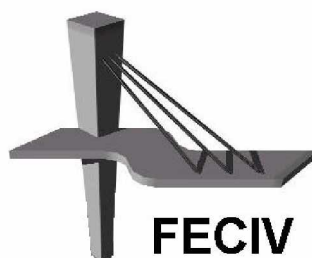


**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ESTIMATIVA DA ECONOMIA DE ÁGUA  
POTÁVEL NOS CAMPI DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU) A PARTIR  
DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL**

**ARTHUR MIGUEL ROMANO**

**UBERLÂNDIA, 29 de março de 2017.**



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



# **ESTIMATIVA DA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL NOS CAMPI DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU) A PARTIR DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira**

Uberlândia, 29 de março de 2017.

Romano, A.. 125 pp. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

R759e  
2017      Romano, Arthur Miguel, 1986-  
            Estimativa da economia de água potável nos campi / Arthur Miguel  
            Romano. - 2017.  
            110 f. : il.

            Orientador: Carlos Eduardo Pereira.  
            Coorientador: Nemésio Neves Batista Salvador.  
            Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
            Inclui bibliografia.

            1. Engenharia civil - Teses. 2. Água - Reutilização - Teses. 3. Águas  
pluviais - Reutilização - Teses. 4. Balanço hidrológico - Teses. I.  
Pereira, Carlos Eduardo. II. Salvador, Nemésio Neves Batista. III.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

---

CDU: 624



## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

**ATA Nº:** 181/2017

**CANDIDATO:** Arthur Miguel Romano

**Nº. Matrícula:** 11512ECV001

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira

**TÍTULO:** "Estimativa da economia de água potável nos campi da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) a partir do aproveitamento da água pluvial em função da estimativa de consumo não potável de água e dos métodos de dimensionamento de reservatórios".

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**LINHA DE PESQUISA:** Planejamento e Infraestrutura Urbana

**PROJETO DE PESQUISA:** Infraestrutura Urbana

**DATA DA DEFESA:** 29 de março de 2017

**LOCAL:** Sala de Projeções, bloco 1Y. **HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO:** 9h 10min - 12h 10min.

Reuniu-se na **Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGE, assim composta: Professores Doutores: **Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador – PPGE/UFU; Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP e Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira** orientador do candidato. Ressalta-se que o **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi** participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Rio Claro/SP, o Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador participou por meio de vídeo conferência desde a cidade de São Carlos/SP e o presidente da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato aprovado. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

Professor Orientador: **Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP**

Membro interno: **Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador – PPGE/UFU**

Uberlândia, 29 de março de 2017.



# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus pais e a minha irmã, por sempre me incentivarem, por seu amor incondicional, meus melhores amigos, meu alicerce.

Aos meus amigos de Uberlândia: Raissa, Sandro, Janet e Wagner, amigos que sempre estiveram comigo nesse intervalo do mestrado, sempre me apoiando com sua amizade.

Ao meu orientador Carlos Eugênio Pereira por sua paciência, simplicidade e por ter me ajudado bastante na execução desta dissertação.

Aos meus colegas de trabalho, em especial ao meu colega de sala Victor Scates por seu apoio e orientação.

Ao meu co-orientador Nemésio Neves Batista Salvador por sua orientação e atenção.

Ao pessoal da DIRAC (Diretoria de Administração e Controle Acadêmico) que nos liberou boa parte dos dados necessários para a execução desta dissertação.

Aos meus colegas de mestrado Luan, Ricardo e Keven pelo apoio nos estudos durante todo o curso.

Ao pessoal da prefeitura universitária que sempre me ajudaram com a liberação de dados, em especial: Emerson e Eunir.

A todos os professores do curso, pela atenção e dedicação ao programa de Pós-Graduação.

# RESUMO

Este trabalho busca estimar a eficiência da economia de água potável no Campus Santa Mônica, Universidade Federal de Uberlândia, utilizando reservatórios de água pluvial para a substituição de água tratada por água de chuva para fins não potáveis. Por meio de informações obtidas junto a Prefeitura Universitária foi possível estimar a demanda diária de água de abastecimento para os Blocos desse Campus, em especial para aqueles com predominância de salas de aulas. A fim de verificar a capacidade de obtenção de água de chuva nas áreas impermeáveis buscou-se no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) os dados de precipitação diários no período de 1980 a 2015. Com as informações de oferta e demanda de água das principais edificações da área de estudo, construiu-se em Planilhas Eletrônicas, o balanço hídrico diário e a estimativa da eficiência de reservatórios na faixa de volume de 10 a 80m<sup>3</sup>. O período médio de retorno do capital investido variou de 4,1 a 41,3 anos em função das características de cada bloco, tais como: área do telhado, volume do reservatório e demanda. Verificou-se que a escolha do reservatório com base apenas na porcentagem da demanda atendida é ineficaz, o bloco 3Q, por exemplo, apresentou para a demanda 10L/discente.dia uma porcentagem de demanda atendida 32% e 65% superior respectivamente as demandas de 15 e 20L/discente.dia, porém a economia média anual de água potável para a demanda de 20L/discente.dia foi, em média, 9% e 24% maior que as economias médias das demandas de 15 e 10L/discente.dia respectivamente. Além disso, através de uma regressão linear múltipla foram propostas fórmulas para o cálculo da economia anual nos campi da UFU em função do tipo de telhado da cobertura, da população do bloco, do volume do reservatório de armazenamento instalado, da demanda diária por água e da área total da cobertura. Para todos os campi da UFU o coeficiente de correlação R foi superior a 0,83.

Palavras-chave: Utilização de água pluvial - Balanço Hídrico diário- Demanda.

Romano, A.. 125 pp.MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2016.

# ABSTRACT

This work seeks to estimate the efficiency of the drinking water economy in the Santa Mônica Campus, Federal University of Uberlândia, using rainwater reservoirs to replace rainwater treated water for non potable purposes. By means of information obtained from the University City Hall, it was possible to estimate the daily supply water demand for the Blocks of this Campus Especially those with a predominance of classrooms . In order to verify the capacity to obtain rainwater in the impermeable areas, the daily rainfall data from 1980 to 2015 was searched on the National Water Agency's website (Hidroweb). With the information on water supply and demand Of the main buildings in the study area, it was built on Electronic Sheets, the daily water balance and the estimation of the efficiency of reservoirs in the volume range of 10 to 80m<sup>3</sup>. The average return period of invested capital ranged from 4.1 to 22.8 years, depending on the characteristics of each block, such as roof area, reservoir volume and demand. It was verified that the choice of the reservoir based only on the percentage of the demand served is ineffective, for example, block 3Q presented a demand percentage of 32% and 65%, respectively, higher than demand Of 15 and 20L / student.day, but the average annual saving of drinking water for the demand of 20L / student.day was on average 9% and 24% higher than the average savings of 15 and 10L / student demands. Day respectively. In addition, through a multiple linear regression, formulas were proposed for the calculation of the annual savings in UFU campuses according to the type of coverage roof, the population of the block, the volume of installed storage tank, daily demand for water and Of the total coverage area. For all UFU campuses the correlation coefficient R was higher than 0.83.

Keywords: Rainwater utilization - Daily Water Balance - Demand.

# SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

---

## SÍMBOLOS

$\Sigma$	Somatório
%	Porcentagem
<	Menor que
>	Maior que
=	Igual

## ABREVIATURAS

cm	Centímetro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
L	Litro
mm	Milímetro

## SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
BADESC	Banco do Estado de Santa Catarina
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CEMIG	Centrais Elétricas de Minas Gerais
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agrimensura
DIRAC	Diretoria de Controle e Administração Acadêmica
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

MG	Minas Gerais
PURA	Programa de Uso Racional de Água
PURAE	Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USP	Universidade de São Paulo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VPL	Valor Presente Líquido



# SUMÁRIO

---

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	20
1.2 OBJETIVO GERAL.....	20
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
2.1-IMPORTÂNCIA DE FONTES DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA .....	22
2.2-IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA HIDROLÓGICO. ....	25
2.3-POLÍTICAS DE INCENTIVO A UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL .....	27
2.4-RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO .....	29
2.5- PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL.....	32
2.6-DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL EM ESPAÇOS PÚBLICOS. ....	34
2.7-ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL.....	35
<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
3.1-ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.2-DADOS PLUVIOMÉTRICOS UBERLÂNDIA .....	45
3.3-CÁLCULO DAS ÁREAS DOS TELHADOS DO CAMPUS SANTA MÔNICA.....	47
3.4-ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO MÉDIA NOS BLOCOS DO CAMPUS SANTA MÔNICA.....	47
3.5-CÁLCULO DOS VOLUMES DOS RESERVATÓRIOS E DA ECONOMIA DE ÁGUA .....	48
3.6-REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA DETERMINAÇÃO DE FÓRMULA DA ECONOMIA.....	52

3.7-ESTIMATIVA PARA O CUSTO DE EXECUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAMENTO: .....	54
<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1-ÁREA DA COBERTURA DAS EDIFICAÇÕES .....	57
4.2- DEFINIÇÃO DA POPULAÇÃO E DEMANDA NO CAMPUS SANTA MÔNICA .....	59
4.3-ESTUDOS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PARA CADA BLOCO.....	66
4.4-APLICAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA OBTENÇÃO DE FÓRMULA PARA ESTIMATIVA DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL ANUAL .....	98
4.4.1 UBERLÂNDIA .....	98
4.4.2 ITUIUTABA .....	101
4.4.3 MONTE CARMELO .....	103
4.4.4 PATOS DE MINAS .....	105
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>111</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Proporção de água doce e água salgada no planeta. ....	23
Figura 2- Distribuição de água doce pelo Brasil. ....	24
Figura 3- Precipitação Pluvial média no Brasil. ....	24
Figura 4- Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. ....	26
Figura 5- Tendências e medidas para a conservação de água potável.....	29
Figura 6- Detalhamento de reservatório para descarte dos primeiros milímetros de chuva.....	32
Figura 7- Detalhamento de filtro tratamento água pluvial. ....	33
Figura 8- Detalhamento esquemático da captação de águas pluviais.....	36
Figura 9 -Relação entre o volume do reservatório adotado e sua respectiva eficiência no atendimento a demanda por água para fins não potáveis. ....	37
Figura 10- Ilustração de gráfico comparando a eficiência para diferentes reservatórios e demandas. ....	38
Figura 11- Detalhamento das porcentagens do consumo de água para diversos fins.....	41
Figura 12- Mapas de ocupação do Campi da Universidade Federal de Uberlândia.....	44
Figura 13- Chuva média mensal município de Uberlândia .....	46
Figura 14- Média mensal de precipitação nas cidades que possuem campus da UFU no período de 1980 a 2015. ....	53
Figura 15- Porcentagens de consumo de água potável de acordo com seus usos finais na Universidade de São Paulo -USP. ....	63
Figura 16- Gráfico porcentagem de economia de água potável, 3QSM. ....	66
Figura 17- Volume médio diário extravasado em m <sup>3</sup> , 3QSM. ....	67
Figura 18- Gráfico economia de água potável em relação aos meses e ao volume adotado do reservatório inferior para uma demanda de 20L, 3QSM. ....	68
Figura 19- Comparação da economia anual de água potável para as demandas por água não potável de 10, 15 e 20 litros.....	69

Figura 20- Gráfico período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 3QSM.	70
Figura 21- Gráfico porcentagem de economia de água potável, 1BSM.	71
Figura 22- Volume diário médio extravasado em m <sup>3</sup> , 1BSM.	71
Figura 23- Gráfico economia de água potável em relação aos meses e ao volume adotado do reservatório inferior, 1BSM.	73
Figura 24- Comparação da economia anual de água potável para as demandas por água não potável de 10, 15 e 20 litros.	73
Figura 25- Gráfico período de retorno em anos da construção do reservatório inferior 1BSM.	74
Figura 26- Porcentagem de economia em relação ao volume adotado do reservatório, 5O-A.	75
Figura 27- Volume diário médio extravasado em m <sup>3</sup> , 5O-A.	75
Figura 28- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A.	77
Figura 29- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A.	77
Figura 30- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5O -A.	78
Figura 31- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o reservatório adotado, 5S.	79
Figura 32- Volume médio diário extravasado em m <sup>3</sup> , 5S.	79
Figura 33- Economia de água potável durante os meses em relação ao reservatório adotado, 5S.	81
Figura 34- Economia média anual de acordo com a demanda, 5S.	81
Figura 35- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5S.	82
Figura 36- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o reservatório adotado, 5R-A.	83
Figura 37- Volume diário extravasado em m <sup>3</sup> , 5R-A.	83
Figura 38- Gráfico economia de água potável durante os meses em função do volume do reservatório adotado, 5R-A.	85
Figura 39- Economia média anual de acordo com a demanda, 5R-A.	85

Figura 40- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5R-A. ....	86
Figura 41- Porcentagem de economia de água potável em função do volume do reservatório adotado, 3D.....	87
Figura 42- Volume diário extravasado em m <sup>3</sup> , 3D.....	87
Figura 43- Economia de água potável durante os meses do ano em função do reservatório adotado, 3D.....	88
Figura 44- Economia média anual de acordo com a demanda, 3D. ....	89
Figura 45- Período de retorno em anos da construção do reservatório de acordo com seu volume. ....	90
Figura 46- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o volume adotado, 1C. ....	90
Figura 47- Volume diário médio extravasado em m <sup>3</sup> , 1C. ....	91
Figura 48- Gráfico economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume adotado do reservatório, 1C:.....	93
Figura 49- Economia média anual de acordo com a demanda, 1C. ....	93
Figura 50- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 1C.....	94
Figura 51- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P. ....	95
Figura 52- Volume diário extravasado de acordo com o reservatório adotado, 3P.....	95
Figura 53- Economia média anual de acordo com a demanda, 3P.....	96
Figura 54- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P. ....	97
Figura 55- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 3P.....	98



# LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1- Porcentagem do consumo de água para fins não potáveis em edifícios públicos ....	34
Tabela 2- Utilização média de água potável em áreas internas e externas.....	35
Tabela 3- Tempo de amortização- método do máximo aproveitamento dos reservatórios durante o período chuvoso.....	40
Tabela 4- Período de amortização pelo método de RIPPL.....	40
Tabela 5- Ocupação do solo no Campus Santa Mônica .....	45
Tabela 6 - Detalhes das estações pluviométricas utilizadas. ....	53
Tabela 7- Preços recolhidos da tabela SINAPI .....	55
Tabela 8- Áreas e tipos dos telhados das coberturas do Campus Santa Mônica. ....	57
Tabela 9- Coeficiente de <i>runoff</i> de diferentes materiais de cobertura. ....	59
Tabela 10- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (matutino) - ano 2016.....	60
Tabela 11- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (vespertino) - ano 2016.....	60
Tabela 12- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (noturno) - ano de 2016 .....	60
Tabela 13- População média de alunos por semana em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica - ano de 2016 .....	61
Tabela 14- População média de alunos por dia em blocos do Campus Santa Mônica (segunda a sexta-feira , ano de 2016).....	62
Tabela 15- População média de alunos por dia em blocos do Campus Santa Mônica (nos sábados - ano de 2016). ....	62
Tabela 16- Demanda média de alunos por dia de segunda a sexta-feira nos blocos do Campus Santa Mônica- ano de 2016. ....	64
Tabela 17- Demanda média de alunos por dia nos blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica nos sábados - ano de 2016.....	64

Tabela 18- Demanda média por água potável nos blocos do Campus Santa de segunda a sexta-feira - ano de 2016. ....	65
Tabela 19- Economia de água potável por mês e por ano (m <sup>3</sup> ) de acordo com o volume do reservatório adotado 3QSM.....	68
Tabela 20- Economia de água potável por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 1BSM: .....	72
Tabela 21- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A: .....	76
Tabela 22- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5S. ....	80
Tabela 23- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5R-A.....	84
Tabela 24- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado .....	88
Tabela 25- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 1C:.....	92
Tabela 26- Economia de água potável (m <sup>3</sup> ) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P: .....	96
Tabela 27- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Uberlândia . ....	99
Tabela 28- Dados estatísticos da regressão Uberlândia.....	100
Tabela 29- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Uberlândia. ....	100
Tabela 30- Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla de acordo com a área do telhado em Uberlândia. ....	101
Tabela 31- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Ituiutaba.....	101
Tabela 32- Dados estatísticos da regressão Ituiutaba. ....	102
Tabela 33- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Ituiutaba. ....	102
Tabela 34 - Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Ituiutaba.....	103
Tabela 35 - Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Monte Carmelo.....	103
Tabela 36- Dados estatísticos da regressão de Monte Carmelo. ....	104
Tabela 37- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Monte Carmelo. ....	104

Tabela 38- Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Monte Carmelo.....	105
Tabela 39- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla para Patos de Minas...	105
Tabela 40- Dados estatísticos Patos de Minas.....	106
Tabela 41- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Patos de Minas. ....	106
Tabela 42 - Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Patos de Minas. ....	107

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento das cidades tem ocorrido de maneira desordenada, e isso acaba gerando grandes problemas sejam eles sociais, estruturais e em especial ambientais. Como exemplo, a impermeabilização do solo com a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial é um dos principais problemas ambientais observados nas regiões urbanizadas, as quais possuem bastantes áreas impermeáveis, tais como: telhados, calçadas, pavimentos asfálticos, lajes e estruturas em geral.

A falta de planejamento de obras de drenagem e a não utilização de medidas de controle na fonte, como telhados verdes, pavimentos porosos, entre outros, acabam por agravar esse problema. Desta forma, o aumento do escoamento superficial gera prejuízos financeiros às cidades e à população que é atingida diretamente pelas enchentes.

Na cidade de Uberlândia-MG, esses problemas não são diferentes, com áreas impermeáveis, aumento do escoamento superficial e suas consequências, tais como enchentes e perdas materiais. Infelizmente, é comum em eventos chuvosos com alta intensidade, a cidade passar por problemas com alagamento das principais avenidas e em alguns bairros mais populosos.

Algumas medidas têm sido tomadas, em especial nas cabeceiras da bacia urbana do córrego Jataí. No qual tem sido tomadas medidas para controle de enchentes com a construção de reservatórios de retenção. Tal medida tem auxiliado na retenção das águas pluviais nessa bacia, contudo, ainda não se trata de uma solução definitiva e que venha a resolver o problema.

Ressalta-se, a necessidade de medidas pontuais, como intervenções nos lotes, onde

cada morador poderia instalar, e reter a água pluvial de seu lote em reservatórios, podendo utilizá-la para limpeza, rega do jardim ou até mesmo descarte posterior à chuva.

Nesse sentido, atualmente, existem várias ações que buscam estudar e aplicar medidas de uso racional da água. Destacam-se o PURA (Programa de Uso Racional de Água) na Universidade de São Paulo e o PURAE (Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações) em Curitiba, cuja Lei Municipal 10.785/2003 exige reservatórios de água pluvial em edificações novas.

Os problemas relacionados com a falta de água, devido à escassez de chuvas decorrentes de períodos prolongados de seca, vem na contramão das enchentes descritas anteriormente e, em especial com a perda progressiva de sua qualidade, devido ao lançamento de cargas poluidoras sem o devido tratamento. Por isso, a falta de água potável vem se tornando um grande problema nos centros urbanos, e medidas como o uso racional e campanhas educativas contra o desperdício de água são medidas mitigadoras para este problema.

No Brasil sempre se pensou em abundância de água, pois 12% de toda a água doce do planeta estão em território brasileiro. Porém, é de conhecimento geral os problemas de seca no nordeste, e não se pensava que este poderia ser um problema mais grave, e que pudesse atingir outras regiões do Brasil, destaque para as secas ocorridas recentemente na região Amazônica e no Estado de São Paulo.

Ainda existem dúvidas se a ocorrência dessas secas é decorrente de mudanças climáticas ou um processo cíclico, que ocorre a cada período definido de anos, afinal a maioria dos estudos relacionados com esse tema são muito recentes e requer maior atenção por parte dos gestores de recursos hídricos.

Como a demanda global por água vem crescendo de forma bastante acelerada nos últimos anos, estudos sobre a utilização de fontes alternativas para economia de água potável, tais como a utilização de água pluvial, vem ganhando destaque.



Neste contexto, se enquadram os Campi da (UFU), onde boa parte são de áreas impermeáveis que poderiam ser aproveitadas na captação e aproveitamento de água pluvial de seus blocos. A UFU possui sete campi universitários, sendo quatro na cidade de Uberlândia e três avançados nas cidades de Monte Carmelo-MG, Ituiutaba-MG e Patos de Minas-MG.

A proposta deste trabalho é definir a capacidade do Campus Santa Mônica em gerar oferta de águas pluviais para ser usada para fins não potáveis em suas edificações. As simulações de diferentes volumes de reservatórios enterrados foram realizadas utilizando uma planilha eletrônica, com dados diários de chuva do município de Uberlândia-MG entre os anos de 1980 a 2015, o que permitiu conhecer com mais detalhes (diários) o comportamento dos reservatórios testados. Por meio dos resultados, construíram-se gráficos calculando a eficiência do reservatório em função do seu volume, e o período médio de amortização do investimento.

Em contrapartida, estimou-se a demanda média diária por água potável que poderia ser utilizada para fins não potáveis em cada bloco do Campus. A lista contendo as aulas, relação de alunos por disciplinas, nome do bloco, capacidade das salas de aulas, duração das aulas, nome das disciplinas e o dia da semana, foram obtidas por meio de uma planilha cedida pela DIRAC (Diretoria de Administração e Controle Acadêmico). Assim, foi possível relacionar a oferta de água pluvial e a demanda por água não potável neste Campus universitário, a fim de buscar maior eficiência no processo de uso de água de chuva.

Utilizando a planilha de balanço hídrico diário variando-se as áreas das coberturas dos telhados, a população do bloco, a demanda por água para fins não potáveis, o coeficiente *runoff* e o volume dos reservatórios de armazenamento, retirou-se 6048 amostras de economia anual de água potável. Colocou-se a economia anual como variável dependente das cinco variáveis independentes, acima citadas, e, através da ferramenta análise de dados/ regressão linear múltipla do Microsoft EXCEL, chegou-se as fórmulas para o cálculo da economia de água potável anual em, m<sup>3</sup>, dos municípios de Uberlândia, Monte Carmelo, Patos de Minas e Ituiutaba.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Em razão da crise hídrica enfrentada no Brasil nos últimos anos, muito tem se falado na utilização de água pluvial para economia de água potável. A Universidade Federal de Uberlândia vêm investindo bastante em sustentabilidade, com muitos projetos já executados em vários campi e muitos em execução. Este trabalho visa, através do balanço hídrico diário, estimar a eficiência da instalação de reservatórios inferiores de água pluvial na economia de água potável e, o tempo médio de retorno do investimento utilizado para construção dos mesmos. Além de formular equações para a estimativa de economia anual de água potável nos campi dos municípios de Uberlândia, Ituiutaba, Monte Carmelo e Patos de Minas.

## **1.2 OBJETIVO GERAL**

Esta dissertação de mestrado tem por objetivo estimar a eficiência da economia de água potável e retorno financeiro da instalação de reservatórios de água pluvial em substituição a água tratada para fins não potáveis. Utilizando dados de precipitação do período de 1980 a 2015 realizando-se o balanço hídrico diário e calculando a eficiência dos reservatórios de acordo com o seu volume e a demanda dos Blocos estudados.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtenção das curvas de economia dos reservatórios inferiores de água pluvial de acordo com o volume adotado e a demanda a demanda média dos Blocos.
- Determinar a viabilidade econômica da instalação do reservatório, com cálculo do período médio de retorno do investimento da construção do reservatório inferior.

# CAPÍTULO 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1–IMPORTÂNCIA DE FONTES DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA

Segundo Daniell; Coombes; White (2014), vários países e governos estão propondo inovações a fim de apoiar programas de desenvolvimento mais sustentáveis para garantir o uso da água no futuro. O acesso à água potável é dito frequentemente como a crise mundial que define o século XXI (AGNEW, 2011).

A demanda global de água cresceu duas vezes mais rápido que a população do mundo ao longo das últimas décadas. Segundo Wang; Zimmerman (2016) na última projeção realizada, a demanda global de água vai aumentar em 55 % entre os anos de 2000 a 2050.

Em muitas partes do mundo, o crescimento acelerado da demanda de água nas zonas urbanas têm gerado pesquisas sobre a utilização de águas pluviais, substituindo a água tratada para fins não potáveis (CAMPISANO; MODICA 2012; LI *et al.*, 2015). Segundo Salla *et al.* (2013), o aumento na demanda de água para consumo humano e a contínua poluição dos cursos de água fazem com que este recurso se torne cada vez mais valioso para o desenvolvimento de uma região.

O aproveitamento de águas pluviais é cada vez mais uma peça importante nos quesitos de gestão sustentável da água (WARD *et al.*, 2012). Atualmente, têm-se buscado a diminuição no consumo de água nas residências com a utilização de água pluvial para fins não potáveis (UMAPATHI *et al.*, 2013).

Uma imagem de conhecimento geral é a que representa a proporção entre água doce e água salgada na Terra, conforme mostra a Figura 1.



Fonte: Adaptado Tomaz (2011).

De acordo com Li; Wan; Ma (2010) a falta de água potável está se tornando cada vez mais um dos principais problemas enfrentados por muitos países, a demanda de água continua a aumentar devido ao crescimento populacional e ao aumento no padrão de vida da população. Cada vez mais, o uso de sistemas de captação de água da chuva e o tratamento de águas cinza têm sido ferramentas adequadas para a economia de água potável.

O aproveitamento de águas pluviais é uma moderna e relativamente barata tecnologia para economia de água potável, e tem ganhado cada vez mais espaço como uma prática sustentável da gestão da água, o que economiza água e reduz picos de vazão pluvial urbana (LONDRA *et al.*, 2015).

Segundo Annecchini (2005) podem ser citados como benefícios do aproveitamento de água pluvial: a redução do escoamento superficial nas grandes cidades diminuindo prejuízos como grandes inundações, substituição da água potável por água de chuva, sistema relativamente barato e sem impactos ambientais, utilizam basicamente componentes já existentes nas edificações, redução da captação e de tratamento de água para atender as demandas nas zonas urbanas.

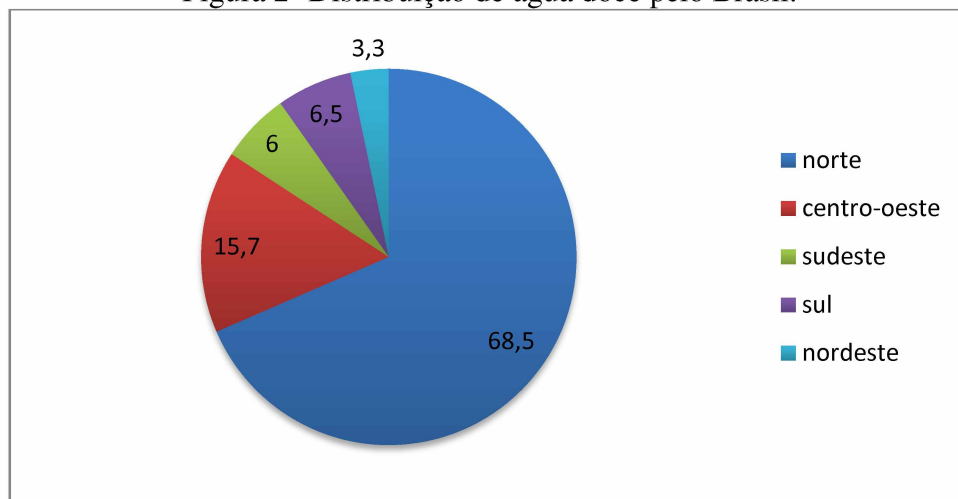


O aproveitamento de água de chuva pode colaborar para economizar os recursos hídricos e para prevenir a escassez da água potável nos sistemas de distribuição municipais (BEZERRA *et al.*, 2010)

"A água de chuva nos centros urbanos pode ser aproveitada em atividades que não necessitam de água potável, como, por exemplo, na descarga de bacias sanitárias, na irrigação de jardins e na limpeza de pisos, equipamentos e carros, o tipo de tratamento utilizado depende da qualidade da água captada" (MAY; 2004).

A Figura 2 representa a distribuição da água doce pelas regiões do país.

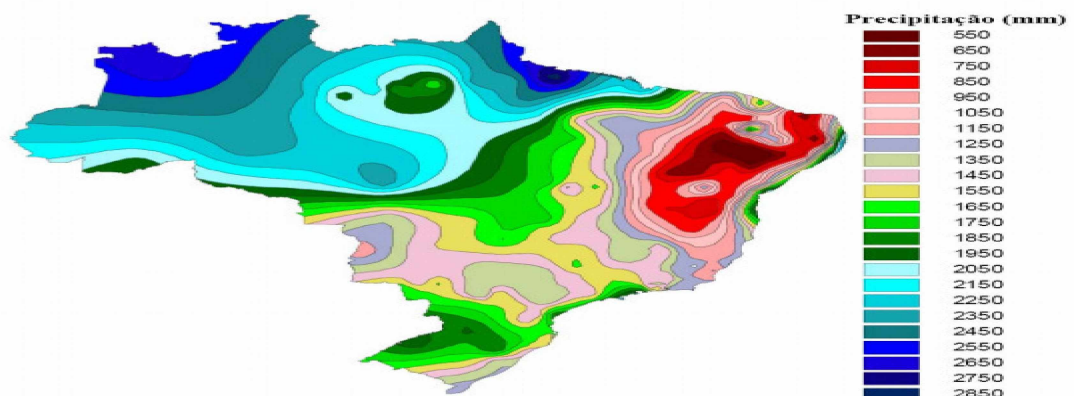
Figura 2- Distribuição de água doce pelo Brasil.



Fonte: Tomaz (2011).

A Figura 3 representa o gráfico da média de precipitação anual no Brasil da década de 60 até a década de 90.

Figura 3- Precipitação Pluvial média no Brasil.



Fonte: Rocha 2009, apud Ana 2005.

## **2.2-IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO SISTEMA HIDROLÓGICO.**

“A água pluvial é encarada, pela legislação brasileira, como esgoto pois, ela usualmente vai dos telhados, e dos pisos para as bocas de lobo onde, como “solvente universal”, vai carreando todo tipo de impurezas, dissolvidas, suspensas, ou simplesmente arrastadas mecanicamente, para um córrego que vai acabar dando num rio que por sua vez vai acabar suprindo uma captação para Tratamento de Água Potável. Claro que essa água sofreu um processo natural de diluição e autodepuração, ao longo de seu percurso hídrico, nem sempre suficiente para realmente depurá-la” (CETESB, 2016).

“Telhados são os primeiros candidatos para aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas. Suas características interferem diretamente nos aspectos quantitativos e qualitativos da água pluvial captada” (FARRENY, R. *et al.*, 2011)

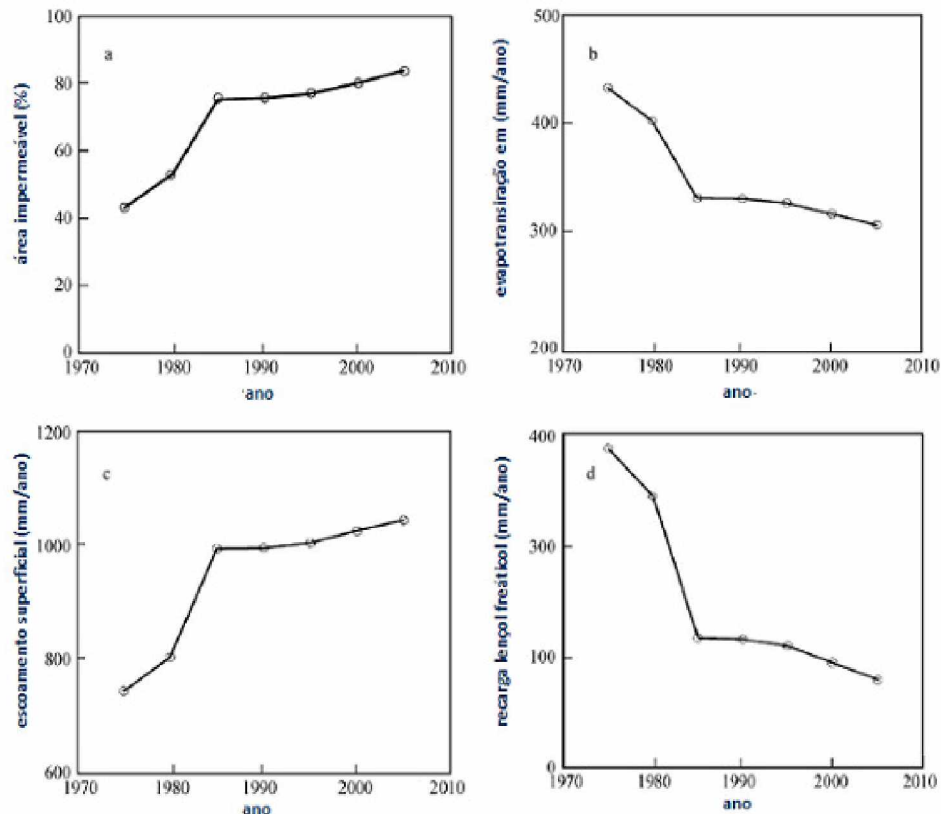
Ainda de acordo com Farreny *et al.* (2011), a qualidade da água captada por telhados é dependente tanto do tipo de telhado quanto das condições ambientais. Os autores estudaram quatro tipos de telhados: metálico, telhas de barro, policarbonato e argila, entre os anos de 2008 a 2010, sendo que a seleção de telhados lisos e inclinados implicam em um potencial de captação aproximadamente 50% maior do que em telhados rugosos e planos. A preferência por telhados com baixo coeficiente de escoamento, tais como os planos e rugosos são aconselháveis a fim de reduzir o pico de escoamento e minimizar o potencial de enchente de uma determinada região, o que segundo os autores poderia ser levado em conta nos planos de manejos de águas pluviais de zonas urbanas.

