos de chuva ocasionam, devido à

grande área de captação, um alto volume de entrada e conseqüentemente maiores volumes extravasados. Essa maior discrepância entre bases mensais e diárias para o mencionado cenário, resulta em coeficientes de extravasamento menores e mais variados, o que dificulta a obtenção de um gráfico com valores de R^2 satisfatórios.

É importante ter conhecimento das limitações que envolvem a aplicação dos gráficos demonstrados. No Brasil, não são todas as regiões ou cidades em que se encontram disponíveis dados pluviométricos, portanto, é importante pesquisar e saber que quanto maiores forem as séries de dados encontradas para se estabelecer o parâmetro pluviométricos, mais representativos serão os resultados obtidos através dos gráficos apresentados.

Sendo assim, os parâmetros que melhor se correlacionam, em ordem decrescente do valor da média dos coeficientes de determinação R^2 de cada gráfico, são:

Tabela 23 - Coeficientes de determinação em ordem decrescente

R ²	Parâmetro	Cenário		
		Área de captação	Runoff	Padrão
0,917	D1 * % maior que 5mm (mm)	150	0,85	Alto
0,897	D2 (mm)	60	0,85	Popular
0,893	D2 (mm)	75	0,85	Médio
0,888	D2 (mm)	75	0,9	Médio
0,887	D1 * % maior que 5mm (mm)	150	0,9	Alto
0,883	D2 (mm)	100	0,85	Médio
0,875	D2 (mm)	60	0,9	Popular
0,859	Desvio Padrão das Precipitações Mensais (mm)	100	0,9	Médio
0,850	D2 (mm)	75	0,85	Popular
0,844	D2 (mm)	200	0,85	Alto
0,837	Desvio Padrão das Precipitações Mensais (mm)	75	0,9	Popular
0,589	I 5/5 / H anual (adimensional)	200	0,9	Alto

D1: Diferença entre a maior e a menor média mensal de precipitação

D2: Diferença entre a média das três maiores e a média das três menores precipitações

H anual: Precipitação média anual em mm

I_{5/5}: Intensidade de chuva de duração 5 minutos e período de retorno 5 anos

7.4. Exemplo de aplicação

A cidade de João Pessoa – PB foi escolhida como exemplo para aplicação dos resultados obtidos. O cenário adotado foi o seguinte:

- Padrão Médio;
- Área de captação de 100 m²;
- Runoff de 0,85; e,
- Volume de reservatório de 10 m³.

Este cenário é o representado pelo gráfico 7, nele o parâmetro hidrológico a ser utilizado é o D2 (Diferença entre a média das 3 maiores e 3 menores médias mensais)

Para a cidade de João Pessoa, foi utilizada uma série de precipitação de 10 anos obtida através do site do INMET.

Tabela 24 - Médias mensais de precipitação para cidade de João Pessoa – PB
Fonte: INMET, 2015

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2004	303,2	128,2	158,8	136,9	302	483,1	475,8	162,5	37,5	27,4	9,1	5,1
2005	37,4	56,6	107,5	125,1	549,5	573,3	156,9	215,8	63,9	25,3	4,1	25,6
2006	7,2	14,6	85,3	197,1	187,9	271,2	139,2	119	65,5	9,7	42	41,8
2007	33,8	166,6	187,1	234,3	240,6	573,7	143,8	273,5	73	30,9	34	12,6
2008	80,6	8,8	299,3	313,5	335,9	397,4	294,1	326,4	86,8	44,9	6,6	60,2
2009	57,7	260,1	138,8	543,1	521,2	303,9	419,8	127,9	77,1	19,3	45,8	25,5
2010	110,9	76,9	30,9	165,9	111,7	256,3	222,4	189	92,5	16	10,1	38,5
2011	223,4	222	66,2	428	484,7	248,7	425,8	215,5	36,5	9,6	45,2	8,4
2012	206,4	141,3	71	47	216,5	538,1	290,5	81,1	36,7	30,5	2	7,5
2013	51,3	39,3	17,5	271,2	185,7	493,5	481,5	252,2	287,5	40,2	33,4	21,4
MÉDIA	111,19	111,44	116,24	246,21	313,57	413,92	304,98	196,29	85,7	25,38	23,23	24,66

Na Tabela 23, em amarelo estão marcadas as três maiores médias de precipitações mensais e em verde as três menores. A média entre as amarelas é igual a 344mm e entre as verdes é 24mm. Sendo assim, o parâmetro D2:

$$D2 = 344 - 24 \rightarrow D2 = 320\text{mm}$$

Utilizando o Gráfico 19, aplicando o valor nas abcissas de 320mm até chegar no ponto de encontro com a curva de volume de 10m³, obtém-se o valor de **95,20 %** para o coeficiente de extravasamento.