Lee *et al.* (2010) estudaram os efeitos da urbanização na zona metropolitana de Seul, Coréia do Sul, no período de 1975 a 2005. Neste intervalo a área impermeável aumentou de 41 para 84%, gerando um aumento de 75% no volume de água escoada, redução de infiltração para 7% do total de chuva, redução de 29% da evapotranspiração, e uma diminuição da recarga do lençol freático de 74%.

Os mesmos autores verificaram que uma economia de 13% no fornecimento de água tratada pode ser alcançada com a utilização de água pluvial, o que geraria uma redução de 36% no escoamento superficial na zona metropolitana de Seul.

A Figura 4 exemplifica os impactos da urbanização no ciclo hidrológico da água de acordo com seu estudo na zona metropolitana de Seul.

Figura 4- Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.



Fonte: Lee (2010).

Intervenções estruturais e não estruturais são realizadas com o intuito de reduzir as enchentes e inundações garantindo e evitando-se assim perdas materiais e de vida nas zonas urbanas. As intervenções estruturais consistem em obras que objetivam a redução, o retardamento e o amortecimento do escoamento de águas pluviais. Estas obras são generalizadamente denominadas de “drenagem” (RECESA, 2015).

Já as medidas não estruturais são aquelas que lidam com o planejamento do município, propostas em seu plano diretor. Este documento deve prever as áreas de riscos, estabelecer o nível de impermeabilização do solo aceitável para cada local. Também é fundamental que sejam aprovadas as legislações pertinentes e que sejam desenvolvidos programas de educação ambiental, fornecendo o suporte necessário ao poder público e à população (RECESA, 2015).

Segundo o ministério das cidades, municípios devem possuir o Plano de Manejo de Águas Pluviais que tem como finalidade dotá-los de um programa de medidas de controle estruturais e não-estruturais com os seguintes objetivos básicos: Reduzir os prejuízos decorrentes das inundações, melhorar as condições de saúde da população e do meio ambiente urbano, dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais, planejar os mecanismos de gestão urbana para o manejo sustentável das águas pluviais e da rede hidrográfica do município, planejar a distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de evolução da ocupação urbana, ordenar a ocupação de áreas de risco de inundação através de regulamentação, restituir parcialmente o ciclo hidrológico natural, reduzindo ou mitigando os impactos da urbanização (RECESA, 2015).

De acordo com Recesa (2015) é necessário realizar a gestão dos recursos hídricos propondo tecnologias de gerenciamento na preservação de mananciais garantindo assim o abastecimento de água para populações das zonas urbanas.

Especificamente no campo do saneamento ambiental, é urgente rever práticas de projeto, de operação dos sistemas de abastecimento de água e de hábitos relacionados à cultura do desperdício, com vistas a implementar uma nova cultura de manejo da água. Tal cultura relaciona-se com práticas de prevenção e conservação, que impõem mudanças de paradigmas técnicos e padrões culturais (RECESA, 2015).

## **2.3-POLÍTICAS DE INCENTIVO A UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL**

Tendo em vista o agravamento dos problemas relacionados com a eminente falta de água para abastecimento, algumas cidades brasileiras vêm procurando definir suas próprias políticas, a fim de amenizar tal problema no futuro. Alguns exemplos de legislações aprovadas são citados nos parágrafos seguintes. Vale ressaltar a importância da difusão desses exemplos e da necessidade de segui-los tendo em vista a falta de água já percebida em alguns centros urbanos brasileiros, como em São Paulo e mais recentemente no Distrito Federal.

Curitiba já exige reservatórios de água pluvial em edificações novas, a capital do Paraná, publicou em 2003 a Lei Municipal 10.785/2003, que propõe o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA) (CURITIBA, 2003). Esta lei estabelece em seu Art. 1º que o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURA 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.

Porto Alegre capital do Rio Grande do Sul aprovou a lei 10.506/2008 que institui o “Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas” regulamentada pelo decreto 16.305/2009.

Cascavel, no Paraná, Lei Nº:4.631/2007: estabelece em seu Art. 1º que: Fica instituído o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, que tem por objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para a captação de água e reuso nas novas edificações, bem como uma conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água.

Na cidade de São Paulo foi aprovada a Lei Nº 16.160, de 13 de abril de 2015:

Art. 1º Os postos de serviços e abastecimento de veículos e lava - rápidos, no Município de São Paulo, farão o reuso da água utilizada na lavagem de veículos, após passar pelo processo de tratamento adequado.

A Figura 5 exemplifica algumas tendências e medidas para a conservação de água potável.

Figura 5- Tendências e medidas para a conservação de água potável.



Fonte: RECESA, Ministério das Cidades (2015).

## 2.4-RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO

O volume do reservatório deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em conta as boas práticas da engenharia, podendo, a critério do projetista serem utilizados os seguintes métodos (ABNT NBR 15527:2007).

- RIPPL
- Método da Simulação
- Azevedo Neto
- Prático Inglês
- Prático Australiano
- Prático Alemão

De acordo com Cohim *et al.* (2007) é primordial que se conheça o regime pluviométrico da região, a área de captação da edificação e a demanda por água não potável, para que se possa dimensionar o volume do reservatório de água pluvial da maneira mais eficiente possível evitando-se assim a implantação de projetos ineficazes, quanto mais regular for o regime de chuvas da região e maior a área de captação, mais confiável será o sistema instalado.

Segundo Londra *et al.* (2015) cada país possui suas próprias normas e regulamento para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial, e uma boa ferramenta para testar estas normas e regulamentos é a utilização do balanço hídrico diário ou utilizando o método do maior período seco descrito na seguinte equação.

$$VR = Ndd \times Ncap \times q \times p \quad (2.1)$$

Na qual:

Ndd é o número de dias secos, Ncap é o número de residentes, q é a demanda de água per capita m<sup>3</sup>, e p é a porcentagem da demanda total de água satisfeita pela água da chuva captada e VR é o volume do reservatório em m<sup>3</sup>.

Ndd é igual ao máximo (Ndd, máx) ou aos valores médios de (Ndd, médio).

Considerando-se período seco, dias consecutivos em que a precipitação seja menor ou igual a 1 mm.

Segundo Salla *et al.* (2013), a viabilidade econômica da implantação de um sistema de captação de água pluvial é diretamente dependente dos custos da implantação do reservatório de armazenamento da água pluvial.

A maioria dos métodos de dimensionamento existentes tem como parâmetros de entrada a: intensidade pluviométrica, a área de captação e a demanda de água potável e não potável tais parâmetros são essenciais para o eficiente dimensionamento do reservatório (ENCHINI 2005; GHISI, 2010).



O método mais utilizado para dimensionamento de reservatórios é o balanço de massas, que utiliza dados históricos de precipitação, permitindo simular o funcionamento do sistema (GOIS, de et al., 2015). O volume de água de chuva capturado depende da precipitação diária, da área de coleta de água do telhado e do coeficiente de escoamento, calculada pela equação 2.2:

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (2.2)$$

Em que,  $S(t)$  é o volume de água no instante  $(t)$ , em  $m^3$ ;  $S(t-1)$  é o volume de água no reservatório no instante  $(t-1)$ , em  $m^3$ ;  $Q(t)$  é o volume de chuva no instante  $(t)$ , em  $m^3$ ; e  $D(t)$  é a demanda ou o consumo de água em um instante  $(t)$ , em  $m^3$ .

De acordo com a ABNT NBR 15527:2007, o volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela equação 2.3:

$$V = P \times A \times C \times n \quad (2.3)$$

Em que:

$V$  é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;  $P$  é a precipitação média anual, mensal ou diária;  $A$  é a área de coleta;  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;  $n$  é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 15527:2007:

-O volume dos reservatórios deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em conta as boas práticas da engenharia, podendo, a critério do projetista, serem utilizados os métodos contidos no Anexo A, que oferece seis métodos de dimensionamentos.

-O volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente.



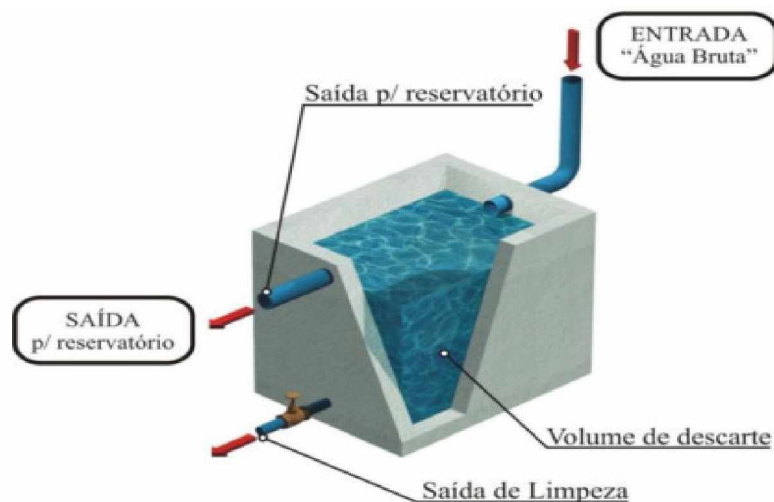
-A água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

-O sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada.

## 2.5-PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Segundo Mierwza *et al.* (2007), é necessário que sejam descartados os primeiros milímetros de chuva, reduzindo assim a carga contaminante. Para isso, o sistema deve prever um reservatório auxiliar, com dreno de fundo, que terá a função de descartar esse primeiro volume de chuva, desta forma a água da chuva de baixa intensidade que arrastam a sujeira do telhado não chegará até o reservatório de armazenamento. A Figura 6 representa o detalhamento de um reservatório de descarte.

Figura 6- Detalhamento de reservatório para descarte dos primeiros milímetros de chuva.

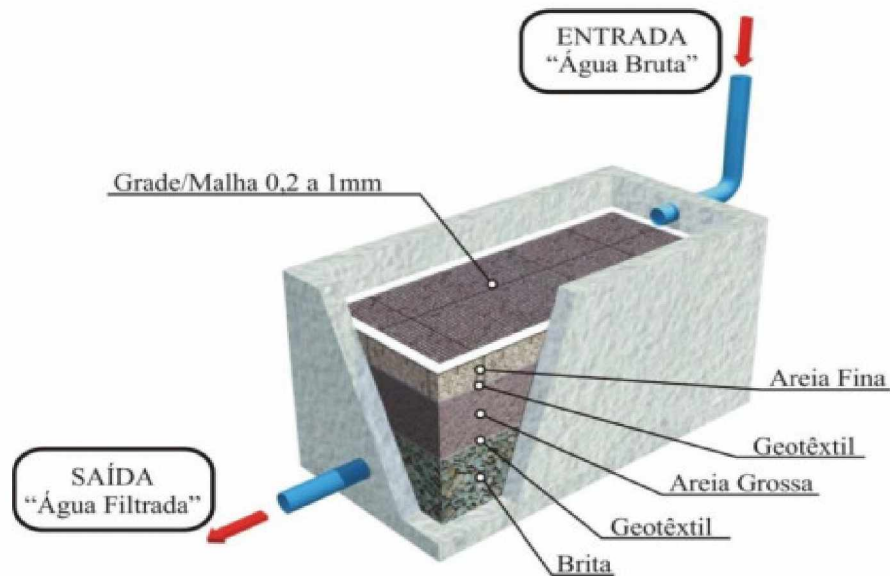


Fonte: Dornelles, 2012.

Quando utilizado, o dispositivo de descarte de água deve ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial (ABNT NBR 15527:2007).

Outro modelo de pré-tratamento são os filtros como mostrado Figura 7. Com a instalação dos mesmos se pode aproveitar todo o volume captado (DORNELES, 2012).

Figura 7- Detalhamento de filtro tratamento água pluvial.



Fonte: Dornelles 2012.

A ABNT NBR 15.527:2007 descreve os seguintes procedimentos e medidas para melhorar a qualidade da água.

- Devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos. Estes dispositivos podem ser, por exemplo, grades e telas que atendam à ABNT NBR 12213:1992.
- Pode ser instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. É recomendado que tal dispositivo seja automático.
- Deve ser minimizado o turbilhonamento, dificultando a ressuspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes. A retirada de água do reservatório deve ser feita próxima à superfície. Recomenda-se que a retirada seja feita a 15 cm da superfície.

## 2.6-DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL EM ESPAÇOS PÚBLICOS.

Kammers (2004) pesquisou sobre o consumo de água em dez edifícios públicos na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. Por meio dos consumos de água dos edifícios registrados pela concessionária de água local, do registro das vazões dos aparelhos e de entrevistas com os usuários, a autora chegou a conclusão que grande parcela do consumo de água era destinada a fins não potáveis. A Tabela 1 mostra a porcentagem de consumo de água que dispensam o uso da água potável. Nos prédios estudados esses consumos variaram de 52,2 a 88,9%.

Tabela 1- Porcentagem do consumo de água para fins não potáveis em edifícios públicos

Edifício	Consumo de água (%)
BADESC	81,2
CELESC	71,3
CREA	73,9
DETER	68,4
EPAGRI	82,0
Secretaria da Agricultura	52,2
Secretaria de Educação e Inovação	86,4
Secretaria de Segurança Pública	81,3
Tribunal de Contas	84,9
Tribunal de Justiça	88,9
<b>Média</b>	<b>77,0</b>

Fonte: Adaptado Kammers (2004).

Ainda de acordo com a mesma autora, os consumos per capita, calculados pelo consumo de água fornecido pela Companhia de água de Florianópolis e o número total de usuários nos edifícios, apresentaram-se abaixo do consumo per capita para o setor residencial como era esperado, variando, aproximadamente, de 28 a 40 litros/pessoa/dia.

A demanda de água potável em uma instituição de ensino superior SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) é, em média, de 25 Litros/aluno.dia nos dias letivos (MARINOSKI, 2008).

Salla *et al.* (2013), mediram o consumo de água em um bloco de sala de aula na UFU e chegaram a valores variando de 20 a 30 litros de água por dia.

Segundo Kammers 2004, encontrou uma média de 36,7 litros/pessoa/dia. de consumo per capita para edifícios de servidores públicos na cidade de Florianópolis, Santa Catarina.

Gois, de *et al.* (2015), consideraram em seu estudo sobre a viabilidade do aproveitamento de água pluvial em um Shopping localizado em Santa Catarina o consumo de 14,87 Litros/habitante.dia.

A Tabela 2 exemplifica algumas estimativas de consumo de água para determinados fins.

Tabela 2- Utilização média de água potável em áreas internas e externas.

Usos internos	Usos externos
A bacia sanitária é utilizada por uma pessoa, em média, 4 a 6 vezes por dia.	Em média um carro é lavado uma ou duas vezes por semana, sendo gastos aproximadamente 150 litros de água em cada lavagem
A bacia sanitária consome, em média 6,8 a 18 litros de água por descarga.	Na irrigação de gramados ou na limpeza de pisos, gastam-se aproximadamente 2 litros/dia/m <sup>2</sup> de água.

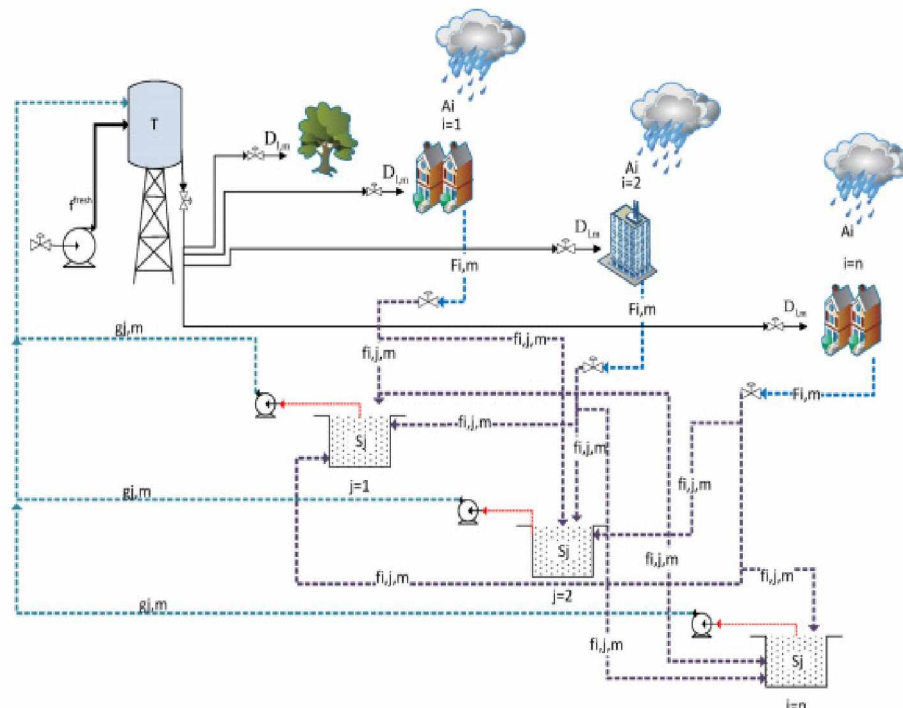
Fonte: Tomaz (2005).

## 2.7-ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

O consumo de água para uso doméstico representa cerca de 10% da demanda de água doce total no mundo e satisfazer estas demandas internas representa um grande problema em lugares com baixa precipitação (BOCANEGRA-MARTINEZ *et al.*, 2014).

Os mesmos autores estudaram o potencial econômico utilizando uma modelagem multi-objetiva não linear do reuso de água pluvial na cidade de Morelia no México, cidade caracterizada por ter complicações para satisfazer as demandas de água, especialmente durante as estações secas e obtiveram resultados de até 80% de economia de água potável para os casos estudados com baixo investimento e de 87,6% com investimentos que contemplam maior priorização de economia de água potável. A Figura 08 ilustra o esquema adotado pelos autores.

Figura 08- Detalhamento esquemático da captação de águas pluviais.



Fonte: Martinez *et al* 2014.

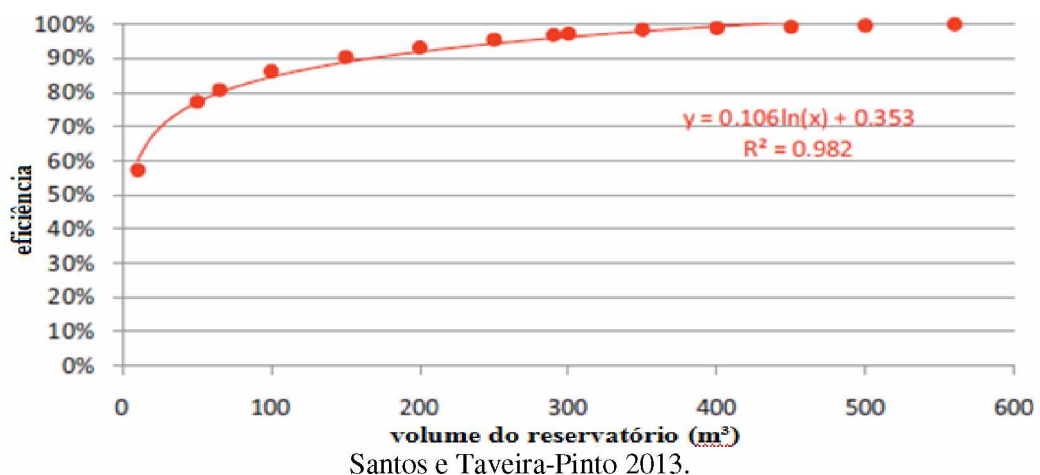
Gurung e Sharma (2014) utilizaram o método do valor presente líquido (VPL) para analisar a viabilidade da interligação de várias casas para um sistema comum de aproveitamento de água pluvial. Os resultados mostraram que os custos de armazenamento e unidades de tratamento são mais influentes para um grupo de famílias em escala menor, enquanto o alto custo para

instalação da rede de tubulação é um importante fator para uma maior escala de grupos domésticos. Observou-se uma escala ótima entre 192 e 288 casas familiares para o caso estudado.

Santos e Taveira-Pinto (2013) estudaram o dimensionamento de reservatórios de água pluvial utilizando abordagens simplificadas e detalhadas, analisaram os melhores critérios para definir o dimensionamento de reservatórios utilizando o balanço hídrico diário, para isto, dois estudos de caso foram analisados aplicando critérios definidos, comparando os resultados dos volumes de armazenamento e desempenho relacionados e avaliações econômicas.

Os mesmos autores checaram que os métodos simplificados e os métodos detalhados tiveram grande variabilidade no dimensionamento dos reservatórios e indicaram o balanço hídrico diário com o método mais detalhado. Constataram também que os métodos que levam a 100% de aproveitamento da água de chuva são os métodos que levam mais tempo para ter o retorno financeiro. No seu estudo de caso, concluíram que a eficiência que gerava o retorno mais rápido foi o de eficiência 80%, já dos métodos simplificados, foi o RIPPL. A Figura 09 mostra o gráfico de relação do volume do reservatório com a eficiência.

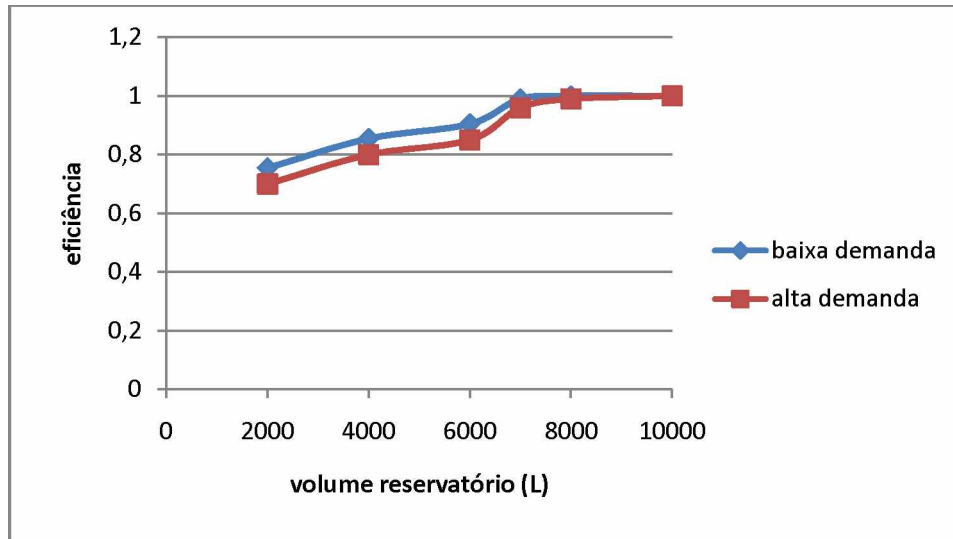
Figura 9 -Relação entre o volume do reservatório adotado e sua respectiva eficiência no atendimento a demanda por água para fins não potáveis.



Inteaz *et al.* (2012) estudaram a eficiência de reservatórios de água pluvial em anos secos no sudoeste da Nigéria utilizando uma planilha com balanço hídrico diário, analisando cenários de alta e baixa demanda e variando os volumes dos reservatórios. A confiabilidade do tanque foi calculada como o número de dias em que o reservatório foi capaz de suprir a demanda por

água não potável, para o caso estudado com telhados de 80 m<sup>2</sup>, chegaram à conclusão que um reservatório 7000 L atenderia 100% da demanda. A Figura 10 demonstra esta comparação.

Figura 10- Ilustração de gráfico comparando a eficiência para diferentes reservatórios e demandas.



Fonte: Imteaz *et al* 2012.

Gois, de *et al.* (2015), obtiveram resultados que mostraram que a instalação de água da chuva sistemas de coleta:

“É uma opção viável para economizar água potável (Considerando os benefícios econômicos) em edifícios com grandes telhados, tais como shopping centers, em regiões com alta pluviosidade. Considerando os benefícios ambientais, o aproveitamento de águas pluviais também é uma boa opção para economia de água doce, pois reduz a demanda por água e reduz o risco de inundações”(GOIS, de *et al.*, 2015).

Salla *et al.* (2013) estudaram a viabilidade técnica da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em uma edificação com salas de aula e anfiteatros na UFU, no município de Uberlândia. Realizaram dois tipos de análise: sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo, sobre o primeiro através do programa Netuno obtiveram um potencial de economia variando entre 18,2% e 53,2% com reservatórios variando de 7,9 m<sup>3</sup> a 18,2 m<sup>3</sup>, já do ponto de vista qualitativo, observaram que a água após um

período de seca, descartando-se os 2,5 mm da primeira chuva e implantando um sistema de retenção de sólidos obtêm-se resultados que atendem a atendem às normas ABNT NBR 15527: 2007, ABNT NBR 13969:1997) e Manual de Conservação e Reuso da Água (ANA, 2005).

Bezerra *et al.* (2010) compararam os métodos de dimensionamento segundo descrito no Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR, e da ABNT NBR 15527:2007, verificaram discrepâncias entre nos resultados fornecidos pelos métodos e carência de revisões e ajustes em ambos os documentos.

Londra *et al.* (2015) compararam o método do balanço hídrico diário e o método da demanda no maior período seco, em 75 regiões da Grécia, para atender a 30, 40 e 50% da demanda de água potável, a comparação entre os dois métodos mostrou que em todos os casos estudados, o método da demanda no período seco resulta em tanques menores, com a exceção de áreas com uma média alta de precipitação e longo período de seca, ou de baixa a média demanda e grande áreas de telhado (mais de 300 m<sup>2</sup>).

Mierzwa *et al.* (2007), em seu estudo, para aplicações industriais, concluíram que a viabilidade econômica da implantação de um sistema para aproveitamento de água pluvial aumentava com a utilização do máximo volume durante o período chuvoso. Assim, mesmo que o reservatório não forneça uma vazão regular, ficando vazio por longos períodos durante o ano, o retorno estimado do investimento para a construção do reservatório foi de, em média, 2 anos, enquanto que reservatórios dimensionados por métodos tradicionais de regularização de vazão, com volumes maiores, possuíam tempos de amortização muito maiores, conforme pode ser visto nas Tabelas 03 e 04.



Tabela 03- Tempo de amortização- método do máximo aproveitamento dos reservatórios durante o período chuvoso.

Volume Reservatório (m³)	Custo do reservatório (R\$)	Custo do Sistema (R\$)	Custo Unitário (R\$/m³)	Déficit de água (dias)	Confiabilidade (%)	Oferta Real de água (m³/dia)	Economia (R\$/ano)	Tempo de Amortização (ano)
100	19.374,46	57.921,29	579,21	170	46%	27	32.035,20	1,81
150	26.637,92	67.363,78	449,09	146	53%	32	37.449,60	1,80
200	33.733,20	76.587,64	382,94	127	59%	36	41.736,00	1,84
250	37.977,42	82.105,12	328,42	115	63%	38	44.443,20	1,85
300	47.957,42	95.079,13	316,93	110	65%	39	45.571,20	2,09
350	54.876,93	104.074,50	297,36	102	67%	40	47.376,00	2,20
400	61.838,11	113.124,02	282,81	92	70,5%	42	49.632,00	2,28
450	66.901,30	119.706,18	266,01	88	72%	43	50.534,40	2,37
500	68.700,25	122.044,80	244,09	84	73%	44	51.436,80	2,37

Fonte: Mierzwa (2007).

Tabela 04- Período de amortização pelo método de RIPPL.

Demanda (m³/dia)	reservatório (m³)	Volume Economizado (m³/ano)	Custo do Sistema (R\$)	Economia (R\$/ano)	Tempo de Amortização (ano)
60	4.583	18.720	2.153.242	110.448	19,50
80	9.734	24.960	4.533.738	147.264	30,79
100	15.134	31.200	7.029.420	184.080	38,19

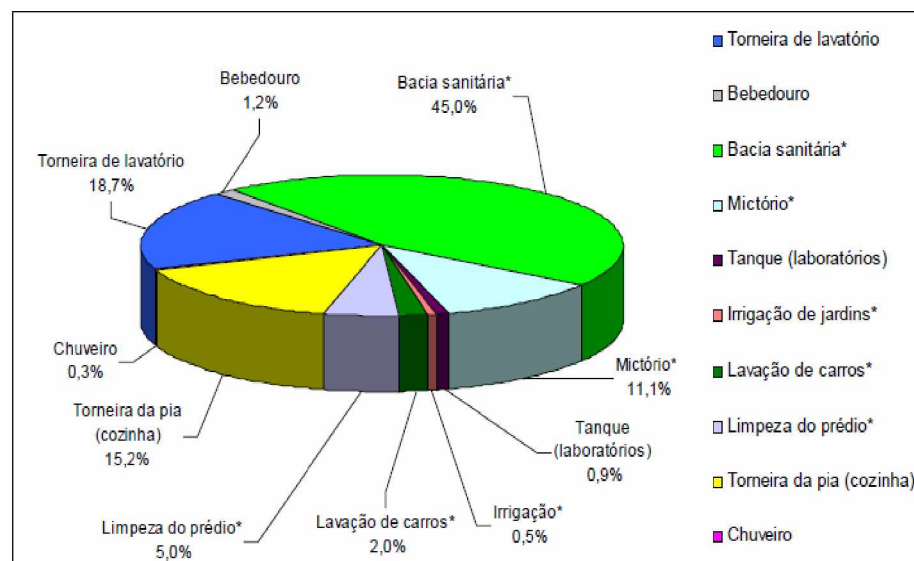
Fonte: Mierzwa (2007).

Villarreal e Dixon (2005) estudaram as possibilidades de implementação de um sistema de coleta de água da chuva em uma área residencial de Ringdansen, Suécia, realizaram a análise de quatro cenários para o uso de água da chuva em um sistema de abastecimento de água complementar a água potável. Um modelo computacional foi gerado para quantificar o potencial de economia de água do sistema de recolha de águas pluviais, em uma área de coleta de 20.000 m², obtiveram uma economia de 60% do abastecimento de água potável com um reservatório de 40 m³, substituindo água da descarga dos vasos sanitários por água de chuva, na substituição da água para lavação de equipamentos a economia foi de 40% para o mesmo reservatório, combinando as duas demandas gerou uma economia de 30%.Fizeram também uma simulação para um reservatório de 80 m³, em cada bloco, estimou-se que, um tanque de água da chuva 80m³ com uma área de coleção de 20.000m² iria fornecer cerca de 60% da água necessária para irrigação da zona central durante os meses de verão.

Marinoski (2008) estudou a viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em uma instituição de ensino do SENAI localizada em Florianópolis, estimando a população e mensurando o consumo de água através de entrevistas com os usuários, verificando frequência e tempo médio de utilização dos aparelhos, chegaram a um consumo médio de 15,5 litros/habitante.dia. Com a utilização do programa Netuno chegaram ao resultado de 45,8% de economia com retorno de investimento em 4 anos e 10 meses.

A mesma autora, em seu trabalho, verificou que o valor de consumo de água para fins não potáveis é, em média, 63,5%. A Figura 11 representa a porcentagem para cada tipo de consumo.

Figura 11- Detalhamento das porcentagens do consumo de água para diversos fins.



Fonte: Marinoski , 2008.

De acordo com Ward *et al.* (2012) apesar de uma infinidade de estudos de modelagem sobre a viabilidade da utilização de águas pluviais, ainda há poucos estudos sobre o real desempenho destes sistemas já implantados. Os autores realizaram um estudo, em um prédio de escritórios no Reino Unido, comparando o desempenho entre o sistema real executado com os estimados baseados em dois métodos: o *British Standards Institute* e do intermediário método simples e o Detalhado (com base em simulação). Resultados destacam uma eficiência de 87% durante um período de 8 meses, devido ao sistema ser de grandes dimensões para o

nível de ocupação real, esta mesma eficiência poderia ter sido obtida com um reservatório menor do que o real assim o período de retorno seria de 6 e não de 11 anos.

Rupp *et al.* (2011) utilizaram o programa Netuno, versão 3.0, um programa computacional desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (GHISI; CORDOVA; ROCHA, (2009) para verificar os diversos métodos de dimensionamento de reservatório de água pluvial propostos na norma brasileira NBR 15527:2007. Foram calculados os volumes de reservatório para residências em três cidades no Brasil, Santos, Palhoça e Santana do Ipanema. Os autores verificaram que os métodos propostos na norma são, de maneira geral, insuficientes e inadequados, os métodos não fornecem a economia em função do volume do reservatório assim como a demanda e a precipitação.

# CAPÍTULO 3

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1-ÁREA DE ESTUDO

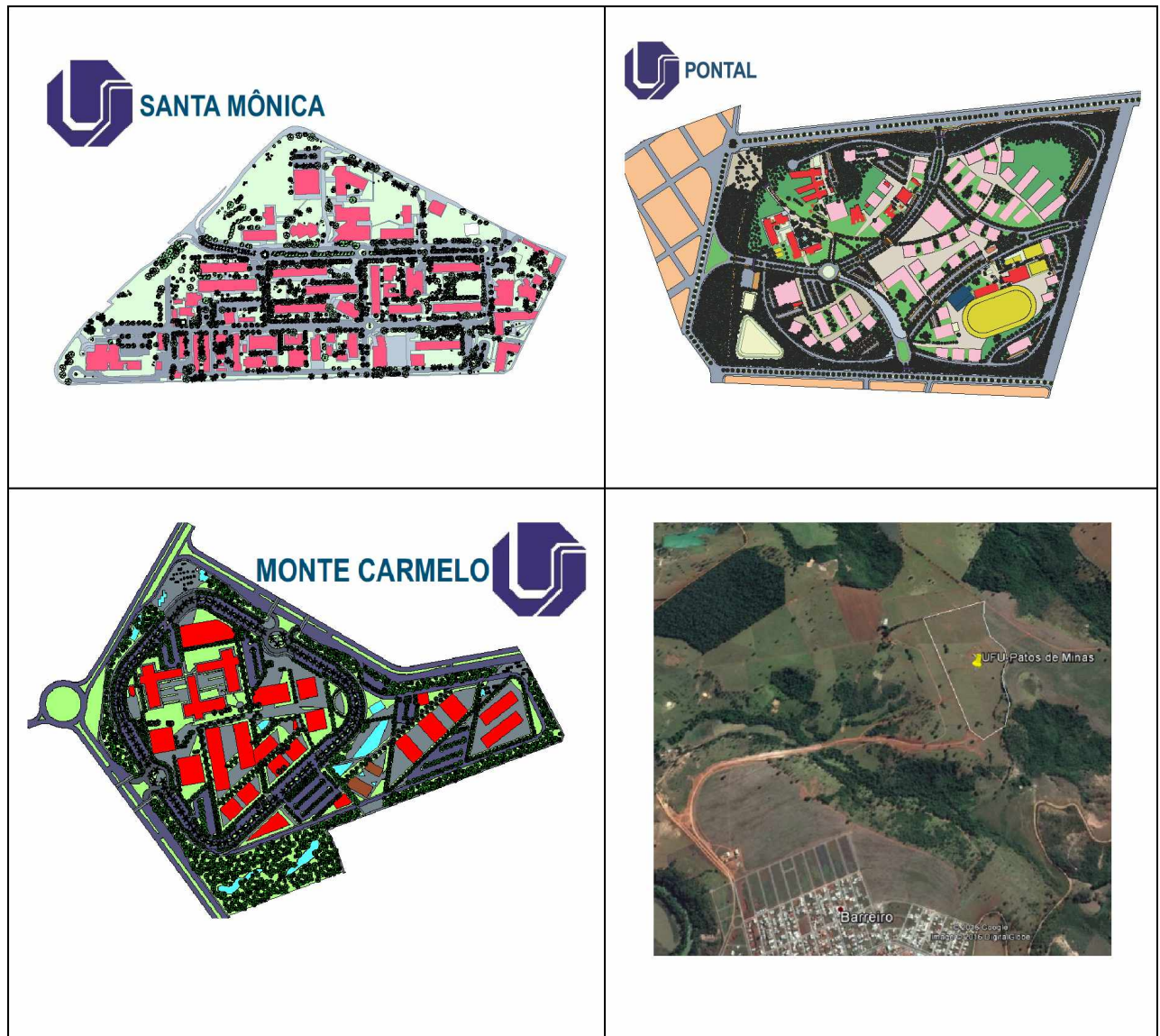
Na atualidade, a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) está presente em quatro cidades no Triângulo Mineiro, são elas Uberlândia, Ituiutaba, Monte Carmelo e Patos de Minas, somente em Uberlândia-MG são quatro campi: Santa Mônica, Umuarama, Educação Física e Glória, totalizando sete campi universitários, três hospitais (Hospital de Clínicas, Hospital Odontológico e Hospital Veterinário); além de três fazendas experimentais e uma reserva ecológica. Nacionalmente, a universidade se faz presente por meio dos programas de mestrado e doutorado interinstitucionais e, no âmbito internacional, está presente em mais de 40 países por meio de programas governamentais e de mobilidade.

A UFU é uma instituição pública de ensino superior, localizada no Triângulo Mineiro, criada na década de 1950 e federalizada em 1978. A missão da UFU consiste em formar profissionais qualificados, produzir conhecimento e disseminar a ciência, a tecnologia, a inovação, a cultura e a arte na sociedade, por intermédio do ensino público e gratuito, da pesquisa e da extensão, visando à melhoria da qualidade de vida, à difusão dos valores éticos e democráticos, à inclusão social e ao desenvolvimento sustentável.

Trabalham nesta universidade 1750 professores, 3256 técnicos administrativos; e apresenta cerca de 20500 discentes na graduação e 3268 alunos na pós-graduação em diversos cursos de todos os campi. Dados fornecidos pela Diretoria de Planejamento da UFU.

Na Figura 12 pode-se visualizar a área de quatro dos sete campi, e que foi objeto deste trabalho.

Figura 12- Mapas de ocupação do Campi da Universidade Federal de Uberlândia.



Fonte: Prefeitura Universitária (2016)

Na figura 12, podemos observar o Campus Santa Mônica, que é o campus mais antigo e populoso da Universidade, o plano diretor dos campi de Monte Carmelo e Ituiutaba, e uma imagem aérea do Campus de Patos de Minas que hoje ainda não está com seu plano diretor finalizado.

Considerando que os campi das universidades públicas seguem basicamente o mesmo padrão, apresentando blocos administrativos e de salas de aula, com áreas de coberturas relativamente grandes, realizou-se a simulação da eficiência da construção de reservatórios de armazenamento de água pluvial no Campus Santa Mônica que já possui uma população bem definida e, a obtenção de fórmulas para a estimativa da economia de água anual baseado em

uma planilha de balanço hídrico diário e em função da precipitação das cidades de Uberlândia-MG, Ituiutaba-MG, Patos de Minas e Monte Carmelo-MG, prevendo assim a economia em função da área do bloco, demanda, coeficiente *runoff*, volume do reservatório e população.

Assim, iniciou-se o estudo para o Campus Santa Mônica, com a obtenção dos dados pluviométricos, áreas das coberturas. Em destaque, na Figura 13, a vista área do Campus, o qual, possui área de aproximadamente 257.905,64 m<sup>2</sup>, e suas áreas permeáveis e impermeáveis estão representadas na Tabela 5.

Da área total deste Campus, 45% é formada por áreas permeáveis como canteiros e gramados e 55% formado por áreas impermeáveis como ruas, calçadas e telhados. A Tabela 5 ilustra a divisão das áreas do Campus.

Tabela 5- Ocupação do solo no Campus Santa Mônica	
Tipo de ocupação	Área em m <sup>2</sup>
Área impermeável de calçadas	44.004,68
Canteiros e gramados	116.936,31
Sistema viário (asfalto)	47.773,76
Edificações em projeção	49.150,89
<b>Total</b>	<b>257.905,64</b>

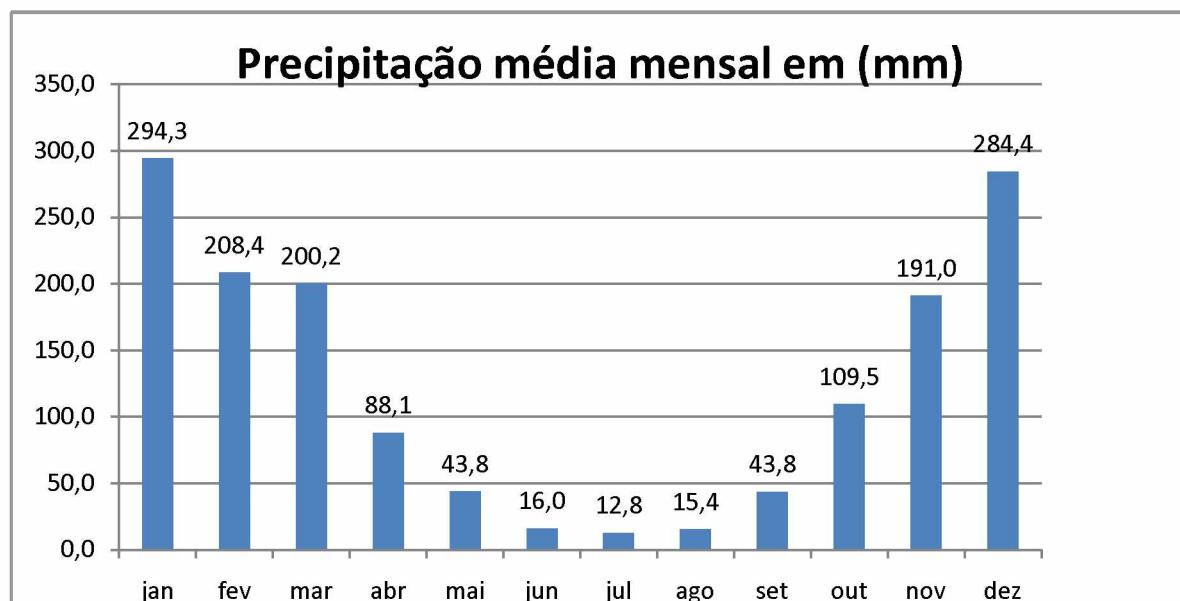
Fonte: Diretoria de infraestrutura da UFU

Considerou-se apenas a água proveniente dos telhados para simulação dos reservatórios de armazenamento, pois a água coletada direto dos pavimentos pode conter maior número de poluentes tais como metais pesados, óleos, entre outros devido ao tráfego de veículos.

### 3.2-DADOS PLUVIOMÉTRICOS UBERLÂNDIA

No município de Uberlândia o período chuvoso se concentra no período entre os meses de novembro a março, com maior índice médio mensal no mês de janeiro 294,3 mm, o mês de julho apresenta a menor precipitação média mensal com 12,8 mm. A Figura 13 ilustra a distribuição da precipitação média anual entre 1980 e 2015.

Figura 13- Chuva média mensal município de Uberlândia



Fonte: O Autor, baseado em ANA (2016).

Os dados pluviométricos foram coletados no site Hidroweb, pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA), que disponibiliza dados hidrológicos e séries históricas dos municípios a partir de suas respectivas estações pluviométricas.

Devido a um maior número de dados disponíveis foi escolhida a estação denominada Fazenda Letreiro, que se encontra no Município de Uberlândia-MG com o código 01848052, operada pela empresa CEMIG, esta estação possui dados pluviométricos da década de 40 até os dias atuais.

Os arquivos podem ser baixados em formato de texto ou Access, no próprio site da ANA, sendo disponibilizados para os usuários alguns *softwares* para resumos por meio dos dados baixados em formato Access.



Realizou-se o *download* do *software* hidro 1.2, este software entrega ao usuário o resumo dos dados mensais como: máxima chuva, dias de chuva, precipitação mensal, há também a possibilidade de exportar para o Excel com as opções de dados diários ou mensais, para o trabalho, escolheu-se a precipitação total diária do período de 1980 a 2015.

### **3.3–CÁLCULO DAS ÁREAS DOS TELHADOS DO CAMPUS SANTA MÔNICA**

Para o Cálculo das áreas dos telhados de todos os blocos do Campus, utilizou-se o programa Auto-Cad, sendo que todos os dados e projetos foram cedidos pela divisão de infraestrutura da prefeitura de Campus.

### **3.4–ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO MÉDIA NOS BLOCOS DO CAMPUS SANTA MÔNICA**

Para o cálculo da demanda dos blocos foi cedido, pela Diretoria de Administração e Controle Acadêmico (DIRAC), uma planilha com a lista de todas as aulas, relação de alunos por disciplinas, nome do bloco, capacidade das salas de aulas, duração das aulas, nome das disciplinas e o dia da semana. Esta planilha é extensa, pois abrange todos os blocos de sala de aulas do Campus Santa Mônica.

Utilizando-se o recurso tabela dinâmica do Excel foi filtrado o nome do bloco, o dia da semana, quantidade de aulas, alunos por sala de aula e duração das aulas em todas as salas e em cada turno.

$$P_{med} = (\sum (q_{alunos} \times hr_{aula}) / \sum (cap \times hr_{totais})) \times capb \quad (3.1)$$

Em que:

$P_{med}$  : é a população média do bloco;  $q_{alunos}$  : é a ocupação de alunos por disciplina;  $hr_{aula}$ : é a duração da aula;  $cap$ : é a capacidade de alunos por sala de aula;  $hr_{totais}$  :são as horas totais por turno e  $capb$  : é a capacidade total do bloco.



### 3.5–CÁLCULO DOS VOLUMES DOS RESERVATÓRIOS E DA ECONOMIA DE ÁGUA

Para o cálculo dos volumes dos reservatórios e suas respectivas economias, utilizou-se uma planilha no Microsoft Excel, calculando diariamente o balanço de massa hidrológico, que corresponde ao volume acumulado possível por dia no reservatório.

O volume total captado foi calculado com a seguinte fórmula:

$$Q_t = (P \times A \times C) / 1000 \quad (3.2)$$

Em que:

$Q_t$  é o volume total de água captado no telhado em  $m^3$ ;  $P$  é a precipitação em mm;  $A$  é a área da cobertura dos telhados em planta em  $m^2$ ;  $C$  é o coeficiente *runoff*.

O volume aproveitável é calculado pela seguinte equação:

$$Q_d = (P - d) \times A \times C / 1000 \quad (3.3)$$

Em que:

$Q_d$  é o volume aproveitável captado dos telhados em  $m^3$ ;  $P$  é a precipitação em mm;  $d$  é o descarte da primeira água de chuva em mm;  $A$  é a área da cobertura dos telhados em planta em  $m^2$ ;  $C$  é o coeficiente *runoff*.

A demanda diária é dada pela seguinte equação:

$$D = \text{Pop.média} \times \text{cons} / 1000 \quad (3.4)$$

Em que:

D é a demanda diária por água para fins não potáveis em m<sup>3</sup>; Pop.média é a população média nos blocos; cons é o consumo de água em l/dia.habitante.

Para o cálculo do volume de água reservado no reservatório no final do dia utilizou-se o seguinte conceito:

$$V_t = V_{to} + Q_d - D \quad (3.5)$$

com  $V_t$  variando de ( 0 a  $V_R$ )

Em que:

$V_t$  é igual ao volume armazenado no final do dia ;  $V_{to}$  é o volume armazenado no início do dia em m<sup>3</sup> D é a demanda diária em m<sup>3</sup>;  $V_R$  é o volume do reservatório em m<sup>3</sup> e  $Q_d$  é o volume aproveitável de água pluvial em m<sup>3</sup>.

Considerando:

$$I) \Delta = Q_d - D \quad (3.6)$$

$$II) \text{ Se } (\Delta + V_{to}) > 0 \text{ e } (\Delta + V_{to}) < V_R ; \text{ então } V_t = (\Delta + V_{to}) \quad (3.7)$$

$$III) \text{ Se } (\Delta + V_{to}) > V_R \text{ ou } (\Delta + V_{to}) = V_R ; \text{ então } V_t = V_R \quad (3.8)$$

$$IV) \text{ Se } (\Delta + V_{to}) < 0 \text{ ou } (\Delta + V_{to}) = 0 ; \text{ então } V_t = 0 \quad (3.9)$$

Em que:

$\Delta$  é a diferença entre o volume captado aproveitável e a demanda em m<sup>3</sup>;  $V_{to}$  é o volume estocado no reservatório no começo dia em m<sup>3</sup>;  $V_t$  é o volume estocado no reservatório no final do dia em m<sup>3</sup> e  $V_R$  é o volume do Reservatório.

Em dias de chuva calculou-se o volume consumido e estocado de acordo com o balanço hídrico diário, para isto, consideraram-se os seguintes algoritmos:

$$\text{I) Se } P = d \text{ ou } P < d; \text{ então } E_d = 0 \quad (3.10)$$

$$\text{II) Se } V_t > V_{to} ; \text{ então } E_d = D + V_t - V_{to} \quad (3.11)$$

$$\text{III) Se } V_{to} > V_t; \text{ então } E_d = Q_d \quad (3.12)$$

$$\text{IV) Se } V_{to} = V_t \text{ e } Q_d < D; \text{ então } E_d = Q_d; \text{ senão } E_d = D \quad (3.13)$$

Em que:

$P$  é igual a precipitação em mm;  $d$  é o descarte da primeira chuva em mm;  $E_d$  é a economia de água potável diária em  $m^3$ ;  $D$  é a demanda diária para fins não potáveis em  $m^3$ ;  $Q_d$  é igual volume de água captado aproveitável em  $m^3$ .

Para o Cálculo do volume extravasado diário, utilizou-se a seguinte equação:

$$V_{ext} = Q_t - E_d \quad (3.14)$$

Em que:

$V_{ext}$  é volume extravasado em  $m^3$ ;  $Q_t$  é o volume total captado em  $m^3$ ;  $E_d$  é a economia diária em  $m^3$ .

Para o Cálculo do atendimento da Demanda diária utilizou-se os seguintes algoritmos:

$$\text{I) Se } E_d > D \text{ ou } E_d = D ; \text{ então } A_d = D \quad (3.15)$$

$$\text{II) Se } 0 < E_d < D \text{ e } V_{to} > D; \text{ então } A_d = D \quad (3.16)$$

$$\text{III) Se } 0 < E_d < D \text{ e } V_{to} < D; \text{ então } A_d = V_{to} \quad (3.17)$$

$$\text{IV) Se } 0 < E_d < D \text{ e } V_{to} = D; \text{ então } A_d = D \quad (3.18)$$

$$\text{V) Se } E_d = 0 \text{ e } V_{to} > D; \text{ então } A_d = D \quad (3.19)$$

$$\text{VI) Se } E_d = 0 \text{ e } V_{to} < D; \text{ então } A_d = V_{to} \quad (3.20)$$

$$\text{VII) Se } E_d = 0 \text{ e } V_{to} = D; \text{ então } A_d = D \quad (3.21)$$

Em que:

$E_d$  é a economia diária de água pluvial em  $m^3$ ;  $D$  é a demanda diária por água não potável em  $m^3$ ;  $A_d$  é o atendimento diário de água pluvial em  $m^3$ ;  $V_{to}$  é o volume do reservatório no início do dia em  $m^3$ .

Como os dados de precipitação disponibilizados no site Hiroweb possui as datas com dia mês e ano e suas respectivas precipitações, utilizou-se uma ferramenta do Microsoft Excel, que informa o dia da semana de acordo com a data da célula gerando como respostas numerais (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) de acordo com o dia da semana da referida data.

Desta forma, utilizou-se a equação (3.22).

$$\text{Se } dia = 1 \text{ ou } dia = 7; \text{ então } D = D_{fds}; \text{ senão } D = D \quad (3.22)$$

Em que:

$dia$  é o dia da semana da referente data;  $D$  é a demanda normal para fins não potáveis do bloco em  $m^3$  e  $D_{fds}$  é a demanda para fins não potáveis do bloco nos finais de semana,

Para o período de férias, considerou-se parte do mês de dezembro, janeiro e julho com demanda menores

$$\text{Se } data = \text{férias}; D_{férias} = TA \times \text{consumo} \text{ senão } D = D \quad (3.23)$$

Em que:

data é igual a data do dia; D<sub>férias</sub> é a demanda por água pluvial nas férias letivas em m<sup>3</sup>; TA é a quantidade de técnicos Administrativos no Bloco e D é a demanda normal por água para fins não potáveis no bloco em m<sup>3</sup>.

O cálculo da economia foi feita com base na equação (3.24).

$$Et = \sum Ed / \sum D \quad (3.24)$$

Em que:

Et é igual a economia total de água potável em m<sup>3</sup>; Ed é a economia diária, em m<sup>3</sup> e D é a demanda diária por água para fins não potáveis, em m<sup>3</sup>.

### **3.6-REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA DETERMINAÇÃO DE FÓRMULA DA ECONOMIA**

Como descrito anteriormente, a UFU tem diversos campi em quatro cidades do Triângulo Mineiro e como esta universidade tem buscado a padronização dos blocos construídos em todos os campi, optou-se por realizar o estudo de economia de água para todos eles, procurando entender se o regime de precipitações na área de cada campus influência na economia de água potável.

Por isso, foram coletados os dados de precipitação, no site Hidroweb, dos municípios de Uberlândia, Monte Carmelo, Ituiutaba e Patos de Minas, locais onde a UFU possui Campus.

Escolheu-se, para o estudo, as precipitações entre os dias 01/01/1980 a 31/12/2015.

A Tabela 6 mostra o nome do município, o código, o responsável e a operadora de cada estação pluviométrica utilizada neste trabalho.

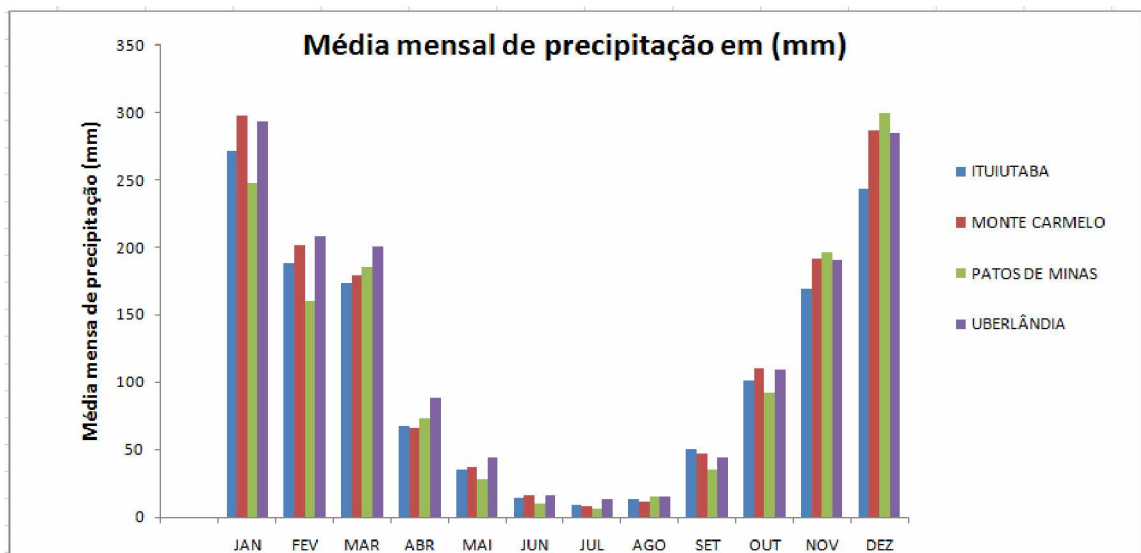
Tablea 6 - Detalhes das estações pluviométricas utilizadas.

Município	Código	Responsável	Operadora
Uberlândia	01848052	ANA	CRPM
Ituiutaba	1849000	ANA	CRPM
Monte Carmelo	1847000	ANA	CRPM
Patos de Minas	1846003	ANA	CRPM

Fonte: O Autor

Conforme pode ser visto na Figura 14, as médias mensais de precipitação são bastante similares em todos os municípios onde a Universidade Federal de Uberlândia se encontra.

Figura 14- Média mensal de precipitação nas cidades que possuem campus da UFU no período de 1980 a 2015.



Fonte: O Autor baseado em ANA(2016).

Para obter as fórmulas da economia anual de água potável de cada campus, utilizou-se a planilha com balanço hídrico diário, variando a área da cobertura do telhado, a população dos blocos de sala de aula, a demanda por água para fins não potáveis, o coeficiente *runoff* do telhado e volume do reservatório.

Adotou-se a seguinte abrangência das variáveis estudadas:

As áreas simuladas variaram inicialmente de 200 m<sup>2</sup> até o valor de 3000m<sup>2</sup>. População inicial de 200 alunos, acrescentando 300 alunos até chegar a um total de 3500 alunos, demanda por água não potável utilizou-se valores de 10, 15 e 20 litros/aluno.dia, o coeficiente de *runoff* variou-se de 0,8 a 0,9, e os volumes dos reservatórios variando a cada 10m<sup>3</sup> no intervalo de 10 a 80m<sup>3</sup>.

No total foi coletada uma amostra com 6048 resultados de economia em função das variáveis independentes: Área; população de alunos; demanda por água para fins não potáveis; coeficiente *runoff* e volume do reservatório de armazenamento.

Com o auxílio de uma planilha eletrônica no EXCEL através da opção Ferramentas/Análise de dados/Regressão, foram realizadas as regressões lineares múltiplas para cada município.

$$E = a + b \times A + c \times D + d \times C + e \times Vol \quad (3.25)$$

Em que:

E é economia anual em m<sup>3</sup> ; a é o coeficiente linear da regressão; ( b, c, d, e) são os coeficientes angulares; A é a área da cobertura dos telhados, D é a demanda por água para fins não potáveis; C é o coeficiente *runoff*; Vol é o volume do reservatório em m<sup>3</sup>.

### **3.7–ESTIMATIVA PARA O CUSTO DE EXECUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAMENTO:**

Considerando uma profundidade de 1,6 m e variando a área dos reservatórios encontrou-se o preço para os diferentes volumes dos reservatórios inferiores estudados, através de uma planilha, calculou-se a estimativa do volume de escavação, aterro, fôrmas, concreto armado e outros serviços listados na Tabela 08:

Utilizou-se a tabela de preços SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil e um BDI- Benefícios e Despesas Indiretas de 25%, para a estimativa de custo.

A Tabela 07 mostra os serviços e preços utilizados na estimativa.

Tabela 07- Preços recolhidos da tabela SINAPI

item	código	Composição	Unid ade	R\$ (preço)
1	90777	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA JUNIOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	65,29
2	90776	ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	26,87
3	79517/001	ESCAVACAO MANUAL EM SOLO-PROF. ATE 1,50 M	M <sup>3</sup>	22,9
4	79517/002	ESCAVACAO MANUAL EM SOLO, PROF. MAIOR QUE 1,5M ATE 4,00 M	M <sup>3</sup>	36,64
5	74164/004	LASTRO DE BRITA	M <sup>3</sup>	80,65
6	74005/001	COMPACTACAO MECANICA, SEM CONTROLE DO GC (C/COMPACTADOR PLACA 400 KG)	M <sup>3</sup>	3,62
7	92264	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 18 MM. AF_12/2015	M <sup>2</sup>	85,27
8	73301	ESCORAMENTO FORMAS ATE H = 3,30M, COM MADEIRA DE 3A QUALIDADE, NAO APARELHADA, APROVEITAMENTO TABUAS 3X E PRUMOS 4X.	M <sup>3</sup>	9,6
9	ARM-AÇO-020	CORTE, DOBRA E ARMAÇÃO DE AÇO CA-50/60	KG	7,79
10	EST-CON-090	FORNECIMENTO E LANÇAMENTO DE CONCRETO ESTRUTURAL USINADO FCK >= 30 MPA, BRITA 1 E MÓDULO DE ELASTICIDADE CONFORME NBR 6118	M <sup>3</sup>	348,33
11	83738	IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFICIE COM MANTA ASFALTICA (COM POLIMEROS TIPO APP), E=4 MM	M <sup>2</sup>	57,9
12	83748	PROTECAO MECANICA DE SUPERFICIE COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA, TRACO 1:3, E=2 CM	M <sup>2</sup>	22,83
13	73929/004	IMPERMEABILIZACAO DE ESTRUTURAS ENTERRADAS COM CIMENTO CRISTALIZANTE EADESIVO LIQUIDO, ATE 7M DE PROFUNDIDADE.	M <sup>2</sup>	41,44
14	93382	REATERRO MANUAL DE VALAS COM COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_04/2016	M <sup>3</sup>	17,05
15	72896	CARGA MANUAL DE TERRA EM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3	M <sup>3</sup>	13,03
16	72887	TRANSPORTE COMERCIAL COM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3, RODOVIA PAVIMENTADA	M <sup>3</sup> vs KM	0,85
17	83648	BOMBA 1/2 CV	und	711,48

Fonte: Autor baseado em SINAPI (2016).



De acordo com o preço do Departamento Municipal de Água e Esgoto- DMAE, R\$ 4,86 por m<sup>3</sup> de água tratada, calculou-se o período de retorno do capital investido na construção do reservatório inferior:

$$\text{Retorno} = \text{c.reser} / \text{economia.anual} \quad (3.25)$$

Em que;

Retorno : é o número de anos necessários para o retorno do capital investido na construção do reservatório; c.reser : é o custo de implantação do reservatório em R\$ Reais, e economia.anual: é igual a economia média anual em R\$ Reais da água potável poupada pelo reservatório.

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1-ÁREA DA COBERTURA DAS EDIFICAÇÕES

A Tabela 8 apresenta a denominação dos Blocos do campus Santa Mônica, áreas das coberturas e o material de que foi confeccionado. Observa-se que os telhados de cobertura em sua maioria são de telhas de fibrocimento.

Tabela 8- Áreas e tipos dos telhados das coberturas do Campus Santa Mônica.

Bloco	Área (m <sup>2</sup> )	Material	Bloco	Área (m <sup>2</sup> )	Material
<b>1ASM</b>	2141,7	FIBROCIMENTO	<b>3OSM</b>	390,9	FIBROCIMENTO
<b>1BSM</b>	2775,8	FIBROCIMENTO	<b>3PSM</b>	2611	TELHA METÁLICA
<b>1CSM</b>	698,34	TELHA METÁLICA	<b>3PSM</b>	456,7	POLICARBONATO
<b>1DSM</b>	1185,6	FIBROCIMENTO	<b>3QSM</b>	3732	TELHA METÁLICA
<b>1ESM</b>	1399,3	FIBROCIMENTO	<b>3SSM</b>	97,74	FIBROCIMENTO
<b>1FSM</b>	2184,6	FIBROCIMENTO	<b>3TSM</b>	86,58	FIBROCIMENTO
<b>1GSM</b>	1984	FIBROCIMENTO	<b>3USM</b>	77,53	FIBROCIMENTO
<b>1HSM</b>	1981,8	FIBROCIMENTO	<b>3YSM</b>	9,97	LAJE IMPERMEABILIZADA
<b>1ISM</b>	1976,5	FIBROCIMENTO	<b>3ZSM</b>	48,94	FIBROCIMENTO
<b>1JSM</b>	2093,5	FIBROCIMENTO	<b>5BSM</b>	1453	TELHA METÁLICA

Continua..