Esse valor é utilizado de forma a corrigir o volume de água da chuva aproveitada a partir do dimensionamento pelo método rippl em bases mensais. Desta forma, o real volume pluviométrico que pode ser aproveitado é 4,80% menor que o calculado pelo método para esse exemplo.

8. Conclusão

Conclui-se que é possível correlacionar o coeficiente de extravasamento com parâmetros pluviométricos. Dentre os parâmetros analisados neste trabalho, o D2 foi o que apresentou coeficientes de determinação mais elevados. Desta forma, este parâmetro (D2) pode servir para estimar o coeficiente de extravasamento para uma dada localidade, com a vantagem de ser fácil obter os dados necessários à sua determinação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Abastecimento urbano de água:** Panorama Nacional. Brasília – DF, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12683>. Acesso em 29/05/2016.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Residential End Uses of Water.** Disponível em: <http://www.waterrf.org/publicreportlibrary/rfr90781_1999_241a.pdf>. Acesso em 01/06/2016.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007.** Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>>. Acesso em: 01/06/2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL – ABES. **Perdas em sistemas de abastecimento de água:** diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. Disponível em: <<http://abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>> Acesso em 29/05/2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.527: Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para fins não potáveis – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Coisas que você deve saber sobre a água.** Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Coisas-Que-Voce-Deve-Saber-Sobre-a-Agua-1084.html>>. Acesso em: 28/05/2016

CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei N 10785 de 18 de setembro de 2003.** Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2003/1078/10785/lei-ordinaria-n-10785-2003-cria-no-municipio-de-curitiba-o-programa-de-conservacao-e-uso-razional-da-agua-nas-edificacoes-purae%20Lei%20Curitiba%20pagina%2017>>. Acesso em: 01/06/2016.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Norma técnica Sabesp NTS 181.** Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/NTS181.pdf>>. Acesso em: 30/05/2016

DIAS, S. C. I. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2007.

DRENAGEM URBANA – **Manual de Projeto.** São Paulo - SP: CETESB, 1986.
FREITAS, M. A. V. de. **O estado das águas no Brasil:** Perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília, DF: aneel/mme/ mma-srh/omm, 1999.
FUNDO DE POPULAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS – UNFPA – **População.** Disponível em: <<http://www.unfpa.org.br/novo/index.php/populacao>> Acesso em 28/05/2016.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações.** ed. Rio de Janeiro: Prosab/Abes, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>>. Acesso em: 29/05/2016

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Aproveitamento emergencial de água de chuva.** Disponível em: <http://www.ipt.br/institucional/campanhas/46- aproveitamento_emergencial_de_agua_de_chuva.htm>. Acesso em: 01/06/2016

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados Históricos.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 30/05/2016

LACERDA, N. M. S. **Confiabilidade volumétrica de reservatórios para armazenamento de água de chuva em municípios brasileiros.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – **Portaria No 2.914 – 12/12/2011** – Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 28/05/2016.

OKAMURA, E. K. **Economia de Água em Bacias Sanitárias.** Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 2, n. 1, 2006.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA – FAO. **Brasil** disponível em: <<https://www.fao.org/h2o.asp>>. Acesso em 29/05/2016

PALÁCIO DO PLANALTO. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei N 9.433 /1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 29/05/2016.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Distribuição da água no mundo**. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em 25/05/2016.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Distribuição da água no mundo**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/a-distribuicao-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em 25/05/2016.

SINDUSCON (SP) – **Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo**: Conservação e Reuso da Água em Edificações. São Paulo – SP: Prol Editora Gráfica, 2005.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo – SP: Navegar, 2009.

TRATA BRASIL. **Saneamento é saúde**: Situação Saneamento no Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 29/05/2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **How much water is on earth?** Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/gallery/global-water-volume.html>>. Acesso em: 30/05/2016.