<b>Bloco</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Material</b>	<b>Bloco</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Material</b>
<b>1KSM</b>	931,81	FIBROCIMENTO	<b>5CSM</b>	62,49	LAJE IMPERMEABILIZADA
<b>1LSM</b>	600,81	FIBROCIMENTO	<b>5DSM</b>	656,8	FIBROCIMENTO
<b>1MSM</b>	975,56	FIBROCIMENTO	<b>5ESM</b>	549,3	FIBROCIMENTO
<b>1NSM</b>	287,3	FIBROCIMENTO	<b>5FSM</b>	814,2	TELHA METÁLICA
<b>1OSM</b>	1060,5	FIBROCIMENTO	<b>5GSM</b>	187,5	FIBROCIMENTO
<b>1PSM</b>	320,19	FIBROCIMENTO	<b>5HSM</b>	259,6	FIBROCIMENTO
<b>1QSM</b>	478,89	FIBROCIMENTO	<b>5ISM</b>	169,7	FIBROCIMENTO
<b>1RSM</b>	333,66	FIBROCIMENTO	<b>5JSM</b>	119,8	FIBROCIMENTO
<b>1SSM</b>	1384,3	FIBROCIMENTO	<b>5KSM</b>	648	TELHA METÁLICA
<b>1TSM</b>	135,22	TELHA CERAMICA	<b>5LSM</b>	494,2	FIBROCIMENTO
<b>1USM</b>	1098	FIBROCIMENTO	<b>5LSM</b>	776,6	TELHA METÁLICA
<b>1VSM</b>	372	FIBROCIMENTO	<b>5MSM</b>	765,8	TELHA METÁLICA
<b>1WSM</b>	1439,1	FIBROCIMENTO	<b>5NSM</b>	698	TELHA METÁLICA
<b>1XSM</b>	1830,7	FIBROCIMENTO	<b>5OSM A</b>	1066	TELHA METÁLICA
<b>1YSM</b>	1707	FIBROCIMENTO	<b>5OSM B</b>	472,6	TELHA METÁLICA
<b>1ZASM</b>	314,7	FIBROCIMENTO	<b>5PSM</b>	167,9	FIBROCIMENTO
<b>1ZBSM</b>	216,65	FIBROCIMENTO	<b>5RSM A</b>	1070	TELHA METÁLICA
<b>3CSM</b>	1954,2	TELHA METÁLICA	<b>5RSM B</b>	471,7	TELHA METÁLICA
<b>3DSM</b>	1295,3	TELHA METÁLICA	<b>5SSM</b>	1517	TELHA METÁLICA
<b>3ESM</b>	1884,9	TELHA METÁLICA	<b>5SSM</b>	261,5	VIDRO LAMINADO
<b>3JSM</b>	106,05	FIBROCIMENTO	<b>5TSM</b>	540,8	TELHA METÁLICA
<b>3LSM</b>	235,1	FIBROCIMENTO	<b>5USM</b>	660,4	FIBROCIMENTO
<b>3MSM</b>	1947,9	FIBROCIMENTO	<b>5VSM</b>	552,8	TELHA METÁLICA
<b>3NSM</b>	328,76	FIBROCIMENTO	<b>IJSM</b>	1982	FIBROCIMENTO
<b>3NSM</b>	274,2	POLICARBONATO			
			<b>Total</b>	64.070	

Fonte: Autor.

A Tabela 09 mostra um conjunto de valores do coeficiente de *runoff* para os diferentes tipos de matérias, de acordo com estudos de diversos autores.

Tabela 09- Coeficiente de *runoff* de diferentes materiais de cobertura.

Material	Coeficiente	Fonte
Telha cerâmica	0,80 a 0,90	Frasier (1975) e Hofkes (1981) apud May (2004)
	0,75 a 0,90	Vaes e Berlamont (1999) apud May (2004)
	0,56	Khan (1995)
	0,60	Haught e Wyckoff (2006)
Telha metálica	0,70 a 0,90	Frasier (1975) e Hofkes (1981) apud May (2004)
	0,90 a 0,95	Waterfall (2004)
	0,85	Khan (1995)
Telha esmaltada	0,90 a 0,95	Vaes e Berlamont (1999) apud May (2004)
	0,85	Haught e Wyckoff (2006)
Telha de amianto	0,80 a 0,90	DTU (2002)
Telhado de palha	0,39	Khan (1995)
Telhado verde	0,27	Khan (2001) apud Tomaz (2003)
Alumínio	0,85	Haught e Wyckoff (2006)
Plástico	0,94	Khan (2001) apud Tomaz (2003)
Placa de pedra	0,80	Khan (1995)

Fonte: Rocha (2009).

Assim, de acordo com o material que é feita a maioria das coberturas do campus Santa Mônica, adotou-se o coeficiente de *runoff* igual a 0,85.

A soma de todas as áreas de cobertura das edificações geram um total de 64.070 m<sup>2</sup>, com uma média de precipitação anual girando em torno de 1551,3 mm e considerando um coeficiente de aproveitamento de 85%, isto gera um potencial de 84.483,02 m<sup>3</sup> de água pluvial por ano.

## 4.2- DEFINIÇÃO DA POPULAÇÃO E DEMANDA NO CAMPUS SANTA MÔNICA

Essa etapa foi dividida em duas partes, sendo a primeira o levantamento da média do número de discentes em cada bloco em função do período de ocupação dos blocos, em especial aqueles onde sua maioria apresenta salas de aula e anfiteatros. O segundo levantamento é o de número de técnicos administrativos e professores, além dos discentes de pós-graduação que ocupam em sua maioria os blocos destinados aos setores administrativos das faculdades ou da própria universidade.

A população média dos discentes em cada bloco por dia e por turno, obtidos junto a DIRAC foram agrupados nas Tabelas de 10 a 12 de acordo com o período em que as aulas são ministradas.

Tabela 10- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (matutino) - ano 2016

<b>dia</b>	<b>3Q</b>	<b>5S</b>	<b>5R-A</b>	<b>5R-B</b>	<b>1B</b>	<b>3D</b>	<b>1C</b>	<b>5O-A</b>	<b>5O-B</b>	<b>1E</b>	<b>5T</b>	<b>1D</b>
seg	898	317	319	200	474	370	151	435	146	40	19	0
ter	974	400	442	221	524	392	176	428	159	41	0	0
quar	1107	348	538	220	474	361	163	474	107	49	0	0
qui	973	437	491	182	424	339	152	462	121	70	0	0
sex	790	372	315	148	309	338	128	469	43	28	22	22
sab	38	66	3	0	0	0	0	25	0	0	0	0
<b>Σsemana</b>	<b>4780</b>	<b>1940</b>	<b>2108</b>	<b>971</b>	<b>2205</b>	<b>1800</b>	<b>770</b>	<b>2293</b>	<b>576</b>	<b>228</b>	<b>41</b>	<b>22</b>

Fonte: O Autor 2016.

Tabela 11- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (vespertino) - ano 2016.

<b>dia</b>	<b>3Q</b>	<b>5S</b>	<b>5R-A</b>	<b>5R-B</b>	<b>1B</b>	<b>3D</b>	<b>1C</b>	<b>5O-A</b>	<b>5O-B</b>	<b>1E</b>	<b>5T</b>	<b>1Q</b>
seg	575	171	450	60	362	121	61	87	82	14	0	21
ter	541	308	312	38	373	149	80	159	81	24	23	0
quar	538	192	356	34	378	148	57	48	20	13	0	0
qui	679	214	288	0	278	98	87	55	41	34	21	0
sex	430	84	120	59	183	123	102	54	95	0	0	0
sab	6	19	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0
<b>Σ</b>	<b>2769</b>	<b>988</b>	<b>1526</b>	<b>191</b>	<b>1574</b>	<b>639</b>	<b>387</b>	<b>462</b>	<b>319</b>	<b>85</b>	<b>44</b>	<b>21</b>

Fonte: O Autor 2016.

Tabela 12- População média de alunos por dia em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica (noturno) - ano de 2016

<b>dia</b>	<b>3Q</b>	<b>5S</b>	<b>5R-A</b>	<b>5R-B</b>	<b>1B</b>	<b>3D</b>	<b>1C</b>	<b>5O-A</b>	<b>5O-B</b>	<b>1E</b>
seg	1121	531	191	341	522	435	0	0	0	10
ter	1198	676	232	318	545	390	127	578	100	10
quar	1188	448	293	279	612	397	171	505	9	0
qui	1208	427	210	310	502	425	40	589	35	16
sex	935	381	60	297	384	401	85	673	25	0
sab	0	0	0	0	0	0	164	391	37	0
<b>Σ</b>	<b>5650</b>	<b>2463</b>	<b>986</b>	<b>1545</b>	<b>2565</b>	<b>2048</b>	<b>587</b>	<b>2736</b>	<b>206</b>	<b>36</b>

Fonte: O Autor 2016.

A partir dos dados de população média diária dos blocos durante a semana, notou-se que os prédios com maior população são respectivamente o bloco 3Q, 1B, 5O-A e 5S, conforme exemplificado na Tabela 13.

Tabela 13- População média de alunos por semana em blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica - ano de 2016

BLOCO	ALUNOS
3Q	13199
1B	6344
5O-A	5491
5S	5391
5R-A	4620
3D	4487
5R-B	2707
1C	1744
5O-B	1101
1E	349
1Q	84
1D	21
1M	22
5T	10

Fonte: O Autor (2016).

Com os dados de população média dos alunos por dia da semana e por turno, realizou-se a média dos alunos por turno e por dia, logo em seguida, somou-se os três turnos para encontrar o valor da população média diária durante a semana e nos sábados, conforme Tabelas 14 e 15.

Tabela 14- População média de alunos por dia em blocos do Campus Santa Mônica (segunda a sexta-feira , ano de 2016).

<b>Período</b>	<b>3Q</b>	<b>5S</b>	<b>5R- A</b>	<b>5R- B</b>	<b>1B</b>	<b>3D</b>	<b>1C</b>	<b>5O- A</b>	<b>5O- B</b>	<b>1E</b>	<b>5T</b>	<b>1Q</b>	<b>1D</b>	<b>1M</b>
matutino	948	375	421	194	441	360	154	454	115	46	8	0	4	0
vespertino	553	194	305	38	315	128	77	81	64	17	9	4	0	2
noturno	1130	493	197	309	513	410	117	547	41	7	0	0	0	0
<b>total</b>	<b>2631</b>	<b>1062</b>	<b>923</b>	<b>541</b>	<b>1269</b>	<b>898</b>	<b>348</b>	<b>1082</b>	<b>220</b>	<b>70</b>	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Fonte: O Autor (2016).

Tabela 15-População média de alunos por dia em blocos do Campus Santa Mônica (nos sábados - ano de 2016).

<b>Período</b>	<b>3Q</b>	<b>5S</b>	<b>5R- A</b>	<b>5R- B</b>	<b>1B</b>	<b>3D</b>	<b>1C</b>	<b>5O- A</b>	<b>5O- B</b>	<b>1E</b>	<b>5T</b>	<b>1Q</b>	<b>1D</b>	<b>1M</b>
matutino	38	66	3	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
vespertino	6	19	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0
Noturno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>85</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>84</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: O Autor (2016).

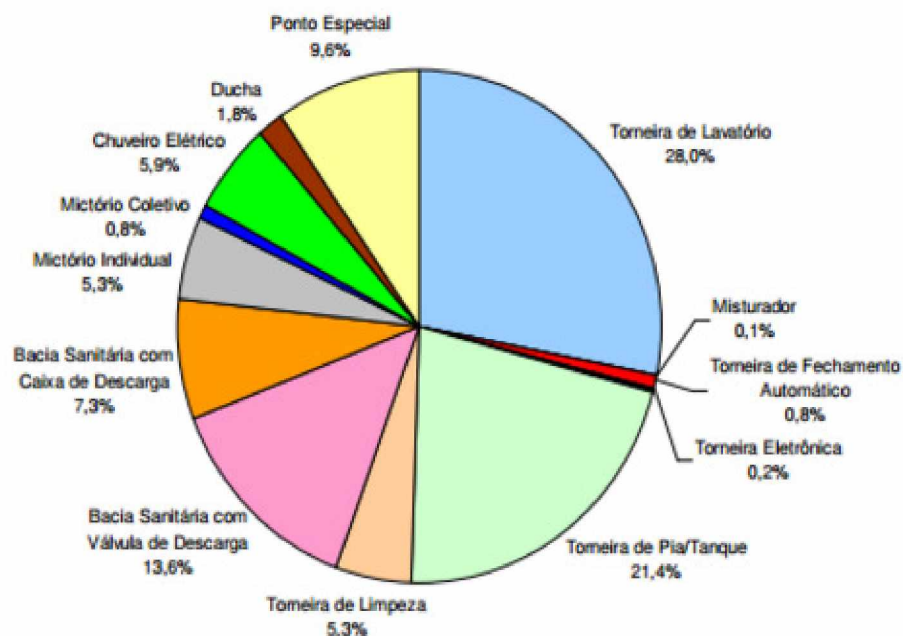
Com a média populacional do blocos recorreu-se a demandas encontradas na literatura da área, entre vários autores, destacam-se:

Kammers ( 2004) encontrou uma demanda média por água potável de 36,7 L/ pessoa.dia, em seu estudo sobre o consumo de água potável em 10 edifícios públicos na cidade de Florianópolis.

Segundo Gonçalves 2002 apud Silva 2004, edifícios públicos e escolas tipo externato possuem uma demanda diária de 50 Litros/ pessoa.dia.

De acordo com a Figura 15 podemos notar que a porcentagem consumida de água para fins não potáveis é de 32,3% do total de água potável consumida, somando-se as porcentagens de mictórios, bacias sanitárias e torneira de limpeza. Para a demanda de 50 Litros/pessoa.dia referente a órgãos públicos e escolas externato isto geraria um consumo de 16,15 L/pessoa.dia por água para fins não potáveis.

Figura 15- Porcentagens de consumo de água potável de acordo com seus usos finais na Universidade de São Paulo -USP.



Fonte: Silva 2004.

Marinoski 2008 obteve o valor de 15,5L/pessoa.dia para utilização destinada a fins não potáveis em uma instituição de ensino superior SENAI na cidade de Florianópolis- SC.

Salla *et al* (2013) estudaram a demanda por água em um bloco de sala de aulas da UFU e verificaram que a demanda por água potável no bloco variava de 20 a 30 L/aluno.dia.

Em posse da população média diária durante a semana e aos sábados; adotou-se um consumo médio diário de água potável de 25L/aluno.dia, estimou-se a demanda diária para cada bloco



de sala de aula do campus conforme Tabelas 16 e 17, pois não foi objetivo deste trabalho realizar levantamento de demandas de consumo de água dos laboratórios dos campi da UFU.

Tabela 16- Demanda média de alunos por dia de segunda a sexta-feira nos blocos do Campus Santa Mônica- ano de 2016.

Dados	3Q	5S	5R-A	5R-B	1B	3D	1C	5O-A	5O-B	1E	5T	1Q	1D	1M
população média	2631	1062	923	541	1269	898	348	1082	220	70	17	4	4	2
consumo/hab.dia	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
demanda bloco (m³)	65,78	26,55	23,08	13,53	31,73	22,45	8,7	27,05	5,5	1,75	0,43	0,1	0,1	0,05

Fonte: O Autor (2016).

Tabela 17- Demanda média de alunos por dia nos blocos de sala de aula do Campus Santa Mônica nos sábados - ano de 2016.

Dados	3Q	5S	5R-A	5R-B	1B	3D	1C	5O-A	5O-B	1E	5T	1Q	1D	1M
população média	44	85	3	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0
Consumo/hab.dia	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
demanda bloco (m³)	1,1	2,1	0,08	0	0	0	0	2,1	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2016).

Para o cálculo das demandas dos técnicos administrativos, docentes e pós-graduandos, também foi cedido pela Diretoria de Administração e Controle Acadêmico (DIRAC) uma planilha com a quantidade de servidores por setor e, por meio de uma pesquisa no *site* da UFU e via ramal telefônico descobriu-se onde cada setor e funcionários estão lotados no Campus Santa Mônica.

Somando-se assim a quantidade de aluno média por dia, com a quantidade de docentes, técnicos administrativos e pós-graduandos têm-se a população média de cada bloco. A Tabela 18 mostra a demanda dos blocos em ordem decrescente.

Tabela 18- Demanda média por água potável nos blocos do Campus Santa de segunda a sexta-feira - ano de 2016.

<b>Bloco</b>	<b>Técnicos</b>	<b>Docentes e pós graduandos</b>	<b>População média de graduandos</b>	<b>População total</b>	<b>Demanda diária meio de semana(m³)</b>
3Q	6	0	2631	2637	65,9
1B	17	157	1269	1443	36,1
5O-A	0	0	1082	1082	27,1
5S	0	0	1062	1062	26,6
5R-A	45	0	968	1013	25,3
3D	8	87	898	993	24,8
5R-B	0	0	541	541	13,5
R	446	0	0	446	11,2
1C	0	0	348	348	8,7
1G	33	312	0	345	8,6
3N	4	274	0	278	7,0
1H	31	209	0	240	6,0
5O-B	0	0	220	220	5,5
1K	20	181	0	201	5,0
3M	31	158	0	189	4,7
1F	23	158	0	181	4,5
IJ	46	122	0	168	4,2
1Y	14	106	0	120	3,0
1U	28	66	0	94	2,4
1X	17	68	0	85	2,1
1E	13	0	70	83	2,1
1I	14	37	0	51	1,3
3C	50	0	0	50	1,3
1S	49	0	0	49	1,2
5R	45	0	0	45	1,1
1A	37	0	0	37	0,9
1M	25	0	2	27	0,7
3E	25	0	0	25	0,6
1D	10	0	4	14	0,4
1W	8	0	0	8	0,2
5D	5	0	0	5	0,1
5V	4	0	0	4	0,1
3Z	3	0	0	3	0,1
1M	0	0	2	2	0,1

Fonte: Dados da pesquisa.

### 4.3–ESTUDOS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PARA CADA BLOCO

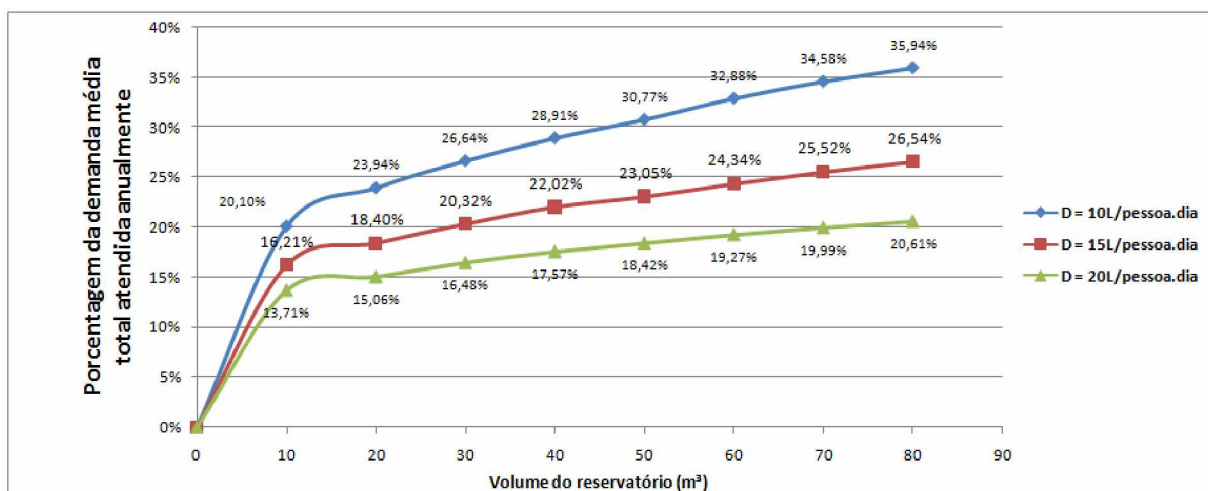
Realizaram-se simulações considerando reservatórios com volumes variando de 10 a 80 m<sup>3</sup>, analisando-se o potencial de economia, a quantidade de água potável economizada anualmente, o volume extravasado médio diário e o período de retorno do capital investido.

Considerou-se a substituição de água potável por água pluvial nas seguintes porcentagens 40%, 60% e 80%, respectivamente 10 , 15 e 20 L/pessoa.dia (KAMMERS; GHISI, 2006; MARINOSKI; GHISI, 2008).

O primeiro bloco a ser simulado foi o 3QSM, bloco com maior população de discentes do Campus, o bloco possui uma cobertura de 3732 m<sup>2</sup>, uma população normal média de 2631 discentes de segunda a sexta e 44 aos sábados.

A Figura 16 exemplifica a porcentagem da demanda anual atendida de acordo com o volume do reservatório de armazenamento para o Bloco 3QSM.

Figura 16- Gráfico porcentagem de economia de água potável, 3QSM.



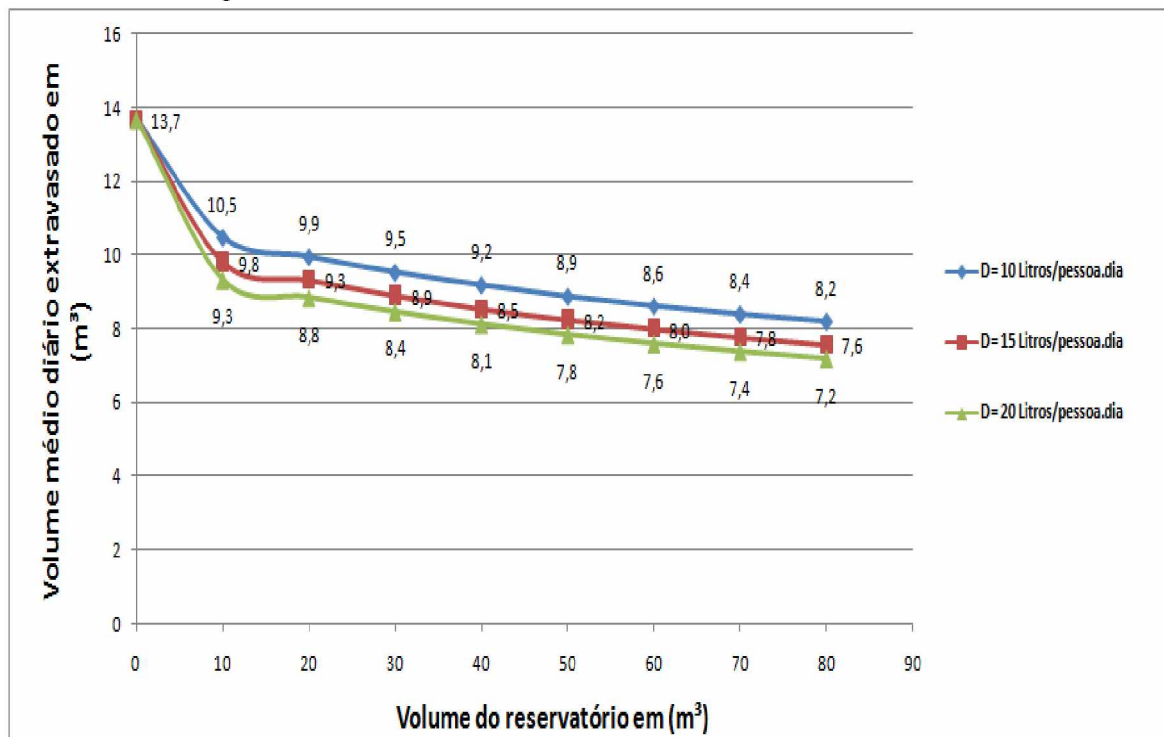
Fonte: O Autor.

De acordo com a Figura 16, pode-se notar uma relação linear entre o aumento da porcentagem da demanda média anual atendida e o aumento do volume do reservatório de armazenamento.

Verificou-se também que, quanto maior o valor da demanda, menor a porcentagem da economia anual devido ao período de estiagem, pois, a porcentagem média anual é calculada pelo somatório das demandas atendidas dividido pelo somatório das demandas totais. A porcentagem de demanda anual média atendida para a demanda de 10L supera em 32% e 65%, respectivamente as porcentagens das demandas de 15 e 20L.

O volume extravasado médio diário em  $\text{m}^3$  pode ser observado de acordo com Figura 17.

Figura 17- Volume médio diário extravasado em  $\text{m}^3$ , 3QSM.



Fonte: O Autor.

O volume médio de água extravasado diário, para o Bloco 3Q, foi de  $13,7 \text{ m}^3$ , tal valor é reduzido gradualmente com o aumento da demanda e do volume do reservatório de armazenamento. O reservatório de  $10 \text{ m}^3$ , menor dentre os simulados, produz um volume extravasado médio diário cerca de 28% maior que o reservatório de  $80 \text{ m}^3$  para os três tipos de demandas estudados.

Por meio da Tabela 19 é possível verificar a economia média em cada mês, para cada volume de reservatório simulado, adotando entre as três demandas por água não potável adotadas, a de 20 litros/discente.dia.

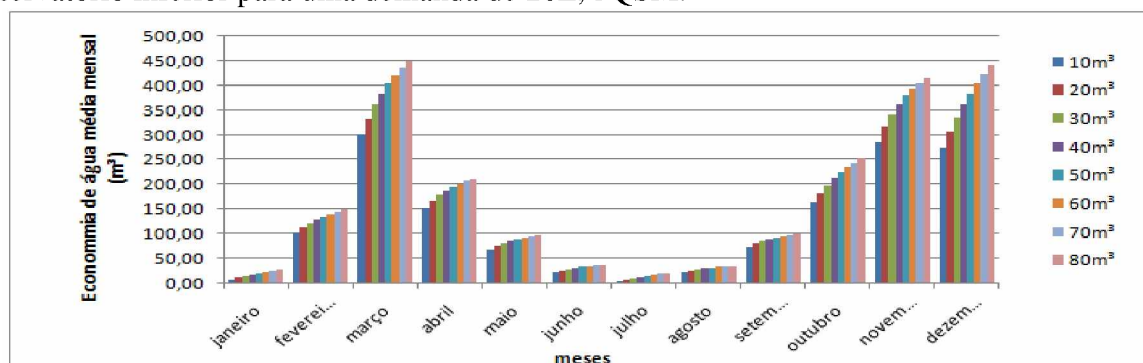
Tabela 19- Economia de água potável por mês e por ano ( $m^3$ ) de acordo com o volume do reservatório adotado 3QSM.

Vol/mês	10 $m^3$	20 $m^3$	30 $m^3$	40 $m^3$	50 $m^3$	60 $m^3$	70 $m^3$	80 $m^3$
janeiro	9,23	12,26	15,29	18,32	21,06	24,08	27,11	30,14
fevereiro	102,70	113,00	121,86	129,55	135,98	141,18	145,60	149,77
março	302,85	334,01	361,36	384,15	403,64	421,55	436,60	449,52
abril	153,09	167,75	178,78	188,21	195,95	202,25	207,73	212,28
maio	69,01	76,78	82,49	86,69	90,15	92,99	95,14	96,96
junho	22,77	26,34	29,22	31,50	33,32	34,93	36,44	37,75
julho	4,80	8,39	11,59	14,13	16,38	18,27	20,09	21,70
agosto	24,72	27,33	29,15	30,66	32,18	33,43	34,65	35,50
setembro	72,80	81,23	86,60	90,60	93,71	96,12	98,03	99,54
outubro	162,82	183,41	199,71	213,01	224,72	234,98	244,61	253,31
novembro	285,69	316,51	341,37	362,75	379,77	393,11	404,89	415,15
dezembro	275,34	307,13	335,96	361,74	384,85	405,31	424,09	441,33
<b>total (<math>m^3</math>)</b>	<b>1485,8</b>	<b>1654,1</b>	<b>1793,3</b>	<b>1911,3</b>	<b>2011,7</b>	<b>2098,2</b>	<b>2174,9</b>	<b>2242,9</b>
<b>por ano</b>								

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da Tabela 19, foi possível montar a Figura 18, demonstrando como varia a economia de água durante os meses de acordo com o tamanho do reservatório.

Figura 18- Gráfico economia de água potável em relação aos meses e ao volume adotado do reservatório inferior para uma demanda de 20L, 3QSM.

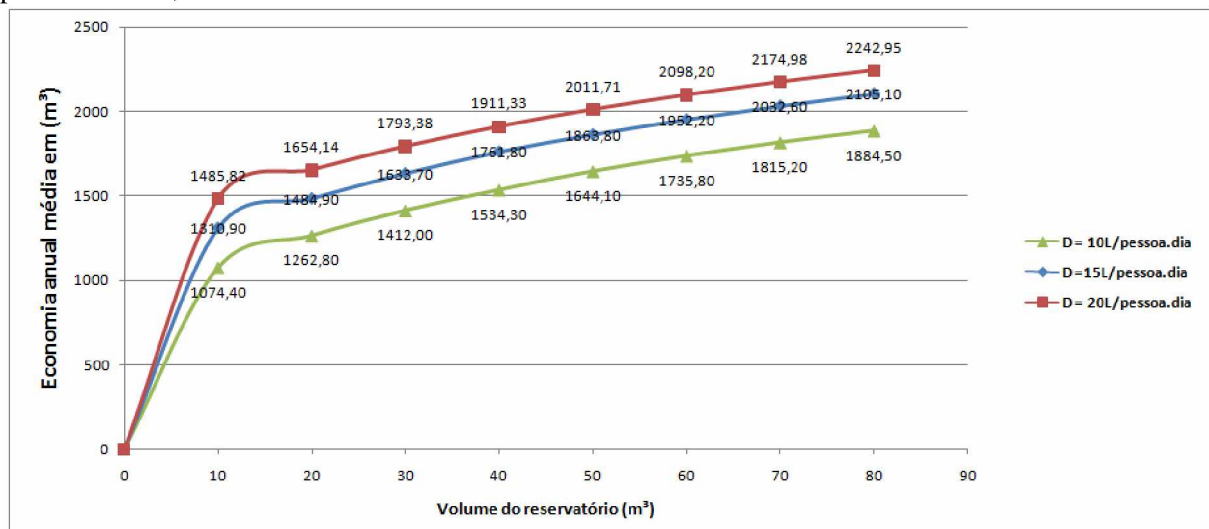


Fonte: O Autor.

Nos meses de maio a setembro, devido a grandes períodos sem chuva, todos os reservatórios produzem baixa eficiência na economia de água potável. Os meses de março, novembro e dezembro, devido ao aumento das precipitações e a grande demanda, são os meses que proporcionam maiores economias de água. Na Figura 18, observa-se que os meses de janeiro e fevereiro apesar de possuírem alto índice de precipitação, geram baixa economia, pois parte das férias letivas se encaixam nesse período. Pode-se observar também que quanto maior o volume do reservatório maior a economia de água. No mês de março, por exemplo, um reservatório de 80m<sup>3</sup> produziria uma economia de quase 450m<sup>3</sup> de água potável.

A Figura 19 compara a economia de água anual, em m<sup>3</sup>, dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

Figura 19- Comparação da economia anual de água potável para as demandas por água não potável de 10, 15 e 20 litros.

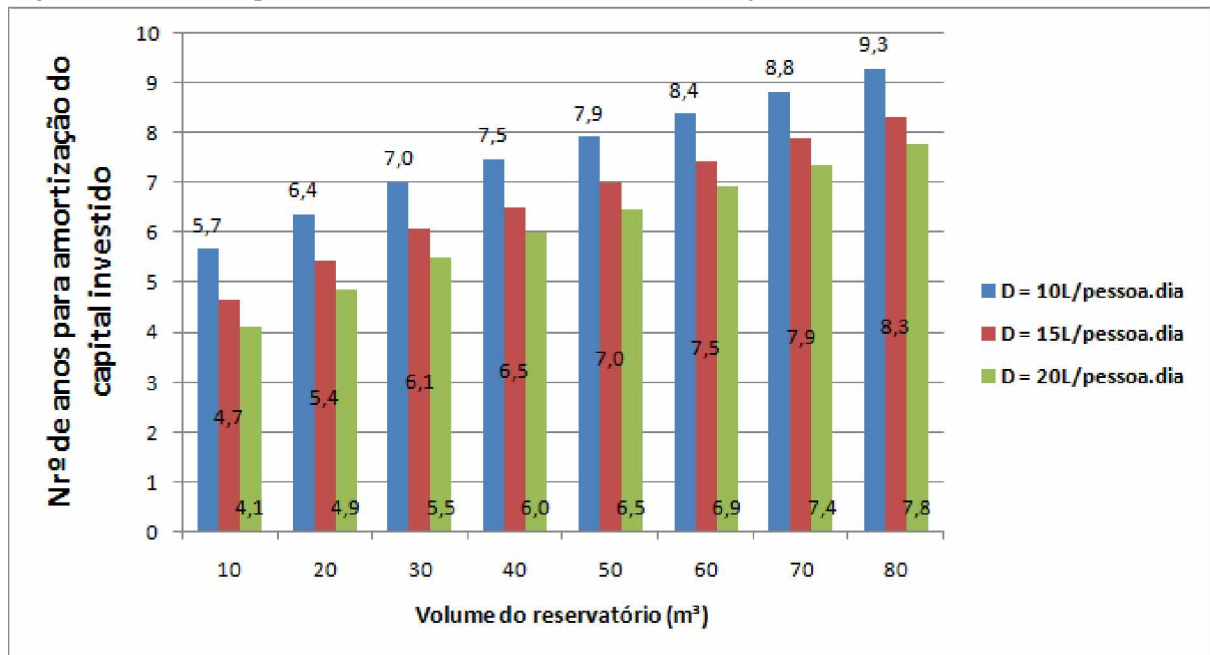


Fonte: O Autor.

De acordo com a Figura 19, podemos perceber que quanto maior a demanda e o volume do reservatório, maior será a economia anual de água potável. A economia média anual da demanda de 20 L foi, em média, 9% e 24% maior que as economias das demandas de 15L e 10L respectivamente. O reservatórios de 80m<sup>3</sup> podem produzir uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em 75%, 60% e 51%, respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

Com base em uma planilha orçamentária estimada baseada em preços da Tabela SINAPI calculou-se o período médio de retorno do capital investido na construção do reservatório inferior, conforme Figura 20.

Figura 20- Gráfico período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 3QSM.



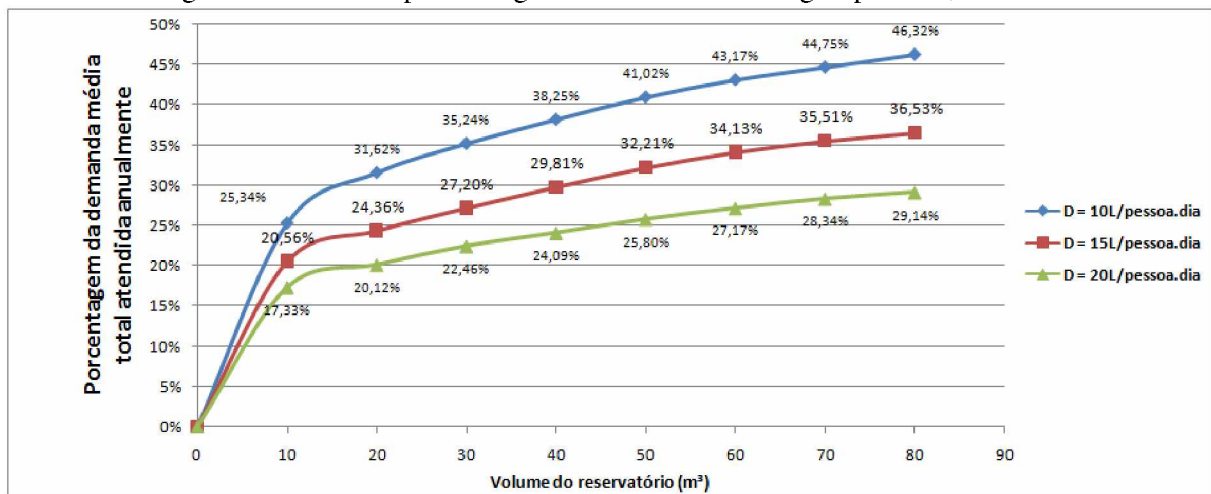
Fonte: O Autor.

Quanto maior o valor da demanda, maior a economia média anual e menor o período de amortização, o qual variou entre 4,1 a 9,3 anos. Por exemplo, os resultados para a demanda de 20L, o reservatório de 80m³ apresentou um período de retorno de capital de 3,7 anos a mais se comparado ao reservatório de 10m³, porém uma economia anual média cerca de 51% maior. Portanto compensaria a instalação do reservatório de 80m³ e, caso ocorresse aumento no preço da água tratada o retorno financeiro tenderia a ser mais rápido ainda.

O segundo bloco mais populoso é o bloco 1BSM, este possui um população normal média diária é de 1269 alunos de segunda a sexta-feira e área de cobertura de 2776 m².

A Figura 21 mostra a porcentagem da demanda total atendida de acordo com o volume de reservatório.

Figura 21- Gráfico porcentagem de economia de água potável, 1BSM.

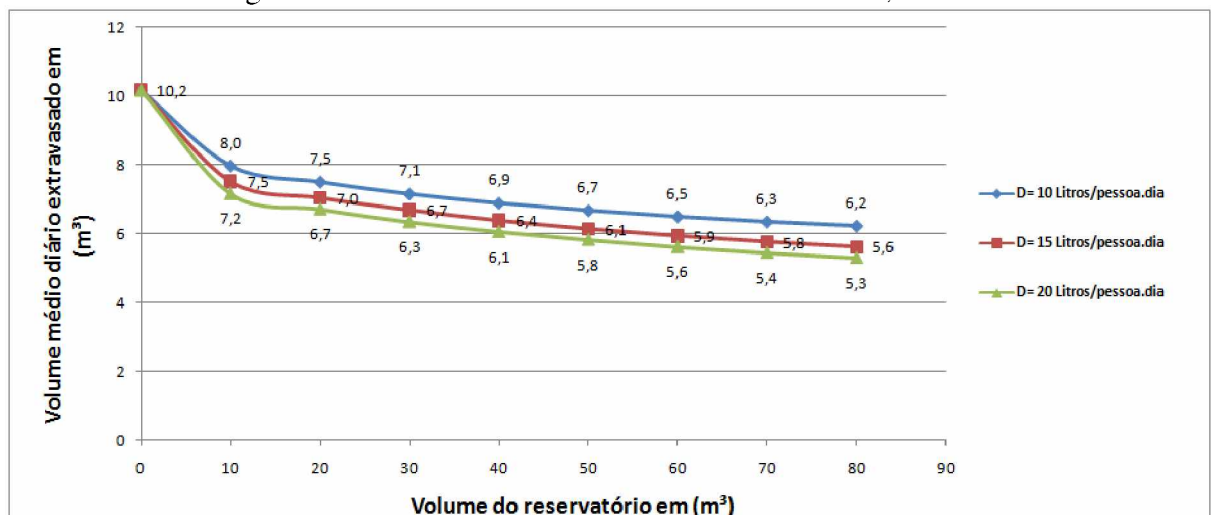


Fonte: O Autor.

A porcentagem da demanda total atendida para demanda de 10L é cerca de 27% maior que para a demanda 15 L e, em média, 57% maior que a demanda de 20 Litros.

O volume extravasado médio diário, em m³, em função do volume do reservatório de armazenamento pode ser observado de acordo com a Figura 22.

Figura 22- Volume diário médio extravasado em m³, 1BSM.



Fonte: O Autor.

O volume médio diário extravasado, para o Bloco 1B, foi de 10,2 m³. O volume extravasado pelo telhado para a demanda de 10L é cerca de 8% e 14% maior que o volume extravasado para as demandas de 15L e 20L respectivamente.



Através da Tabela 20 é possível verificar a economia média (m<sup>3</sup>) em cada mês para cada volume de reservatório simulado para uma demanda de 20L.

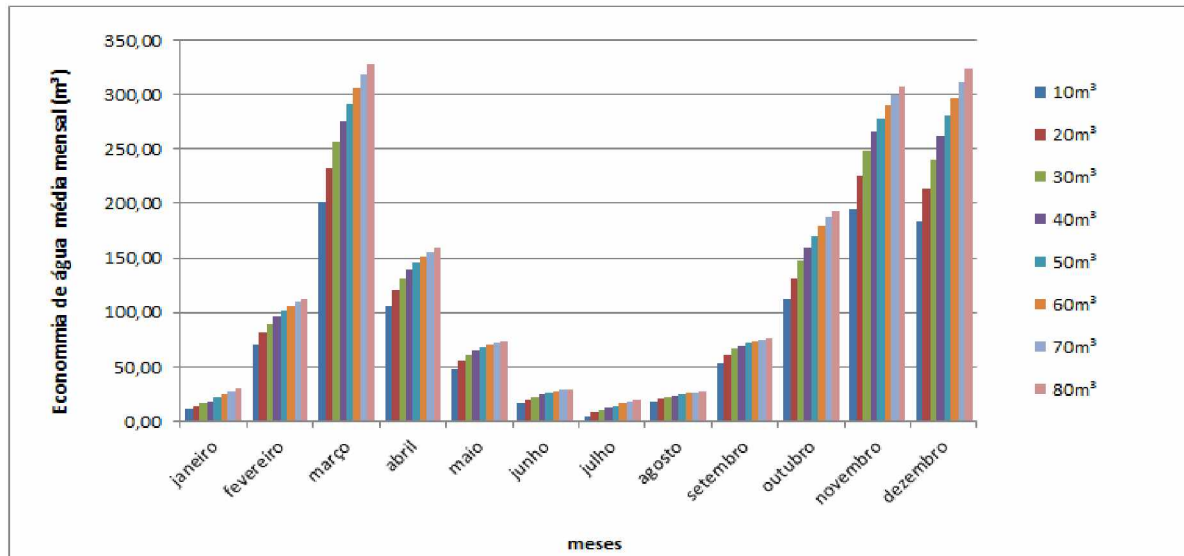
Tabela 20- Economia de água potável por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 1BSM:

<b>Vol/mês</b>	<b>10 m<sup>3</sup></b>	<b>20 m<sup>3</sup></b>	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>40 m<sup>3</sup></b>	<b>50 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>70 m<sup>3</sup></b>	<b>80 m<sup>3</sup></b>
janeiro	11,15	13,58	16,30	18,81	21,63	24,66	27,69	30,81
fevereiro	70,96	80,96	89,59	95,96	101,25	106,13	109,23	112,08
março	201,65	231,56	255,82	275,16	291,83	306,22	318,18	328,40
abril	105,45	119,86	131,06	139,38	145,97	151,60	156,12	159,89
maio	48,45	55,59	61,53	65,39	68,28	70,80	72,52	73,90
junho	16,61	20,03	22,51	24,62	26,14	27,66	28,80	29,58
julho	4,78	8,20	10,83	13,01	14,83	16,45	17,97	19,25
agosto	18,13	20,53	22,42	23,63	24,84	25,81	26,41	27,04
setembro	53,12	60,69	66,41	69,79	72,00	73,57	74,99	76,21
outubro	111,92	131,87	147,05	159,40	170,39	179,80	187,34	193,56
novembro	194,97	224,96	248,75	265,42	278,62	289,98	299,79	307,95
dezembro	183,61	213,50	240,24	261,82	280,51	296,93	311,00	324,35
<b>total (m<sup>3</sup>) por ano</b>	<b>1020,80</b>	<b>1181,34</b>	<b>1312,51</b>	<b>1412,40</b>	<b>1496,30</b>	<b>1569,60</b>	<b>1630,07</b>	<b>1683,01</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Por meio da Figura 23 pode-se notar a variação da economia mensal de acordo com o volume adotado para uma demanda diária de 20Litros /pessoa.dia.

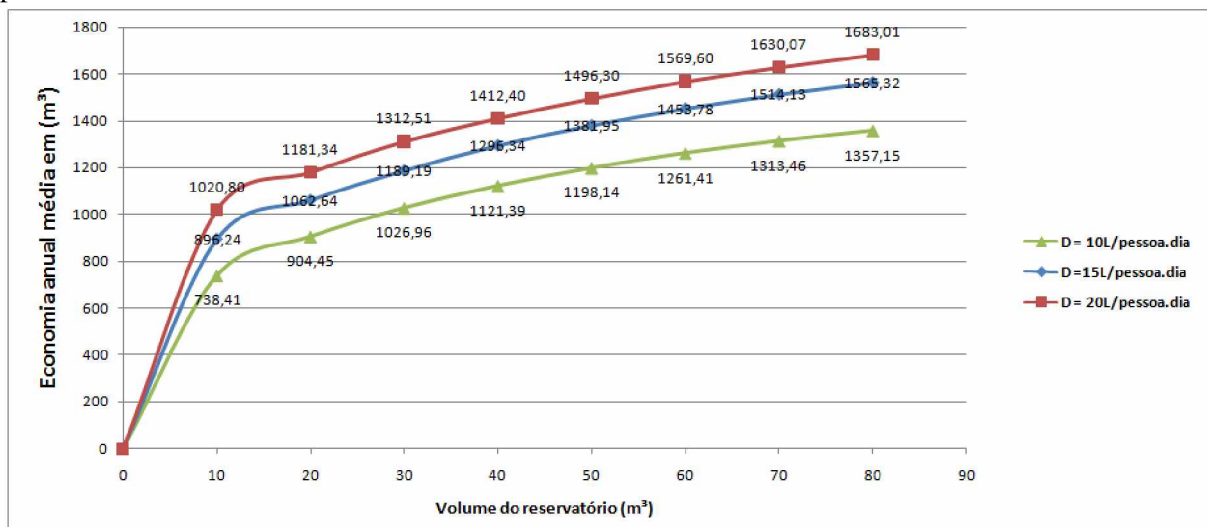
Figura 23- Gráfico economia de água potável em relação aos meses e ao volume adotado do reservatório inferior, 1BSM.



Fonte: O Autor.

As maiores economias são obtidas nos meses de março, novembro e dezembro com volumes de economia médios mensais de 328,40; 307,95 e 324,35 m³, respectivamente para o reservatório de 80 m³. A Figura 24 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros:

Figura 24-Comparação da economia anual de água potável para as demandas por água não potável de 10, 15 e 20 litros.

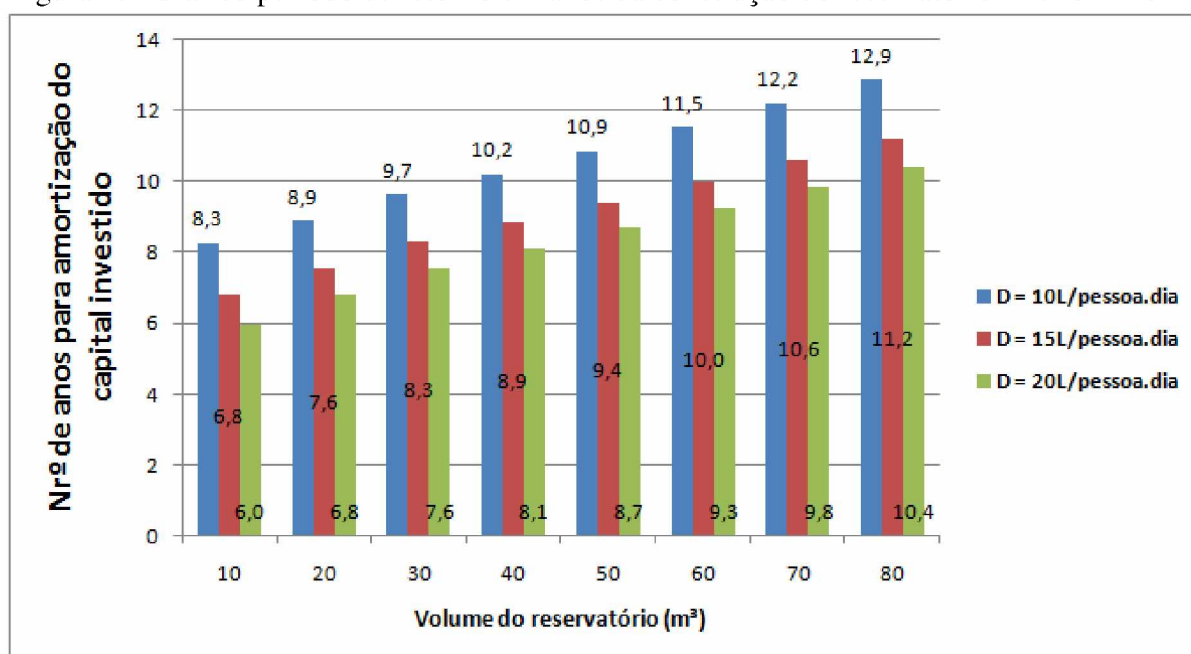


Fonte: O Autor

A economia média anual de água potável para a demanda de 20 L foi, em média, 9% e 28% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 85%, 75% e 65% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

A Figura 25 representa a quantidade de anos necessários para o retorno do capital investido para os diferentes volumes de reservatórios de armazenamento e para as diferentes demandas:

Figura 25- Gráfico período de retorno em anos da construção do reservatório inferior 1BSM.



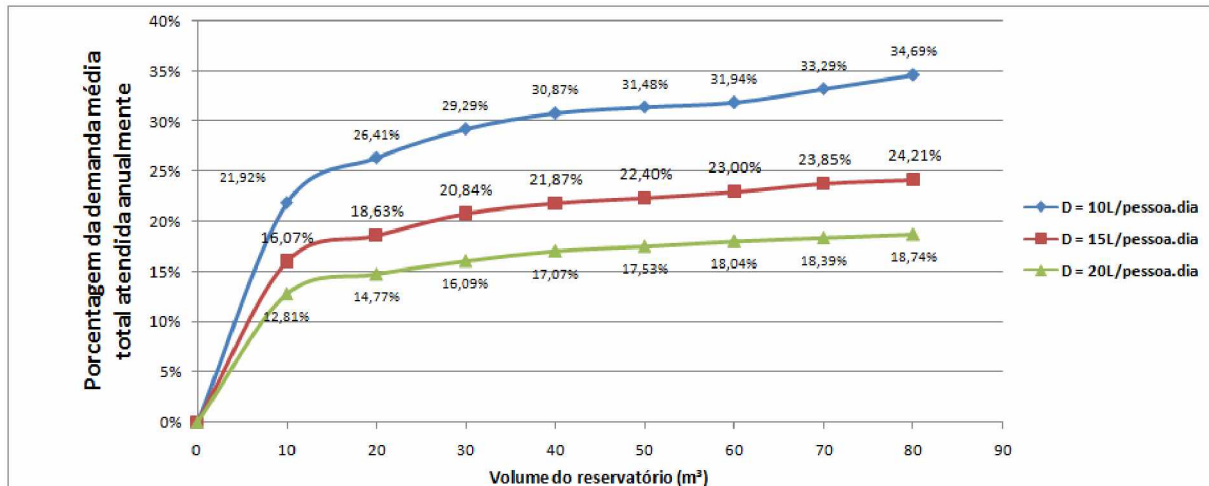
Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 1B, variou entre 6,0 a 12,9 anos, levando-se em consideração os resultados obtidos para a demanda de 20L, o período de retorno do reservatório de 80 m<sup>3</sup> foi 4,4 anos maior que reservatório de 10m<sup>3</sup> e sua economia média anual de água potável foi cerca de 65% maior.

O bloco 5O-A possui uma população média diária de 1082 alunos durante a semana, 86 alunos durante os sábados e uma cobertura de aproximadamente 1066 m<sup>2</sup>.

A Figura 26 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume do reservatório de armazenamento para o bloco 5O-A.

Figura 26- Porcentagem de economia em relação ao volume adotado do reservatório, 5O-A.

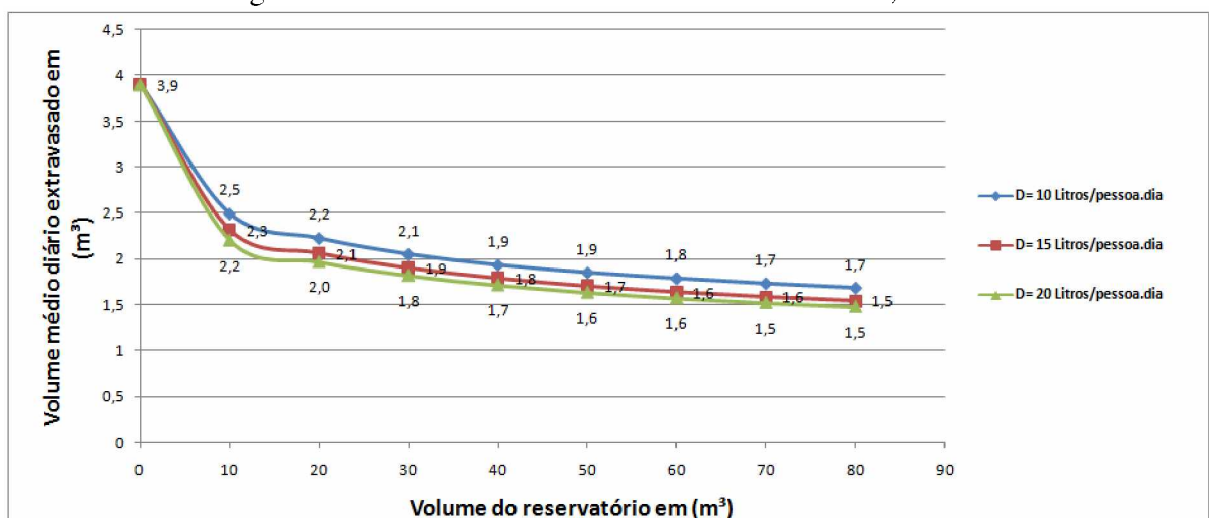


Fonte: O Autor.

A porcentagem da demanda média total atendida no Bloco 5O-A para demanda de 10L é cerca de 40% e 79% superior as porcentagens das demandas atendidas para as demandas de 15L e 20L respectivamente.

O volume extravasado médio diário, em m³, pode ser observado de acordo com Figura 29:

Figura 27- Volume diário médio extravasado em m³, 5O-A.



Fonte: O Autor.

O volume médio diário de água extravasado, para o Bloco 5O-A, foi de 3,9 m<sup>3</sup> por dia. O volume extravasado pelo telhado para a demanda de 10L é cerca de 9% e de 13% maior que o volume extravasado para as demandas de 15L e 20L respectivamente.

Através da Tabela 21 é possível verificar a economia média em cada mês para cada volume de reservatório simulado, para uma demanda de 20L/pessoa.dia.

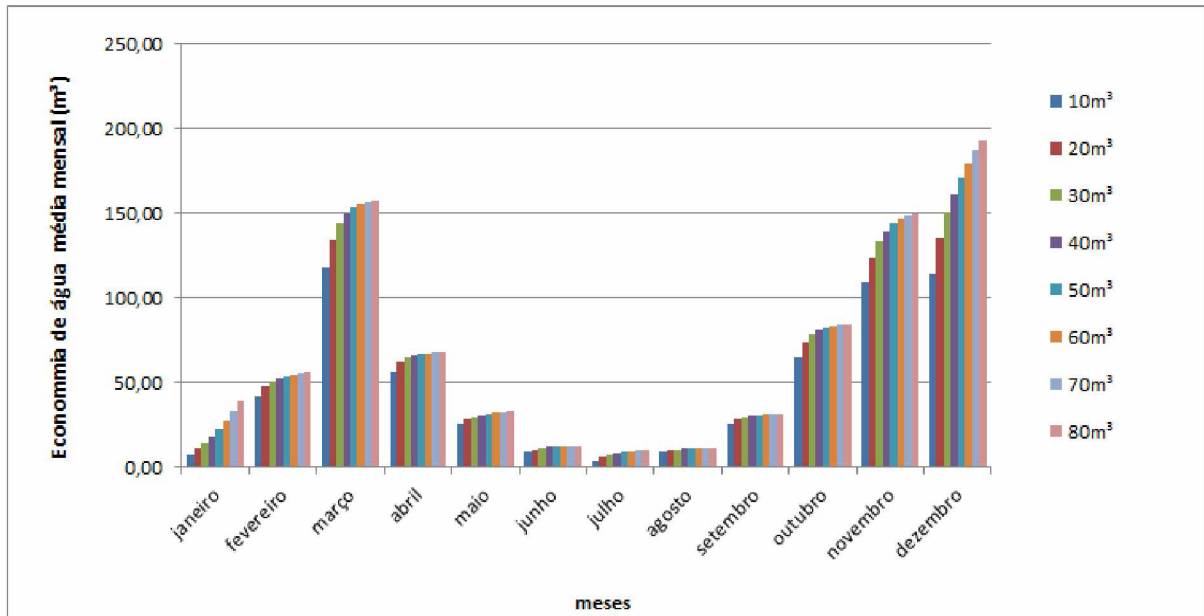
Tabela 21- Economia de água potável (m<sup>3</sup>) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A:

<b>Vol/mês</b>	<b>10 m<sup>3</sup></b>	<b>20 m<sup>3</sup></b>	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>40 m<sup>3</sup></b>	<b>50 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>70 m<sup>3</sup></b>	<b>80 m<sup>3</sup></b>
janeiro	7,28	10,65	14,16	18,02	22,79	27,89	33,12	38,57
fevereiro	42,19	47,21	50,43	52,33	53,77	54,68	55,59	56,50
março	117,80	133,82	143,71	149,75	153,30	155,18	156,11	156,81
abril	56,61	61,92	64,74	66,24	67,00	67,30	67,48	67,48
maio	25,64	28,01	29,59	30,80	31,75	32,36	32,67	32,97
junho	9,20	10,62	11,34	11,68	11,95	11,95	11,95	11,95
julho	3,86	5,90	7,36	8,28	9,19	9,57	9,87	9,93
agosto	8,81	10,23	10,60	10,99	10,99	10,99	10,99	10,99
setembro	25,73	28,27	29,41	30,26	30,70	31,00	31,30	31,57
outubro	64,58	74,03	78,69	80,95	82,47	83,40	83,84	84,14
novembro	109,37	123,58	132,78	138,74	143,54	146,46	148,09	149,30
dezembro	114,27	134,93	150,05	161,37	170,60	179,43	186,96	192,87
<b>total (m<sup>3</sup>) por ano</b>	<b>585,33</b>	<b>669,16</b>	<b>722,84</b>	<b>759,42</b>	<b>788,05</b>	<b>810,21</b>	<b>827,97</b>	<b>843,10</b>

Fonte: O Autor.

A partir da Tabela 21 foi executado o gráfico da Figura 28 com a economia média mensal de acordo com o volume do reservatório de armazenamento

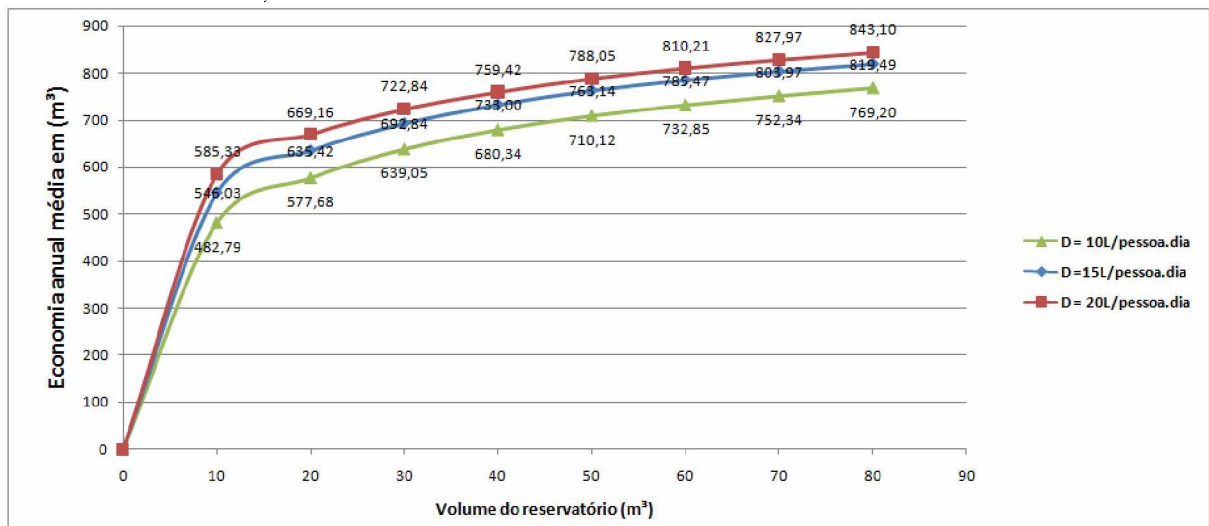
Figura 28- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A.



As maiores economias foram obtidas nos meses de março, novembro e dezembro com volumes de economia médios mensais de 156,81; 149,30 e 192,87 m<sup>3</sup>, respectivamente para o reservatório de 80 m<sup>3</sup>.

A Figura 29 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

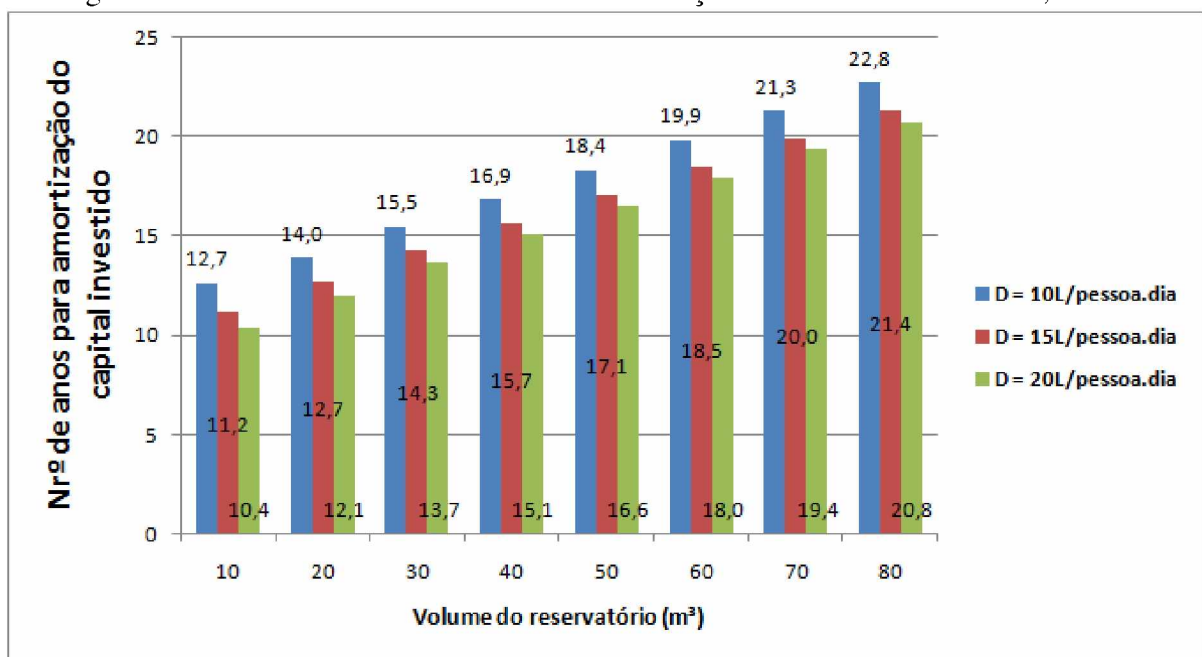
Figura 29- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 5O-A.



A economia média anual de água potável para demanda de 20 L foi em média, 04% e 13% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 59%, 50% e 44% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

A Figura 30 representa a quantidade de anos necessários para o retorno do capital investido para os diferentes volumes de reservatórios de armazenamento e para as diferentes demandas.

Figura 30- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5O -A.



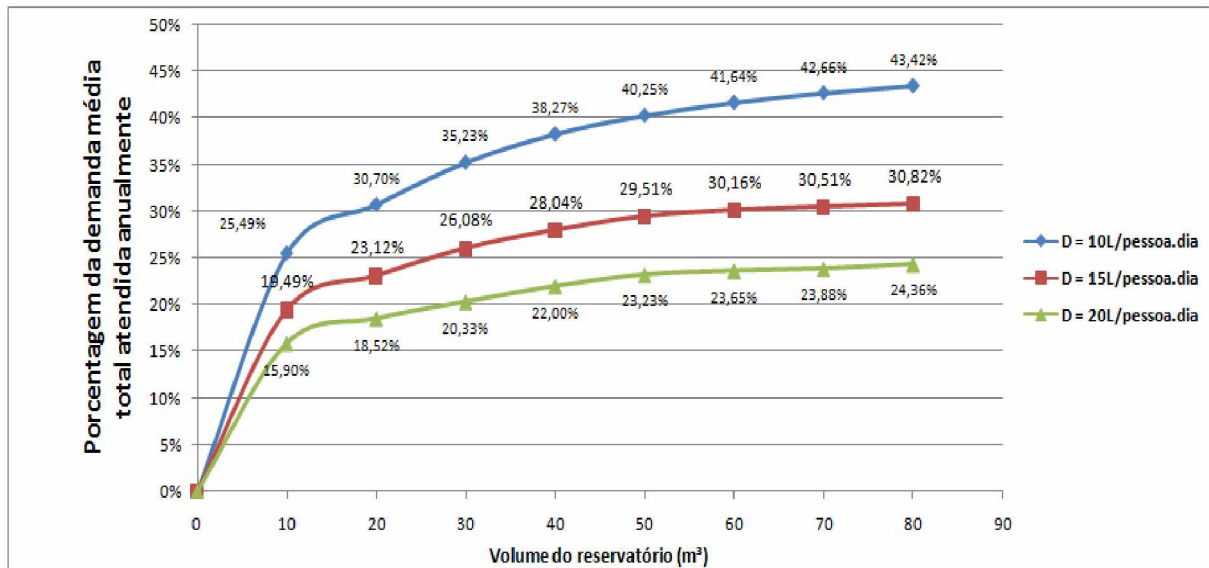
Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 5O-A, variou de 10,4 a 22,8 anos, levando-se em consideração a demanda de 20L, o reservatório de 80m<sup>3</sup> teve um período de retorno do capital investido 12,4 anos maior que do reservatório de 10m<sup>3</sup>, e sua economia anual é cerca de 44% maior.

O Bloco 5S possui uma população média diária de 1062 alunos durante a semana e 86 alunos durante os sábados e uma cobertura de aproximadamente 1517 m<sup>2</sup>.

A Figura 31 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume de reservatório.

Figura 31- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o reservatório adotado, 5S.

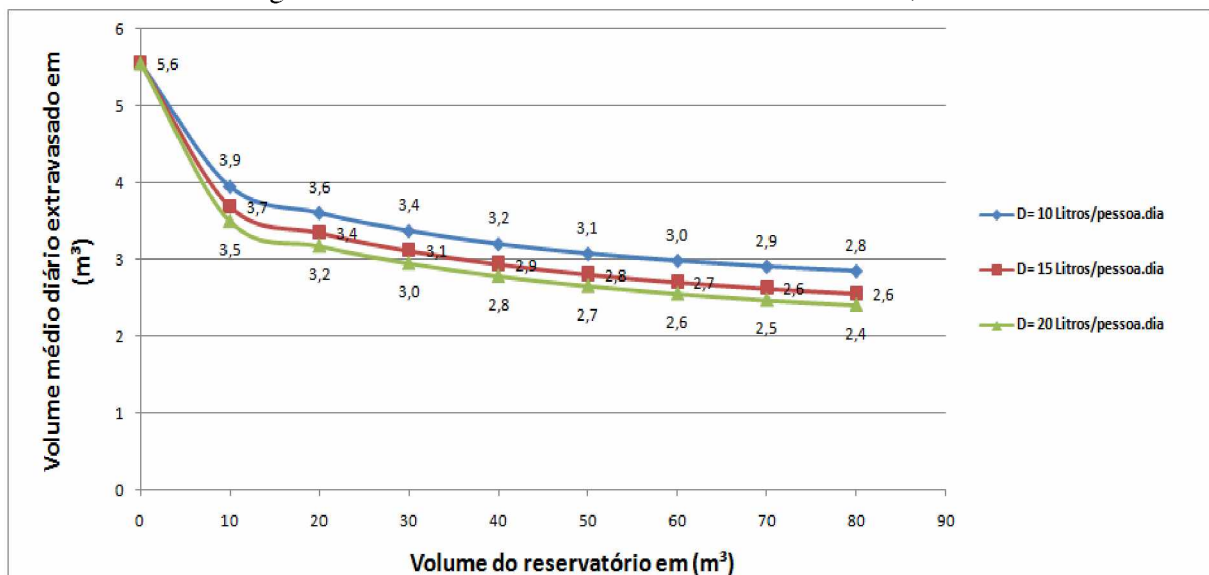


Fonte: O Autor.

Para o Bloco 5S, a porcentagem da demanda total atendida para demanda de 10L é cerca de 36% maior que a demanda de 15 L e cerca de 72% maior que a demanda de 20 L.

O volume extravasado médio diário em m³ pode ser observado de acordo com Figura 32.

Figura 32- Volume médio diário extravasado em m³, 5S.



Fonte: O Autor.



O volume médio diário extravasado de água, para o Bloco 5S, foi de 3,9 m<sup>3</sup> por dia. O volume extravasado para a demanda de 10L é cerca de 9% e de 16% maior que o volume extravasado para as demandas de 15L e 20L respectivamente.

Através da Tabela 22 é possível verificar a economia média em cada mês para cada volume de reservatório simulado.

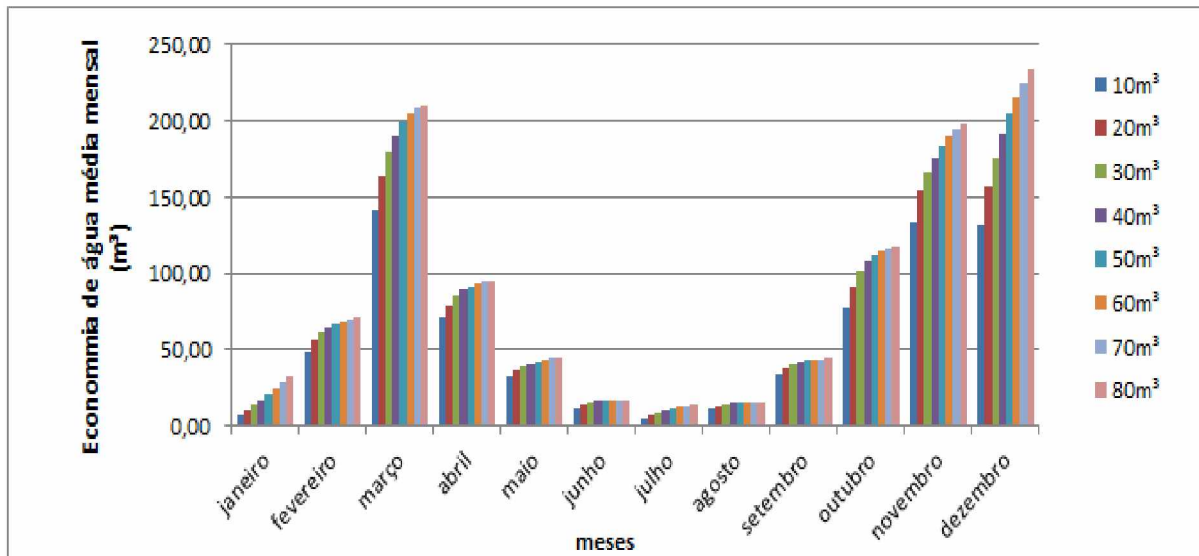
Tabela 22- Economia de água potável (m<sup>3</sup>) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5S.

<b>Vol/mês</b>	<b>10 m<sup>3</sup></b>	<b>20 m<sup>3</sup></b>	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>40 m<sup>3</sup></b>	<b>50 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>70 m<sup>3</sup></b>	<b>80 m<sup>3</sup></b>
janeiro	7,34	10,25	13,28	16,48	20,09	24,03	27,86	31,99
fevereiro	48,89	56,31	61,06	64,43	66,46	68,28	69,83	70,96
março	141,48	163,93	179,95	190,84	199,11	204,69	208,42	210,83
abril	70,55	79,55	85,24	88,94	91,29	93,34	94,47	95,05
maio	32,41	36,54	38,97	40,60	41,83	43,04	44,25	44,86
junho	11,35	13,53	15,06	15,96	16,41	16,71	17,01	17,01
julho	4,17	6,72	8,56	10,07	11,11	12,02	12,93	13,41
agosto	11,54	13,09	14,30	14,91	15,42	15,64	15,64	15,64
setembro	34,32	38,11	40,14	41,43	42,50	43,25	43,65	43,95
outubro	78,07	91,12	100,89	107,92	111,84	114,21	115,96	117,40
novembro	133,94	154,08	166,39	175,77	183,67	189,90	194,76	198,73
dezembro	131,35	156,59	175,87	191,86	204,35	215,33	225,17	233,67
<b>total (m<sup>3</sup>) por ano</b>	<b>705,41</b>	<b>819,84</b>	<b>899,70</b>	<b>959,20</b>	<b>1004,08</b>	<b>1040,45</b>	<b>1069,95</b>	<b>1093,50</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da Tabela 22 foi executado o gráfico da Figura 33 com a economia média mensal de acordo com o volume do reservatório de armazenamento

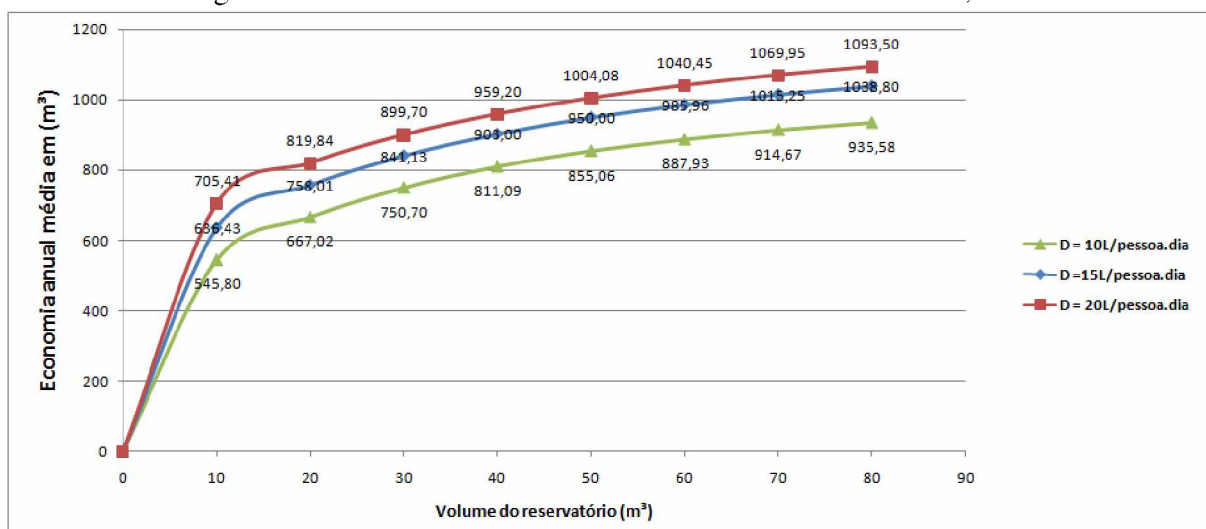
Figura 33- Economia de água potável durante os meses em relação ao reservatório adotado, 5S.



Maiores economias foram obtidas nos meses de março, novembro e dezembro com volumes de economia médios mensais de 210,83; 198,73 e 233,67 m³, respectivamente para o reservatório de 80 m³.

A Figura 34 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros:

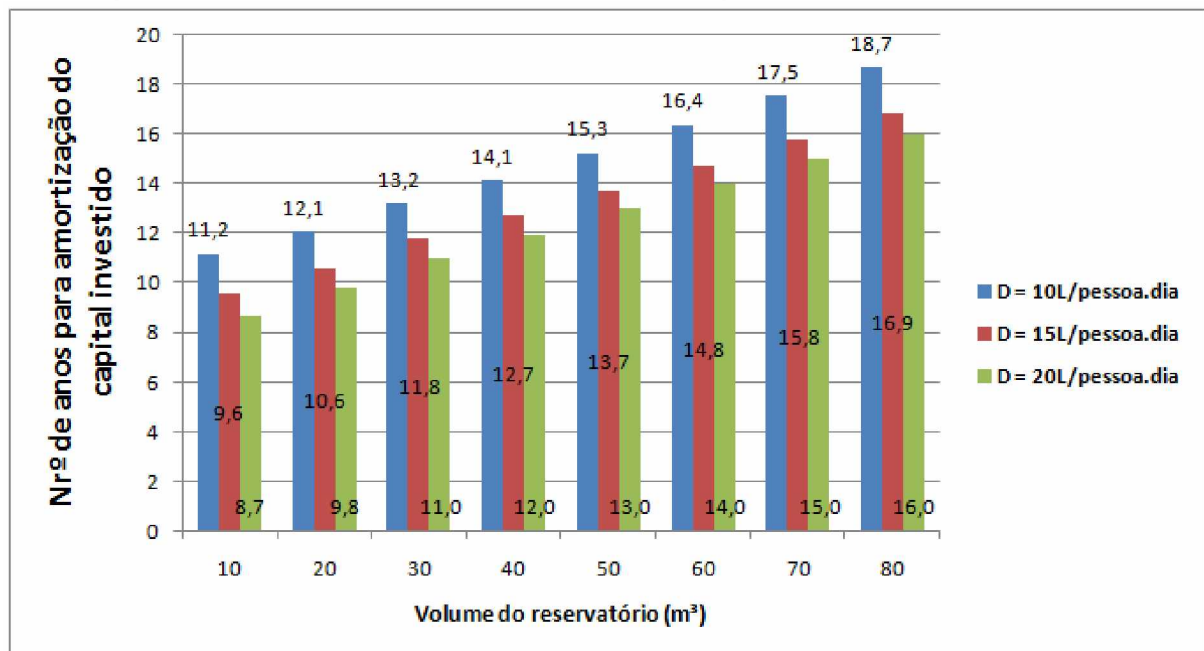
Figura 34- Economia média anual de acordo com a demanda, 5S.



A economia média anual de água potável para a demanda de 20 L foi em média, 07% e 20% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 71%, 63% e 55% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

A Figura 35 representa a quantidade de anos necessários para o retorno do capital investido para os diferentes volumes de reservatórios de armazenamento e para as diferentes demandas:

Figura 35- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5S.



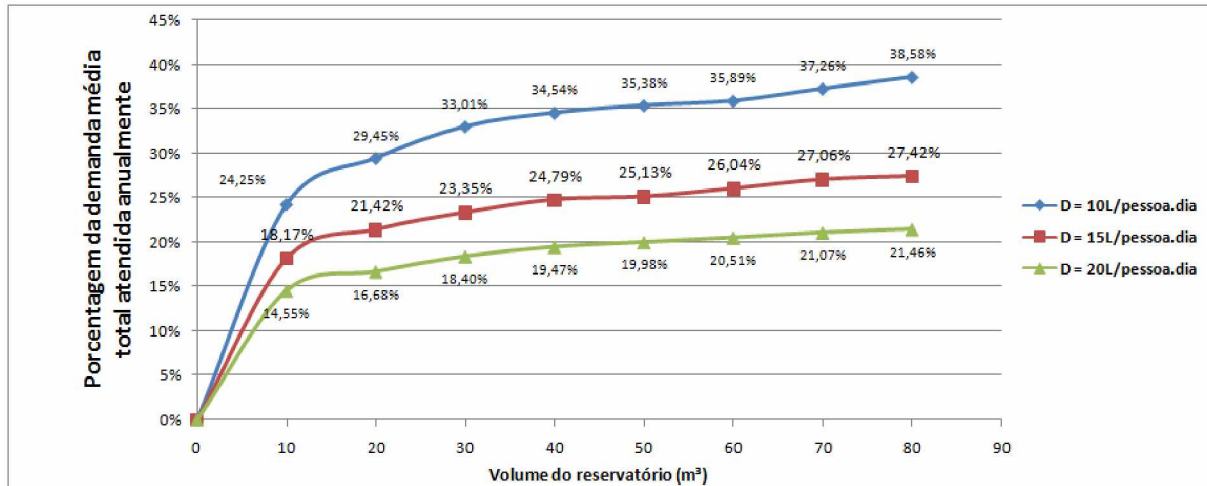
Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 5S, variou de 7,4 a 20 anos, levando-se em consideração a demanda de 20L, o reservatório de 80m<sup>3</sup> teve um período de retorno do capital investido de 12,6 anos maior que do reservatório de 10m<sup>3</sup>, e sua economia anual é cerca de 55% maior.

Bloco 5R-A possui uma população média diária de 968 alunos durante a semana e 45 servidores possui uma área de 1070 m<sup>2</sup>.

A Figura 36 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume de reservatório.

Figura 36- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o reservatório adotado, 5R-A.

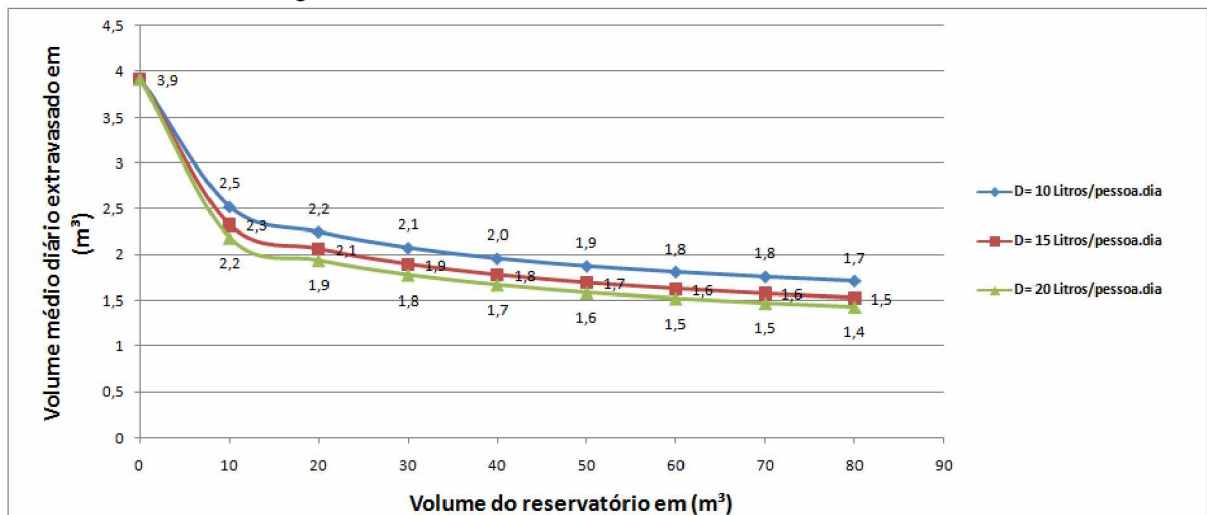


Fonte: O Autor.

Para o Bloco 5R-A, a porcentagem da demanda total atendida para demanda de 10L é cerca de 39% maior que a da demanda 15 Litros e cerca de 76% maior a da demanda de 20 Litros.

O volume extravasado médio diário em m³ pode ser observado de acordo com Figura 37.

Figura 37- Volume diário extravasado em m³, 5R-A.



Fonte: O Autor.

O volume extravasado médio diário, para o Bloco 5R-A, foi de 3,9 m³, que vai reduzindo gradualmente com o aumento do volume do reservatório e aumento da demanda, o volume extravasado para a demanda de 10L é cerca de 11% maior que o da demanda de 15L e cerca de 18% maior que o da demanda de 20L, para os reservatórios estudados.

Através da Tabela 23, é possível verificar a economia média em cada mês para cada volume de reservatório simulado.

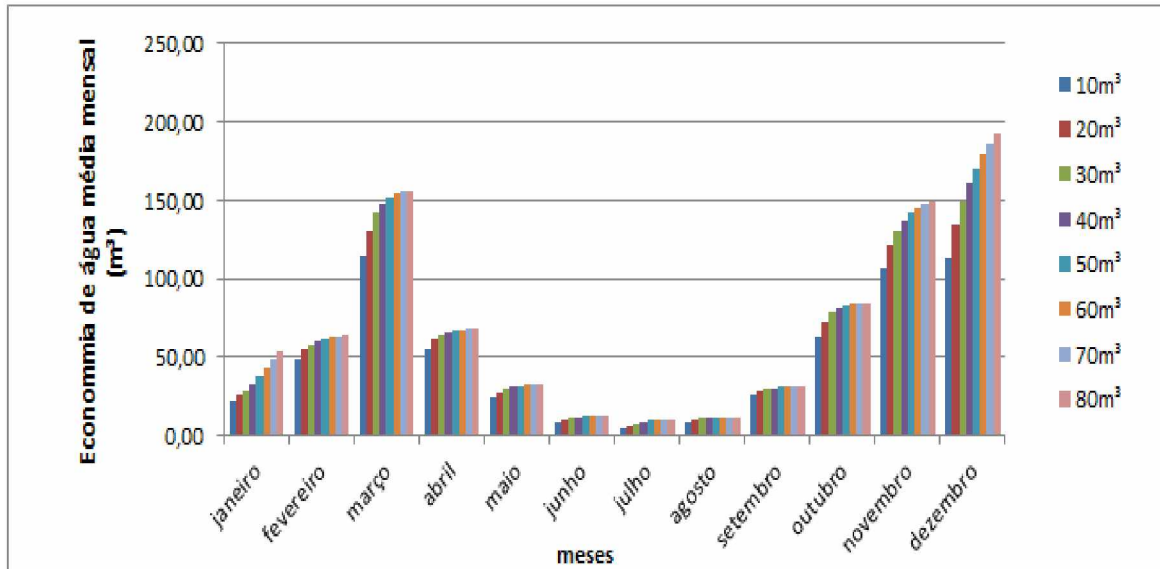
Tabela 23- Economia de água potável (m<sup>3</sup>) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 5R-A.

<b>Vol/mês</b>	<b>10 m<sup>3</sup></b>	<b>20 m<sup>3</sup></b>	<b>30 m<sup>3</sup></b>	<b>40 m<sup>3</sup></b>	<b>50 m<sup>3</sup></b>	<b>60 m<sup>3</sup></b>	<b>70 m<sup>3</sup></b>	<b>80 m<sup>3</sup></b>
janeiro	22,08	25,67	29,13	32,96	37,92	43,02	47,80	53,32
fevereiro	49,04	54,73	58,07	60,00	61,64	62,56	63,47	64,36
março	114,36	131,03	142,01	148,31	152,23	154,20	155,20	155,81
abril	55,25	61,32	64,35	66,13	67,06	67,40	67,70	67,75
maio	25,19	27,77	29,38	30,59	31,64	32,24	32,65	32,95
junho	9,01	10,59	11,35	11,71	11,99	11,99	11,99	11,99
julho	4,68	6,54	7,60	8,51	9,39	9,72	9,97	9,97
agosto	8,76	10,31	10,75	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03
setembro	25,54	28,20	29,46	30,35	30,80	31,10	31,40	31,69
outubro	62,64	72,87	78,27	80,95	82,47	83,63	84,13	84,43
novembro	106,59	121,51	130,96	137,39	142,06	145,45	147,42	148,66
dezembro	113,64	134,43	149,78	161,61	170,68	179,47	186,88	192,61
<b>total (m<sup>3</sup>) por ano</b>	<b>596,78</b>	<b>684,96</b>	<b>741,10</b>	<b>779,53</b>	<b>808,91</b>	<b>831,82</b>	<b>849,65</b>	<b>864,57</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 38 exemplifica o gráfico economia de água potável em relação aos meses e ao volume adotado do reservatório inferior.

Figura 38- Gráfico economia de água potável durante os meses em função do volume do reservatório adotado, 5R-A.

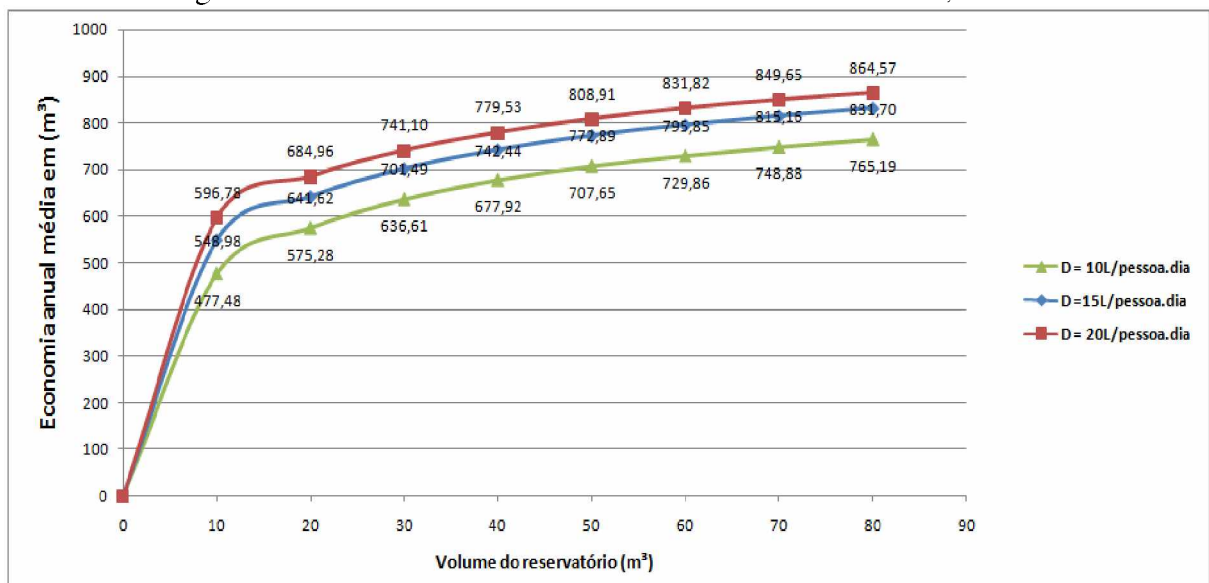


Fonte: O Autor.

As maiores economias foram obtidas nos meses de março, novembro e dezembro com volumes de economia médios mensais de 155,81; 148,66 e 192,61 m³, respectivamente para o reservatório de 80 m³.

A Figura 39 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

Figura 39- Economia média anual de acordo com a demanda, 5R-A.

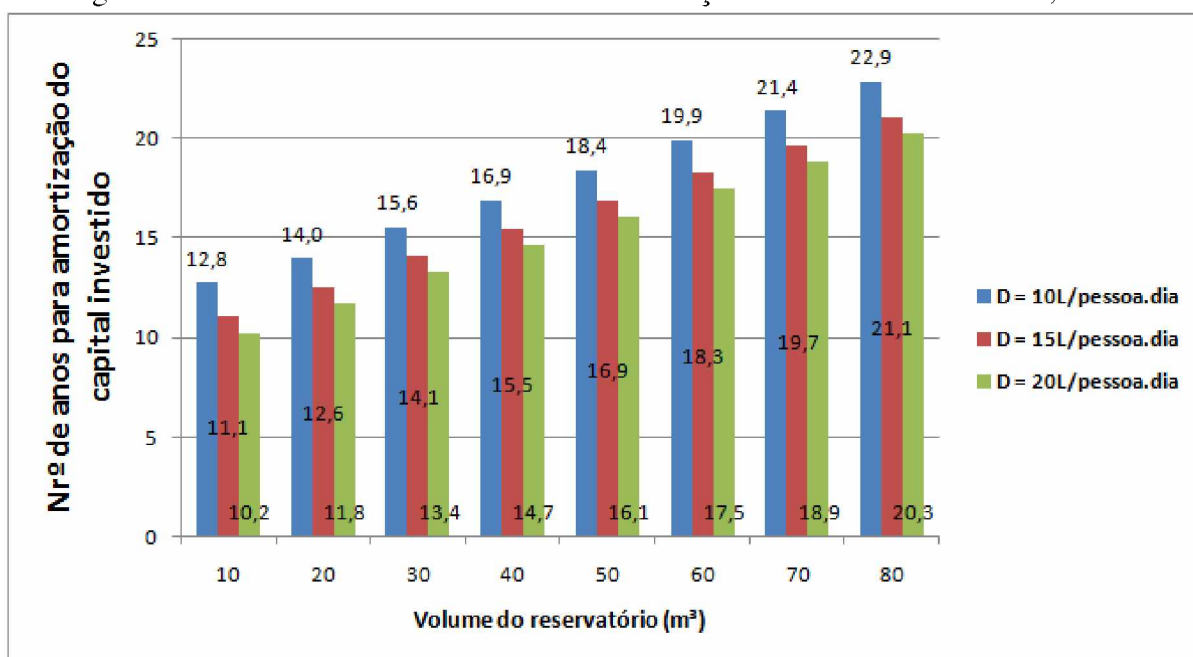


Fonte: O Autor.

A economia média anual de água potável para a demanda de 20 L foi em média, 05% e 16% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 60%, 52% e 45% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

A Figura 40 representa a quantidade de anos necessários para o retorno do capital investido para os diferentes volumes de reservatórios de armazenamento e para as diferentes demandas.

Figura 40- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 5R-A.



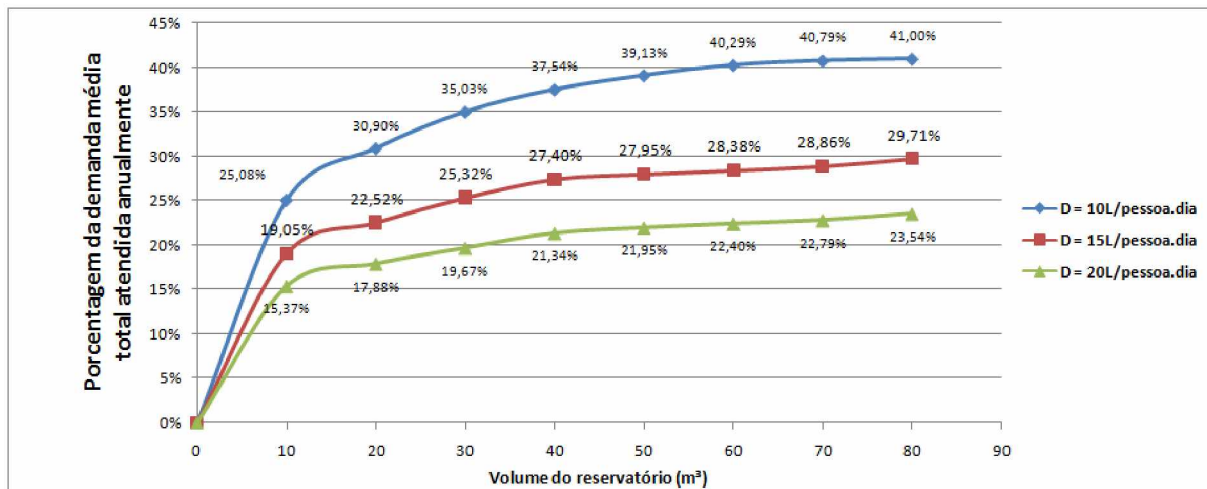
Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 5S variou de 10,2 a 22,9 anos. Levando-se em consideração os resultados da demanda de 20L, o reservatório de 80m<sup>3</sup> produziu um período de retorno 10,1 anos maior e uma economia anual 45% maior que a do reservatório de 10m<sup>3</sup>.

Bloco 3D, possui uma população média diária de 993 alunos durante a semana e 8 servidores possui uma área de 1295 m<sup>2</sup>.

A Figura 41 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume de reservatório.

Figura 41- Porcentagem de economia de água potável em função do volume do reservatório adotado, 3D.

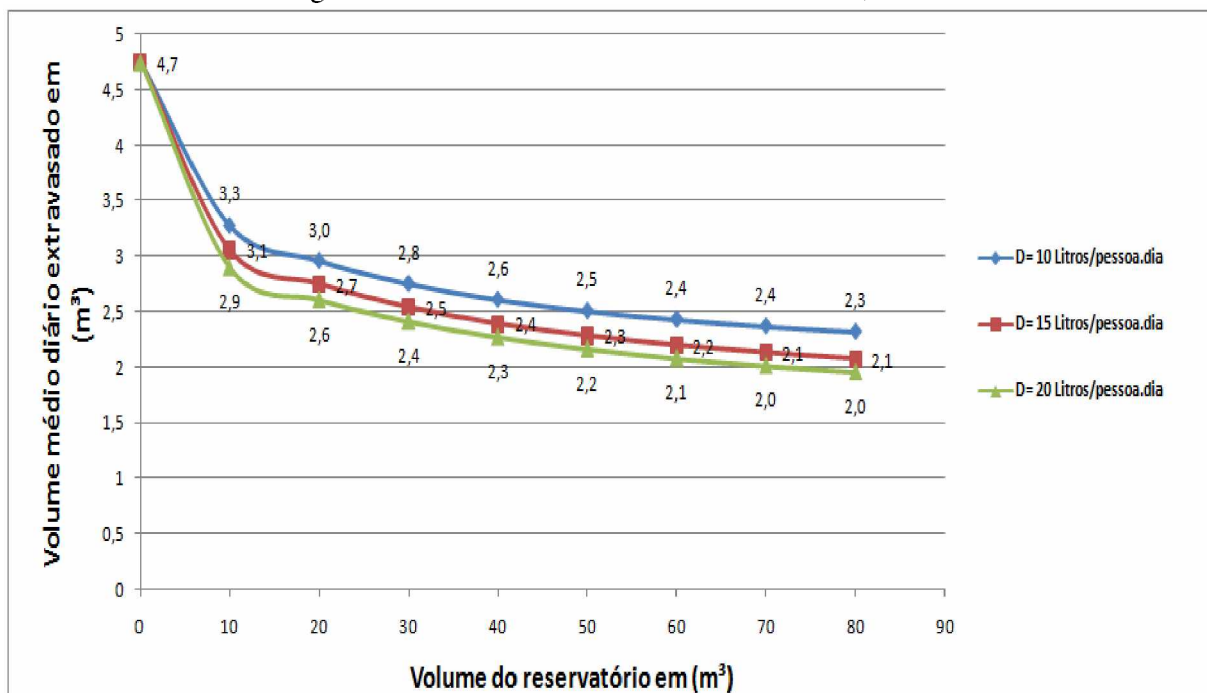


Fonte: O Autor.

Para o Bloco 3D, a porcentagem da demanda total atendida para demanda de 10L é cerca de 38% maior que para a demanda 15 L e cerca de 75% maior que a da demanda de 20 L.

O volume extravasado médio diário em m³ pode ser observado de acordo com Figura 42.

Figura 42- Volume diário extravasado em m³, 3D.



Fonte: O Autor.



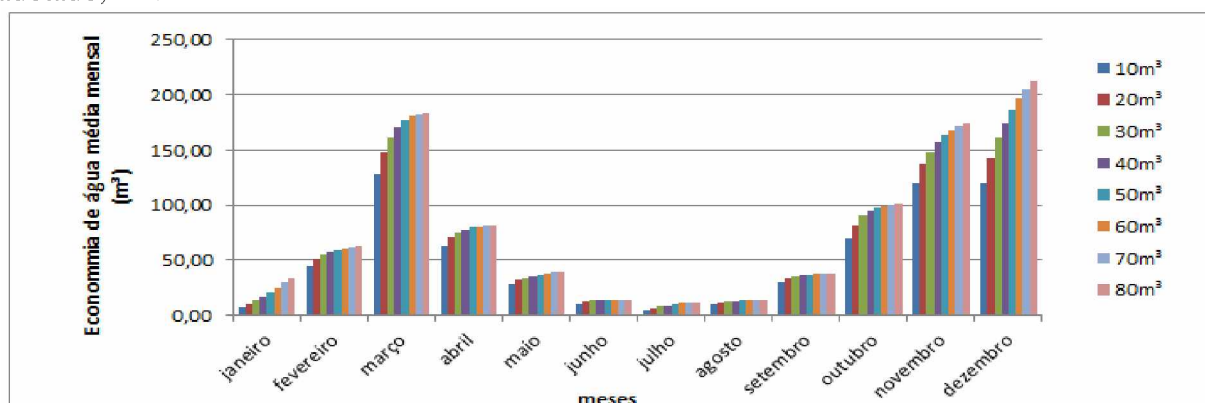
O volume extravasado médio diário, para o Bloco 3D, foi de 4,7 m<sup>3</sup>. O volume extravasado pelo telhado para a demanda de 10L é cerca de 9% maior do que o volume extravasado para a demanda de 15L e 16% maior que o volume extravasado para a demanda de 20L. Através da Tabela 24 é possível verificar a economia média em cada mês para cada volume de reservatório simulado.

Tabela 24- Economia de água potável (m<sup>3</sup>) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado

Vol/mês	10 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	70 m <sup>3</sup>	80 m <sup>3</sup>
janeiro	7,10	10,13	13,28	16,73	20,59	25,01	29,46	34,01
fevereiro	44,21	50,75	54,79	57,26	59,10	60,85	61,90	62,80
março	127,72	147,81	161,19	170,38	176,47	180,40	182,69	184,17
abril	62,73	70,67	75,16	77,85	79,78	80,84	81,32	81,62
maio	28,84	32,30	34,21	35,58	36,79	37,95	38,56	39,16
junho	10,15	12,08	13,36	13,92	14,22	14,52	14,52	14,52
julho	4,03	6,32	7,98	9,23	10,14	11,05	11,49	11,80
agosto	10,10	11,59	12,55	13,06	13,36	13,36	13,36	13,36
setembro	29,93	33,19	34,87	36,01	36,84	37,27	37,58	37,88
outubro	70,14	81,87	90,52	95,12	97,62	99,27	100,62	101,52
novembro	119,94	137,75	148,49	156,97	163,51	168,18	172,03	174,90
dezembro	119,66	143,05	160,54	174,65	186,41	196,44	204,72	212,42
<b>total (m<sup>3</sup>) por ano</b>	<b>634,55</b>	<b>737,51</b>	<b>806,95</b>	<b>856,77</b>	<b>894,83</b>	<b>925,13</b>	<b>948,25</b>	<b>968,16</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 43- Economia de água potável durante os meses do ano em função do reservatório adotado, 3D.

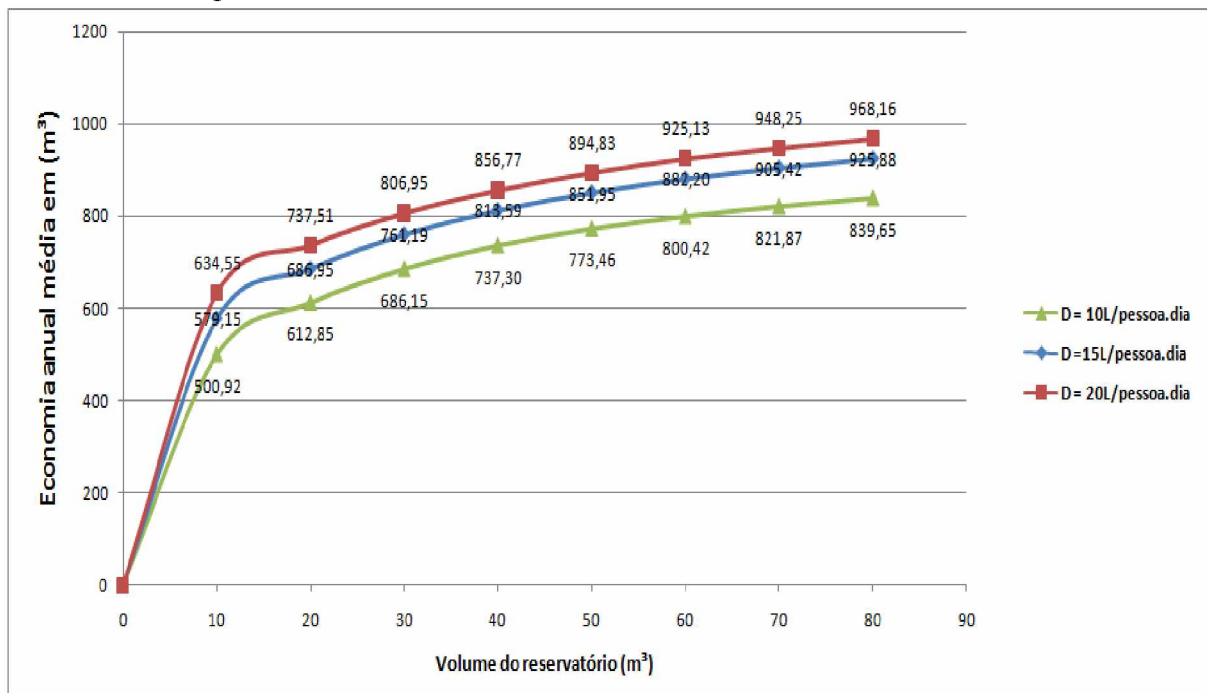


Fonte: O Autor.

As maiores economias foram obtidas nos meses de março, novembro e dezembro com volumes de economia médias mensais de 184,17; 174,90 e 212,42 m<sup>3</sup>, respectivamente para o reservatório de 80 m<sup>3</sup>.

A Figura 44 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

Figura 44- Economia média anual de acordo com a demanda, 3D.

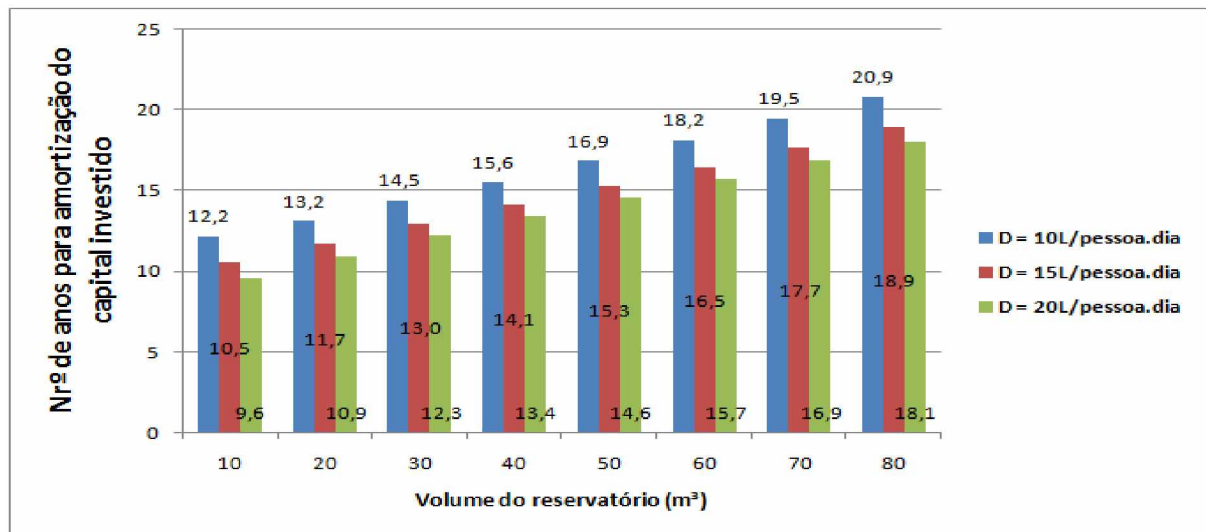


Fonte: O Autor

A economia média anual de água potável para a demanda de 20 L foi em média, 06% e 18% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 68%, 60% e 52% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

A Figura 45 exemplifica o período de retorno em anos para construção do reservatório inferior.

Figura 45- Período de retorno em anos da construção do reservatório de acordo com seu volume.

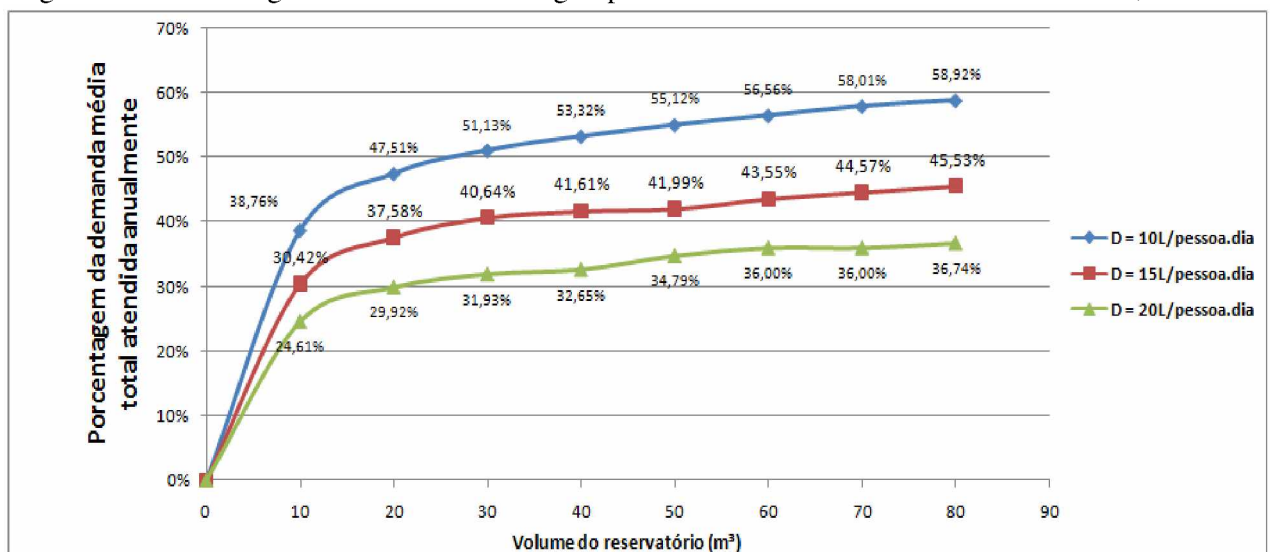


Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 3D, variou de 9,6 a 20,9 anos. Levando-se em consideração os resultados da demanda de 20L, o reservatório de 80m³ produziu um período de retorno 8,5 anos maior e uma economia anual 52% maior que a do reservatório de 10m³.

Bloco 1C possui uma população média diária de 348 alunos durante a semana e uma área de 698 m². A Figura 46 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume de reservatório.

Figura 46- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o volume adotado, 1C.

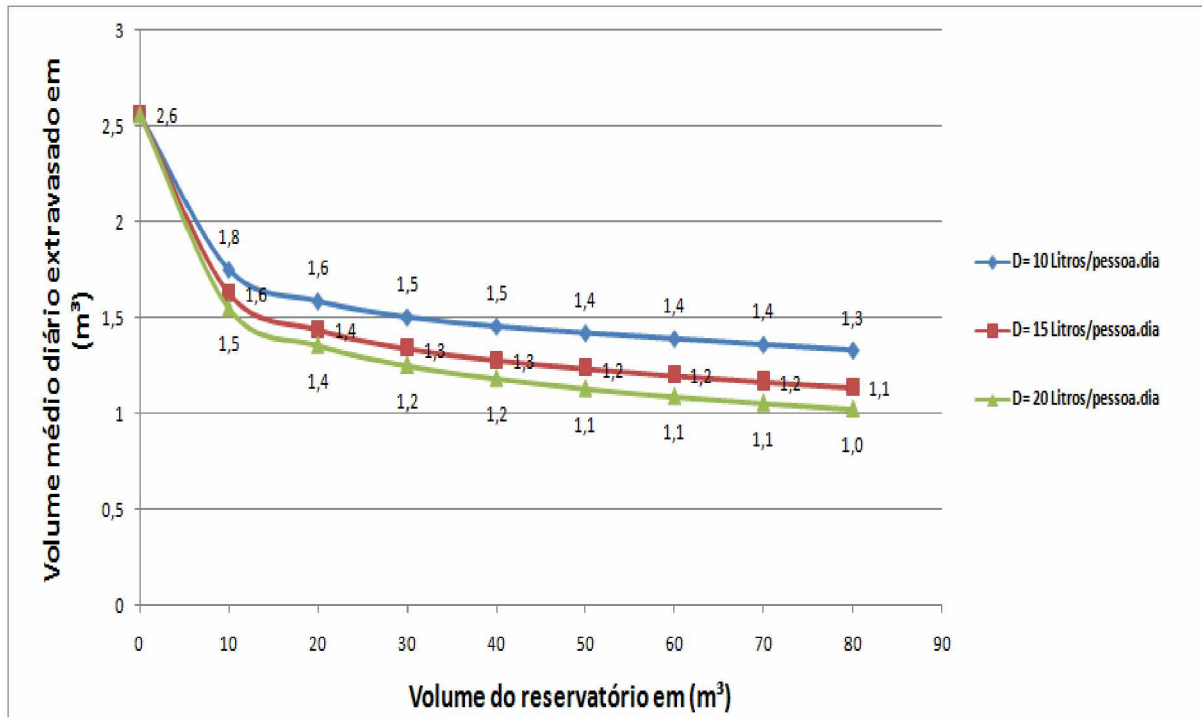


Fonte: O Autor.

A porcentagem da demanda atendida anualmente para a demanda de 10L foi, cerca de 29% maior que a porcentagem atendida pela demanda de 15L e 60% maior que a demanda de 20L.

O volume extravasado médio diário em  $m^3$  pode ser observado de acordo com Figura 47.

Figura 47- Volume diário médio extravasado em  $m^3$ , 1C.



Fonte: O Autor.

O volume extravasado médio diário, para o Bloco 1C, foi de 2,6  $m^3$  de água pluvial diariamente, o volume extravasado para os reservatório com uma demanda de 10L foi em média 14% maior que para demanda de 15L e 23% maior que para a demanda de 20L.

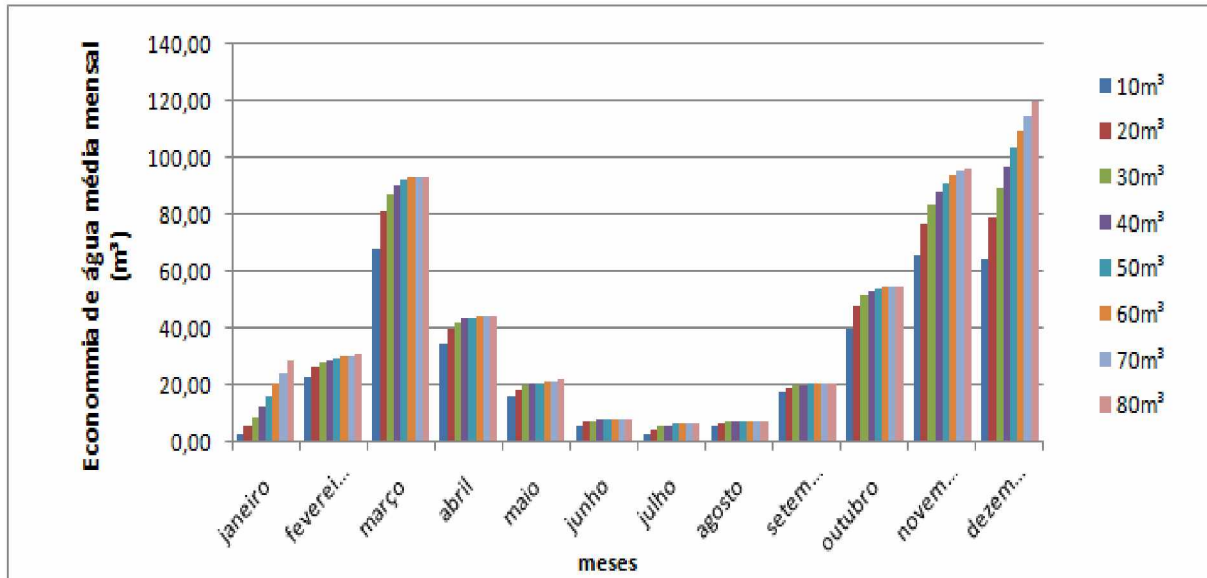
Através da Tabela 25 é possível verificar a economia média em cada mês para cada volume de reservatório simulado.

Tabela 25- Economia de água potável (m³) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 1C:

<b>Vol/mês</b>	<b>10 m³</b>	<b>20 m³</b>	<b>30 m³</b>	<b>40 m³</b>	<b>50 m³</b>	<b>60 m³</b>	<b>70 m³</b>	<b>80 m³</b>
janeiro	7,10	10,13	13,28	16,73	20,59	25,01	29,46	34,01
fevereiro	44,21	50,75	54,79	57,26	59,10	60,85	61,90	62,80
março	127,72	147,81	161,19	170,38	176,47	180,40	182,69	184,17
abril	62,73	70,67	75,16	77,85	79,78	80,84	81,32	81,62
maio	28,84	32,30	34,21	35,58	36,79	37,95	38,56	39,16
junho	10,15	12,08	13,36	13,92	14,22	14,52	14,52	14,52
julho	4,03	6,32	7,98	9,23	10,14	11,05	11,49	11,80
agosto	10,10	11,59	12,55	13,06	13,36	13,36	13,36	13,36
setembro	29,93	33,19	34,87	36,01	36,84	37,27	37,58	37,88
outubro	70,14	81,87	90,52	95,12	97,62	99,27	100,62	101,52
novembro	119,94	137,75	148,49	156,97	163,51	168,18	172,03	174,90
dezembro	119,66	143,05	160,54	174,65	186,41	196,44	204,72	212,42
<b>total (m³)</b>								
<b>por ano</b>								
	<b>347,15</b>	<b>415,30</b>	<b>452,82</b>	<b>476,69</b>	<b>495,37</b>	<b>510,11</b>	<b>522,26</b>	<b>533,43</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 48- Gráfico economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume adotado do reservatório, 1C:

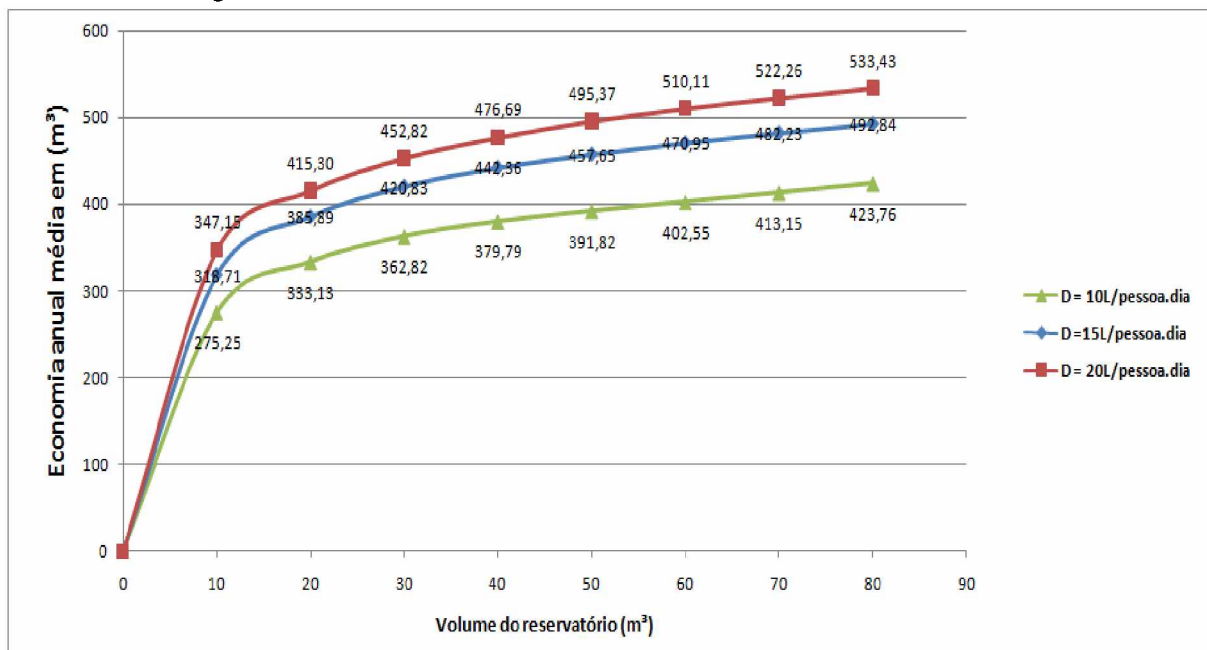


Fonte: O Autor.

Os Reservatórios se mostraram mais eficientes nos meses de novembro e dezembro com uma economia de 204,72m³ e 212,42m³ respectivamente para o reservatório de 80m³.

A Figura 49 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

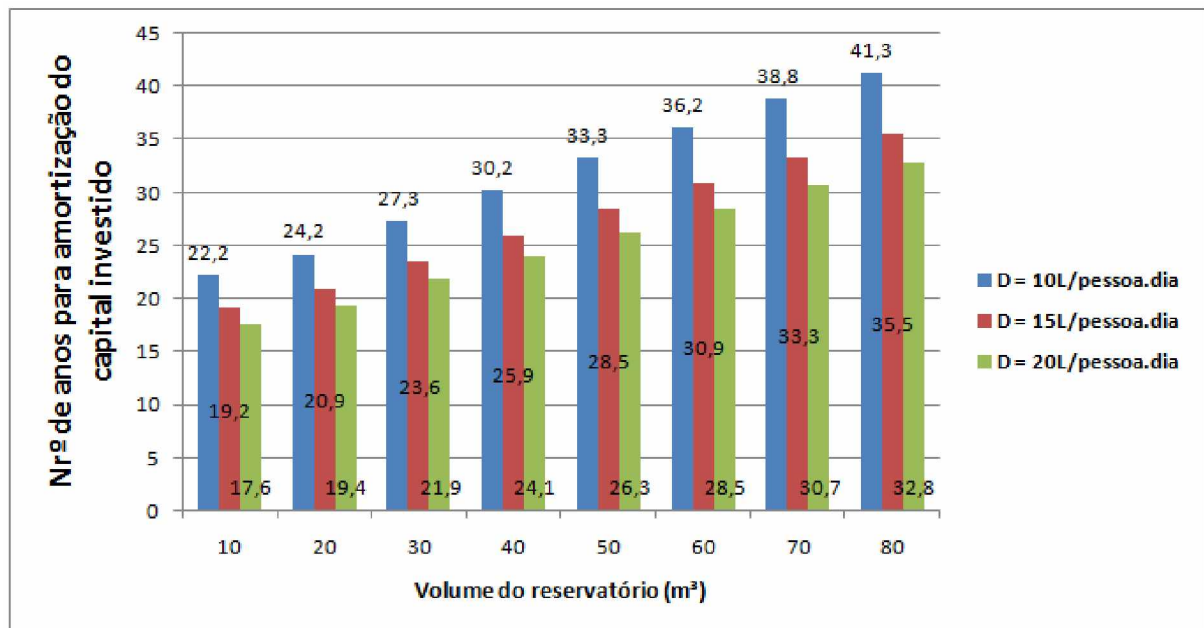
Figura 49- Economia média anual de acordo com a demanda, 1C.



Fonte: O Autor

A economia média anual de água potável para a demanda de 20 L foi em média, 08% e 26% maior que as das demandas de 15L e 10L respectivamente. Os reservatórios de 80m<sup>3</sup> produziram uma economia superior aos de 10m<sup>3</sup> em: 54%, 55% e 54% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L. A Figura 50 compara o período de retorno dos diferentes volumes de reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros.

Figura 50- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 1C.



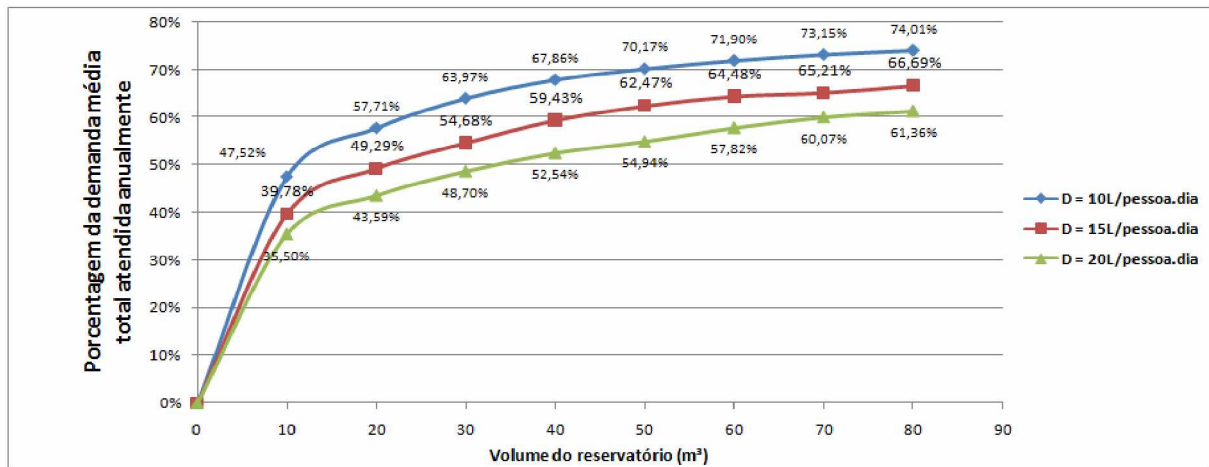
Fonte: O Autor.

O Bloco 1C registrou o maior período de retorno devido a seu baixo número de alunos e o tamanho de sua área de cobertura. O período de retorno variou de 17,6 a 41,3 anos.

Bloco 3P, reitoria universitária possui uma população de 446 técnicos administrativos e uma área de 3067 m².

A Figura 51 mostra a porcentagem de economia de acordo com o volume de reservatório. Os valores das demandas foram mantidas em 10, 15 e 20 L/pessoa.dia na análise deste bloco.

Figura 51- Porcentagem de economia de água potável de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P.



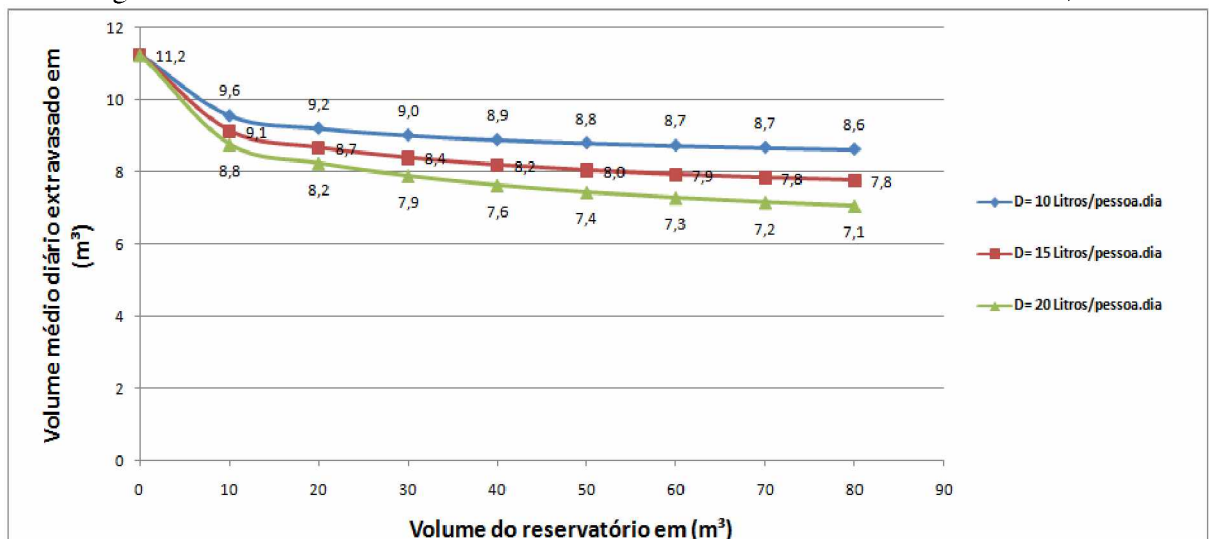
Fonte: O Autor.

O Bloco 3P (Reitoria), dentre os blocos estudados, foi o que teve maior porcentagem da demanda total atendida anualmente, tal fato se deve pelo fato de sua população não ser tão grande e também por sua população ser mais constante durante o ano não sendo tão afetada pelos períodos de férias letivas.

A porcentagem da demanda total média atendida anualmente para a demanda de 10 Litros foi em média 14% maior que a demanda de 15L e de 28% maior que a de demanda de 20L.

O volume extravasado médio diário em m³ pode ser observado de acordo com Figura 52.

Figura 52- Volume diário extravasado de acordo com o reservatório adotado, 3P.



Fonte: O Autor.



O volume médio extravasado diário para a demanda de 10 L foi cerca de 09%, maior que a demanda de 15L e 17% maior que a demanda de 20L.

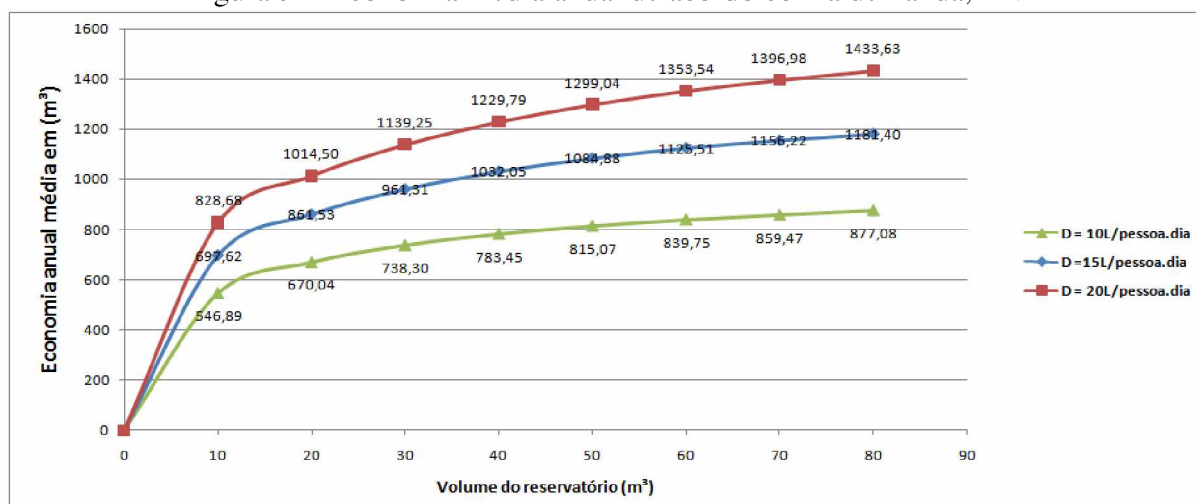
Tabela 26- Economia de água potável (m<sup>3</sup>) por mês de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P:

Vol/mês	10 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	40 m <sup>3</sup>	50 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	70 m <sup>3</sup>	80 m <sup>3</sup>
janeiro	131,82	151,39	163,38	171,80	178,12	182,43	184,66	186,45
fevereiro	105,45	127,61	141,70	150,66	158,11	164,59	170,11	174,08
março	112,01	135,12	149,37	159,81	167,70	173,81	178,80	182,60
abril	60,81	77,59	89,80	98,28	104,28	109,40	113,23	116,29
maio	32,27	42,21	48,97	54,57	59,83	64,22	67,85	71,16
junho	11,83	16,02	19,26	21,99	24,28	25,94	27,31	28,53
julho	9,66	13,60	15,95	17,46	18,77	19,99	21,20	22,20
agosto	13,75	17,59	20,08	21,92	23,47	24,71	25,92	27,14
setembro	39,03	49,94	58,36	65,14	70,62	74,17	76,72	79,14
outubro	71,66	92,71	107,72	119,82	129,55	138,14	145,51	151,77
novembro	110,17	134,39	151,94	165,37	175,06	183,16	189,95	195,82
dezembro	130,23	156,33	172,73	182,96	189,24	192,98	195,71	198,45
<b>total (m<sup>3</sup>) ano</b>	<b>828,68</b>	<b>1014,50</b>	<b>1139,25</b>	<b>1229,79</b>	<b>1299,04</b>	<b>1353,54</b>	<b>1396,98</b>	<b>1433,63</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 53 compara a economia de água anual dos reservatórios para as demandas de 10, 15 e 20 litros:

Figura 53- Economia média anual de acordo com a demanda, 3P.

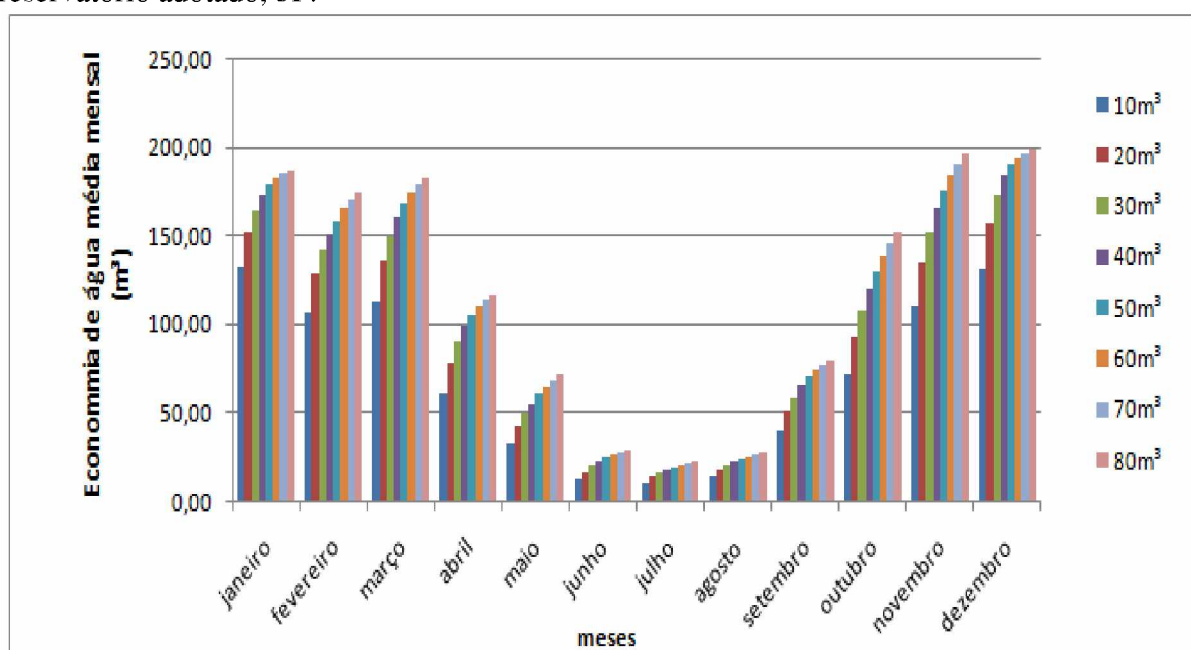


Fonte: O Autor.

A economia média anual de água potável para a demanda de 20L foi em média cerca de 20% maior que a economia da 15L e cerca de 58% maior em comparação com a demanda de 10L.

Na comparação entre as economias dos maiores reservatórios de 80m<sup>3</sup>, com os menores de 10m<sup>3</sup>, obteve-se uma economia de 76%, 69% e 73%, respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

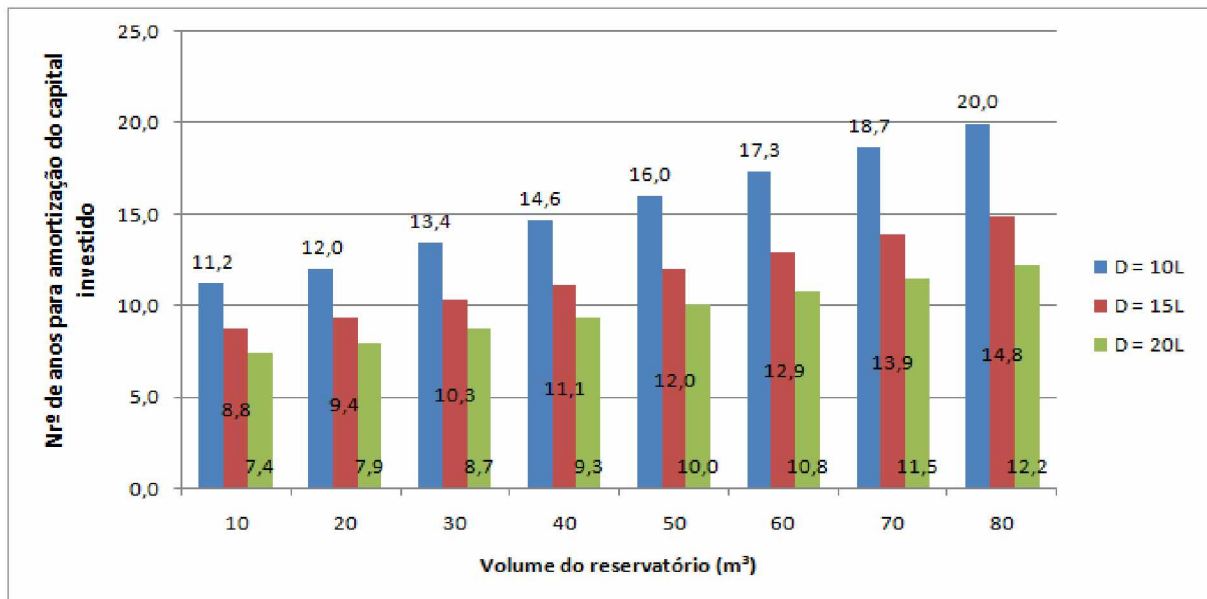
Figura 54- Economia de água potável durante os meses do ano de acordo com o volume do reservatório adotado, 3P.



Fonte: O Autor.

No Bloco 3P (reitoria) verificou-se uma distribuição mais uniforme contemplando economia alta também nos meses de janeiro e fevereiro, tal fato se deve pelo fato de ser um bloco formado essencialmente por técnicos administrativos, portanto as férias letivas não afetam tanto a economia nestes meses.

Figura 55- Período de retorno em anos da construção do reservatório inferior, 3P.



Fonte: O Autor.

O período de retorno do capital investido, para o Bloco 3P variou de 7,4 a 20 anos. Levando-se em consideração os resultados da demanda de 20L, o reservatório de 80m³ produziu um período de retorno 4,8 anos maior e uma economia anual 73% maior que a do reservatório de 10m³.

#### 4.4-APLICAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA OBTENÇÃO DE FÓRMULA PARA ESTIMATIVA DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL ANUAL

##### 4.4.1 UBERLÂNDIA

Com base no estudo da estimativa de economia de água potável no campus Santa Mônica, buscou-se relacionar a economia com todas as variáveis relevantes utilizadas no balanço

hídrico diário, como o coeficiente *runoff*, a área dos telhados em projeção, o número de discentes da edificação, a demanda de água para fins não potáveis em litros e o volume do reservatório de armazenamento.

Nos outros campi pesquisaram-se os dados pluviométricos locais dessas cidades, e também se buscou alcançar equações que relacionassem a economia de água potável com as mesmas variáveis descritas anteriormente. Os campi de Ituiutaba, Monte Carmelo e Patos de Minas estão ainda em processo de expansão, por isso algumas variáveis como, por exemplo, a área dos telhados foi estimada variando-se dentro de uma determinada faixa de valores, porém, ressalta-se que os blocos construídos na UFU seguem uma padronização, ou seja, os projetos arquitetônicos são similares, assim, a estimativa de valores foi realizada dentro do que se espera para o futuro nesses campi.

Como descrito anteriormente, foi aplicada a regressão linear múltipla para verificar quais variáveis teriam relação com a economia de água potável. A Tabela 27 mostra os resultados dos coeficientes de determinação encontrados com os dados para a cidade de Uberlândia-MG, considerando o estudo realizado no campus Santa Mônica.

Tabela 27- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Uberlândia .

<b>R múltiplo</b>	0,91218
<b>R-Quadrado</b>	0,832073
<b>R-quadrado ajustado</b>	0,831934
<b>Erro padrão</b>	191,0929
<b>Observações</b>	6048

Fonte: O Autor

As Tabelas 28 e 29 mostram os dados estatísticos da regressão e os coeficientes que representam a relação entre a economia de água potável e as variáveis escolhidas. Observa-se que todas as variáveis apresentam valor-P inferior a 5%, o que corrobora a relação entre os parâmetros escolhidos.

Tabela 28- Dados estatísticos da regressão Uberlândia

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
<b>Regressão</b>	5	1,09E+09	2,19E+08	5987,593	0
<b>Resíduo</b>	6042	2,21E+08	36516,51		
<b>Total</b>	6047	1,31E+09			

Fonte: O Autor

Tabela 29- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Uberlândia.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
<b>Interseção</b>	-1004,3	52,59339	-19,0956	5,61E-79	-1107,4	-901,198
<b>C</b>	578,0406	60,18862	9,603819	1,1E-21	460,0494	696,0318
<b>área</b>	0,385316	0,002579	149,4043	0	0,380261	0,390372
<b>população</b>	0,165786	0,002373	69,87254	0	0,161134	0,170437
<b>demanda</b>	14,34305	0,601886	23,83017	4,9E-120	13,16314	15,52296
<b>volume</b>	4,883911	0,107241	45,54164	0	4,673681	5,094141

Fonte: O Autor

Enfim, a equação (4.1) apresenta a economia anual de água potável em função de cinco variáveis, para os campi da cidade de Uberlândia-MG, considerando telhados de fibrocimento, metálicos ou com coeficiente variando de 0,8 a 0,9.

$$E = -1004,30 + 578,04C + 0,39A + 0,17POP + 14,34D + 4,88VOL \quad (4.1)$$

Em que:

E é a economia anual de água potável em m<sup>3</sup>; C é o coeficiente *runoff*; A é a área em m<sup>2</sup>, POP é o número de alunos da edificação; D é demanda de água para fins não potáveis em litros e VOL é o volume do reservatório de armazenamento em m<sup>3</sup>.

A regressão linear múltipla aplicada para os campi da cidade de Uberlândia-MG mostrou uma correlação linear,  $R^2 = 0,83$ , entre a variável dependente: economia anual de água potável e as variáveis independentes: área da cobertura dos blocos, população de discentes, demanda por água para fins não potáveis, coeficiente *runoff*, e volume do reservatório de armazenamento.

Aplicando-se a equação (4.1) montou-se uma planilha para o cálculo dos resultados a partir da equação obtida na regressão linear, comparando os resultados da amostra e o resultado calculado, realizou-se a média dos erros entre o valor calculado e o valor da amostra, onde se verificou que a equação não é recomendada para telhados menores que 700 m<sup>2</sup>, para áreas maiores pode ser aplicada como estimativa para previsão da economia média anual de água potável.

A média das diferenças entre os resultados calculados pela fórmula e os dados amostrais estão exemplificados na Tabela 30.

Tabela 30- Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla de acordo com a área do telhado em Uberlândia.

Area da cobertura (m <sup>2</sup> )	Média do erros
200	98%
700	28%
1200	17%
1700	14%
2300	17%
2600	20%
3000	25%

Fonte: O Autor.

#### 4.4.2 ITUIUTABA

A Tabela 31 mostra os resultados dos coeficientes de determinação encontrados com os dados para a cidade de Ituiutaba-MG.

Tabela 31- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Ituiutaba.

<b>R múltiplo</b>	0,904811
<b>R-Quadrado</b>	0,818682
<b>R-quadrado ajustado</b>	0,818532
<b>Erro padrão</b>	200,7308
<b>Observações</b>	6048

Fonte: O Autor

A regressão linear múltipla aplicada com dados de Ituiutaba-MG mostrou correlação linear de  $R^2 = 0,82$ , entre a variável dependente: economia anual de água potável e as variáveis independentes: área da cobertura dos blocos, população de discentes, demanda por água para fins não potáveis, coeficiente *runoff*, e volume do reservatório de armazenamento.

As Tabelas 32 e 33 mostram os dados estatísticos da regressão e os coeficientes que representam a relação entre a economia de água potável e as variáveis escolhidas. Observa-se que todas as variáveis apresentam valor-P inferior a 5%, o que corrobora a relação entre os parâmetros escolhidos

Tabela 32- Dados estatísticos da regressão Ituiutaba.

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
<b>Regressão</b>	5	1,1E+09	2,2E+08	5456,145	0
<b>Resíduo</b>	6042	2,43E+08	40292,86		
<b>Total</b>	6047	1,34E+09			

Fonte: O Autor

Tabela 33- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Ituiutaba.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
<b>Interseção</b>	-1042,38	55,24596	-18,8679	3,35E-77	-1150,68	-934,075
<b>C</b>	606,2731	63,22426	9,589247	1,26E-21	482,331	730,2152
<b>área</b>	0,388887	0,002709	143,5488	0	0,383576	0,394198
<b>população</b>	0,163812	0,002492	65,72579	0	0,158926	0,168698
<b>demanda</b>	15,00144	0,632243	23,72735	4,6E-119	13,76202	16,24086
<b>volume</b>	4,644172	0,112649	41,22681	0	4,423339	4,865005

Fonte: O Autor

A equação (4.2) apresenta a economia anual de água potável em função de cinco variáveis, para os campi da cidade de Ituiutaba-MG.

$$E = -1042,38 + 606,27C + 0,38A + 0,16POP + 15,00D + 4,64VOL \quad (4.2)$$

Em que:

E é a economia anual de água potável em m<sup>3</sup>; C é o coeficiente *runoff*; A é a área em m<sup>2</sup>, POP é o número de alunos da edificação; D é demanda de água para fins não potáveis em litros e VOL é o volume do reservatório de armazenamento em m<sup>3</sup>.

A média das diferenças entre os resultados calculados pela fórmula e os dados amostrais estão exemplificados na Tabela 34.

Tabela 34 - Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Ituiutaba.

Area da cobertura (m <sup>2</sup> )	Média dos erros
200	105%
700	47%
1200	17%
1700	15%
2300	17%
2600	21%
3000	26%

Fonte: O Autor.

#### 4.4.3 MONTE CARMELO

A Tabela 35 mostra os resultados dos coeficientes de determinação encontrados com os dados para a cidade de Monte Carmelo-MG.

Tabela 35 - Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla Monte Carmelo.

<b>R múltiplo</b>	0,910389
<b>R-Quadrado</b>	0,828808
<b>R-quadrado ajustado</b>	0,828667
<b>Erro padrão</b>	190,3635
<b>Observações</b>	6048

Fonte: O Autor



A regressão linear múltipla aplicada com dados de Monte Carmelo-MG mostrou correlação linear de  $R^2 = 0,83$  entre a variável dependente: economia anual de água potável e as variáveis independentes: área da cobertura dos blocos, população de discentes, demanda por água para fins não potáveis, coeficiente *runoff*, e volume do reservatório de armazenamento.

As Tabelas 36 e 37 mostram os dados estatísticos da regressão e os coeficientes que representam a relação entre a economia de água potável e as variáveis escolhidas. Observa-se que todas as variáveis apresentam valor-P inferior a 5%, o que corrobora a relação entre os parâmetros escolhidos.

Tabela 36- Dados estatísticos da regressão de Monte Carmelo.

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
<b>Regressão</b>	5	1,06E+09	2,12E+08	5850,362	0
<b>Resíduo</b>	6042	2,19E+08	36238,26		
<b>Total</b>	6047	1,28E+09			

Fonte: O Autor

Tabela 37- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Monte Carmelo.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
<b>Interseção</b>	-1161,7	52,39263	-22,173	8,6E-105	-1264,41	-1059
<b>C</b>	723,224	59,95887	12,062	4,02E-33	605,6832	840,7648
<b>área</b>	0,37728	0,002569	146,8488	0	0,372244	0,382317
<b>População</b>	0,164555	0,002364	69,61946	0	0,159921	0,169188
<b>Demanda</b>	16,50667	0,599589	27,53	2,8E-157	15,33127	17,68208
<b>Volume</b>	4,701762	0,106831	44,01113	0	4,492335	4,911189

Fonte: O Autor

A equação (4.3) apresenta a economia anual de água potável em função de cinco variáveis, para os campi da cidade de Ituiutaba-MG.

$$E = -1264,41 + 605,68C + 0,38A + 0,16POP + 16,51D + 4,7VOL \quad (4.3)$$

Em que:

E é a economia anual de água potável em m<sup>3</sup>; C é o coeficiente *runoff*; A é a área em m<sup>2</sup>, POP é o número de alunos da edificação; D é demanda de água para fins não potáveis em litros e VOL é o volume do reservatório de armazenamento em m<sup>3</sup>.

A média das diferenças entre os resultados calculados pela fórmula e os dados amostrais estão exemplificados na Tabela 38.

Tabela 38- Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Monte Carmelo.

Area da cobertura (m <sup>2</sup> )	Média dos erros
200	104%
700	29%
1200	17%
1700	14%
2300	18%
2600	23%
3000	24%

Fonte: O Autor.

#### 4.4.4 PATOS DE MINAS

A Tabela 39 mostra os resultados dos coeficientes de determinação encontrados com os dados para a cidade de Patos de Minas-MG

Tabela 39- Dados estatísticos coeficiente de determinação múltipla para Patos de Minas.

<b>R múltiplo</b>	0,915118
<b>R-Quadrado</b>	0,837442
<b>R-quadrado ajustado</b>	0,837307
<b>Erro padrão</b>	177,5458
<b>Observações</b>	6048

Fonte: O Autor.

A regressão linear múltipla aplicada com dados de Patos de Minas-MG mostrou correlação linear de  $R^2 = 0,84$  entre a variável dependente: economia anual de água potável e as variáveis independentes: área da cobertura dos blocos, população de discentes, demanda por água para fins não potáveis, coeficiente *runoff*, e volume do reservatório de armazenamento.

As Tabelas 40 e 41 mostram os dados estatísticos da regressão e os coeficientes que representam a relação entre a economia de água potável e as variáveis escolhidas. Observa-se que todas as variáveis apresentam valor-P inferior a 5%, o que corrobora a relação entre os parâmetros escolhidos.

Tabela 40- Dados estatísticos Patos de Minas.

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
<b>Regressão</b>	5	9,81E+08	1,96E+08	6225,239	0
<b>Resíduo</b>	6042	1,9E+08	31522,51		
<b>Total</b>	6047	1,17E+09			

Fonte: O Autor

Tabela 41- Dados estatísticos coeficientes da fórmula Patos de Minas.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>
<b>Interseção</b>	-971,893	48,86489	-19,8894	2,57E-85	-1067,69	-876,1
<b>C</b>	542,1748	55,92167	9,695255	4,57E-22	432,5484	651,8013
<b>área</b>	0,363094	0,002396	151,5301	0	0,358397	0,367791
<b>população</b>	0,161646	0,002204	73,32621	0	0,157324	0,165968
<b>demanda</b>	15,10815	0,559217	27,01662	7,3E-152	14,01188	16,20441
<b>volume</b>	4,415875	0,099638	44,3192	0	4,220549	4,611201

Fonte: O Autor

A equação (4.4) apresenta a economia anual de água potável em função de cinco variáveis, para os campi da cidade de Patos de Minas-MG.

$$E = -971,89 + 542,17C + 0,36A + 0,16POP + 15,11D + 4,41VOL \quad (4.4)$$

Na qual:

E é a economia anual de água potável em m<sup>3</sup>; C é o coeficiente *runoff*; A é a área em m<sup>2</sup>, POP é o número de alunos da edificação; D é demanda de água para fins não potáveis em litros e VOL é o volume do reservatório de armazenamento em m<sup>3</sup>.

A média das diferenças entre os resultados calculados pela fórmula e os dados amostrais estão exemplificados na Tabela 42.

Tabela 42 - Média dos erros entre os resultados coletados e os calculados pela fórmula obtida na regressão linear múltipla – Patos de Minas.

Area da cobertura (m <sup>2</sup> )	Média do erros
200	105%
700	47%
1200	17%
1700	15%
2300	17%
2600	21%
3000	26%

Fonte: O Autor.

Observa-se que, em todos os casos analisados, a área de cobertura com 1700m<sup>2</sup> apresenta o menor erro relativo entre os resultados calculados pela fórmula e os resultados obtidos pela amostra por meio do balanço hídrico diário.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a região do triângulo mineiro possui uma distribuição de precipitação bem definida ao longo do ano, com um período de estiagem nos meses que vão de abril a setembro, englobando assim boa parte do ano letivo.

A análise da economia de água potável nos blocos com a instalação de reservatórios de armazenamento mostrou que, os meses de maior economia são os meses de março, novembro e dezembro, pois possuem grande precipitação e grande demanda por água potável para fins não potáveis, já os meses de janeiro e fevereiro apesar de possuírem uma média alta de precipitação mensal, englobam boa parte das férias de fim de ano, acarretando assim pouca economia de água. Seria importante que a água armazenada nesse período fosse usada para outros fins, como lavação de janelas, pisos, evitando assim um alto volume extravasado.

Verificou-se através dos gráficos que o período de retorno do capital investido é inversamente proporcional à demanda por água, pois quanto maior a demanda maior a economia de água potável durante o ano. Quanto maior o volume do reservatório maior a economia de água potável e menor o volume extravasado.

Observou-se que quanto maior a demanda, menor a porcentagem da demanda atendida anualmente devido aos períodos de estiagem, assim o gráfico do atendimento da demanda é maior para a demanda de 10L e menor para a demanda de 20L; porém o período de retorno para demandas maiores se mostrou mais rápido devido ao melhor aproveitamento dos reservatórios nos períodos chuvosos.

O bloco 3Q devido ao tamanho da sua cobertura e por ter a maior população do Campus, se mostrou o bloco que forneceria um menor período de retorno do capital investido, o prazo de amortização variou de 4,1 a 9,3 anos. Verificou-se também que a diferença em anos entre o retorno do capital investido nos reservatórios de 80m<sup>3</sup> e nos de 10m<sup>3</sup> foram de apenas 3,6 anos, e que a porcentagem de economia daqueles foram maior em: 75%, 60% e 51% respectivamente para as demandas de 10L, 15L e 20L.

O Bloco 3P (Reitoria Universitária) foi o bloco que teve a maior porcentagem de demanda total atendida durante o ano, devido ao fato de ter uma população não tão grande e praticamente constante durante o ano.

As fórmulas para a estimativa da economia de água potável nos municípios de Uberlândia, Monte Carmelo, Ituiutaba e Patos de Minas se mostraram estatisticamente viáveis.

Em todos os municípios o  $R^2$  (coeficiente de correlação ajustado) que leva em conta o número de variáveis independentes e o tamanho da amostra foi superior a 0,8, o que exemplifica um ajustamento estatisticamente forte entre os resultados da regressão e os dados amostrais.

Através dos testes estatística F, estatística T e valor-p verificou-se que todas as variáveis independentes possuem influência sobre a variável dependente (economia de água potável), para estes teste foi utilizado um nível de significância de 0,05.

Através da comparação entre os valores amostrais e os valores calculados pela fórmula obtida pela regressão linear múltipla, verificou-se que a fórmula tende a ser mais precisa para os valores de área de cobertura acima de 1200m<sup>2</sup>, com maior precisão para as áreas de 1700m<sup>2</sup>. Para telhados com áreas de cobertura inferiores, a fórmula não se mostrou satisfatória gerando um erro de praticamente 100% na relação entre os valores amostrais e os valores calculados. Como a maioria dos blocos da Universidade possuem área maior que 1000m<sup>2</sup>, a fórmula se mostra viável para estimativa da economia anual de água (m<sup>3</sup>) em função das variáveis independentes: área da cobertura do telhado, coeficiente runoff C, demanda por aluno, população e volume do reservatório de armazenamento.

A Universidade Federal de Uberlândia vem investindo bastante na construção de reservatórios de água pluvial, uma fórmula empírica que estime a economia de água de acordo com os dados dos blocos, é uma boa ferramenta para a tomada de decisão de acordo com os recursos disponíveis e as necessidades da instituição.

Por enquanto, nenhum dos reservatórios de água pluvial da UFU está em funcionamento, todos os valores utilizados para este trabalho foram baseados em valores de referência bibliográfica, utilizando o balanço hídrico diário como ferramenta para o cálculo da economia

anual. Com o funcionamento dos sistemas já implantados poderá se ter uma idéia mais realista das verdadeiras faixas de demandas e traçar as reais médias anuais de economia.

Foi verificado também que, com os preços atuais da água potável não é viável economicamente a construção de reservatório em blocos com pequenas áreas de telhados e com baixa demanda como é o caso do Bloco 5MSM. No caso, o mais vantajoso seria a construção de reservatório em blocos com grandes telhados e grande quantidade de alunos, ou a criação de um sistema que atenda todo o Campus integrando assim a demanda total para melhor aproveitamento nos períodos chuvosos e com grande demanda que são os meses de março, novembro e boa parte de dezembro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações**. Brasília: ANA, 2016.

AGNEW, J. Waterpower: Politics and the Geography of Water Provision. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. May 2014, p. 463–476, 2011.

ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1 ed. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2007. 12 p.

BEZERRA, S. M. D. C.; CHRISTAN, P. DE; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído (Online)**, v. 10, n. 4, p. 219–231, 2010.

BOCANEGRA-MARTINEZ, A.; PONCE-ORTEGA, J. M.; NÁPOLES-RIVERA, F.; et al. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44–56, 2014.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9–16, 2012.

CASCAVEL. Lei Nº:4.631, de 02 de agosto de 2007.

CETESB, ÁGUAS INTERIORES, Acesso 04/07/2016 Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/8-2/reuso-de-agua/>

COHIM, E.; ALMEIDA, A. A. A.; KIPERSTOK, A. Captação Direta de Água de Chuva no Meio Urbano para Usos Não Potáveis. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia e Sanitária e Ambiental**, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2007.

Comunicação pessoal. DIRAC- DIRETORIA DE ADMINISTRAÇÃO E CONTROLE ACADÊMICO, Uberlândia, 2016.

Comunicação pessoal. DIRIE- DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA, Uberlândia, 2016.

Comunicação pessoal. DIRIE- DIRETORIA DE PLANEJAMENTO, Uberlândia, 2016



CURITIBA. lei nº 10785, de 18 de setembro de 2003.

DANIELL, K. A.; COOMBES, P. J.; WHITE, I. Politics of innovation in multi-level water governance systems. **Journal of Hydrology**, v. 519, n. PC, p. 2415–2435, 2014.

DORNELLES, Fernando. **Aproveitamento de Água de Chuva no Meio Urbano e Seu efeito na Drenagem Pluvial**. 2012. 82 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Pesquisas Hidráulicas Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Cap. 234.

EVANS, C.A.; P.J. COOMBES.; R.H. DUNSTAN. Wind. Rain and Bacteria: The Effect of Weather on the Microbial Composition of Roof-Harvested Rainwater. **Water Research** v.40, 37-44, 2006.

FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 686–694, 2011.

FARRENY, R.; MORALES-PINZÓN, T.; GUIASOLA, A.; et al. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. **Water Research**, v. 45, n. 10, p. 3245–3254, 2011.

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks For Use in Houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381–2403, 2010.

GOIS, E. H. B. DE; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 263–271, 2015.

GURUNG, T. R.; SHARMA, A. Communal rainwater tank systems design and economies of scale. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 26–36, 2014.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v. 248, n. 1–3, p. 118–124, 2009.

IMTEAZ, M. A.; RAHMAN, A.; AHSAN, A. Reliability analysis of rainwater tanks: A comparison between South-East and Central Melbourne. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 1–7, 2012.

KAMMERS, Pauline Cristiane. **Usos Finais de Água em Edifícios Públicos: Estudo de Caso em Florianópolis - SC Bolsista**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Núcleo de Pesquisa em Construção e Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LEE, J.; PAK, G.; YOO, C.; KIM, S.; YOON, J. Effects of land use change and water reuse options on urban water cycle. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22, n. 6, p. 923–928, 2010.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A.; Rainwater harvesting and grey water treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, Dublin, v. 260, p. 01-08, 2010.

Lye DJ. Rooftop runoff as a source of contamination: a review. **Science of the Total Environment** vol.407, n. 54, p.29–34, 2009.

LI, D.; WAN, J.; MA, Y.; et al. Stormwater runoff pollutant loading distributions and their correlation with rainfall and catchment characteristics in a rapidly industrialized city. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 2015.

LIMA, J. A. DE; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M. A. P. M. DE; JANZEN, J. G.; MARCHETTO, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 291–298, 2011.

LIU, A.; LIU, L.; LI, D.; GUAN, Y. Characterizing heavy metal build-up on urban road surfaces: Implication for stormwater reuse. **Science of the Total Environment**, v. 515–516, p. 20–29, 2015.

LONDRA, P. A.; THEOCHARIS, A. T.; BALTAS, E.; TSIHRINTZIS, V. A. Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece. **Water Resources Management**, v. 29, n. 12, p. 4357–4377, 2015.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n. 2 p. 67 - 84, abr. – jun. 2008

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MENDEZ, C. B.; KLENZENDORF, J. B.; AFSHAR, B. R.; et al. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049–2059, 2011.

MOREIRA NETO, R. F.; CALIJURI, M. L.; CARVALHO, I. D. C.; SANTIAGO, A. D. F. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 65, p. 124–129, 2012.

PORTO ALEGRE. Lei Nº 10.506, de 5 de agosto de 2008.

OUYANG, W.; GUO, B.; CAI, G.; et al. The washing effect of precipitation on particulate matter and the pollution dynamics of rainwater in downtown Beijing. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 306–314, 2015.

RECESA. Módulo 4 - anexo - novos paradigmas tecnológicos para a concepção de projetos em saneamento 1. , p. 1–50.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de Métodos Para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SALLA, M. R.; LOPES, G. B.; PEREIRA, C. E.; NETO, J. D. C. M.; PINHEIRO, A. M. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 167–181, 2013.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 71, p. 1–6, 2013. SÃO PAULO. Lei Nº 16160/2015, de 13 de abril de 2015.

SILVA, G. S. DA. **Programas Permanentes de Uso Racional em campi Universitários Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo Universitários** 2004. 328 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SISTEMA NACIONAL DE CUSTOS E PESQUISCAS DE INDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. Belo Horizonte, 2016.

SHUSTER, W. D.; LYE, D.; LA CRUZ, A. DE; et al. Assessment of residential rain barrel water quality and use in Cincinnati, Ohio. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 49, n. 4, p. 753–765, 2013.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 2 ed. São Paulo: **Navegar**, 2005. 180 p.

TOMAZ, P. **Capítulo 1 Conceito de aproveitamento de água de chuva**, p. 1–21, 2011.

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008

UMAPATHI, S.; CHONG, M. N.; SHARMA, A. K. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: A real-time monitoring study. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 204–214, 2013.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v. 40, n. 9, p. 1174–1184, 2005.

WANG, R.; ZIMMERMAN, J. Hybrid Analysis of Blue Water Consumption and Water Scarcity Implications at the Global, National, and Basin Levels in an Increasingly Globalized World. **Environmental science & technology**, 2016.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Research**, v. 46, n. 16, p. 5127–5134, 2012.