

# **Análises da Viabilidade Econômica de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais para Fins Não-Potáveis em Residências na Cidade de João Pessoa – PB**

## **Isabelly Cícera Souza Dias**

- Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba e aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba.
- Bolsista Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

## **Gilson Barbosa Athayde Júnior**

- Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba.
- Doutor em Engenharia Civil pela University of Leeds - Inglaterra.
- Professor do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

## **Carmem Lúcia Moreira Gadelha**

- Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba.
- Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo.
- Professora do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

## **Resumo**

A escassez de água potável é uma das grandes preocupações da humanidade neste século que se inicia. Dessa forma, surge a necessidade de redução do consumo per capita de água. Dentre as ações que promovem o uso racional da água, as tecnológicas parecem ser, na maioria dos casos, as mais recomendadas para reduzir o consumo sem que sejam necessárias mudanças radicais nos hábitos dos usuários. Entre estas, o aproveitamento de água pluvial surge como uma ação de boas perspectivas, pois substitui o uso de água potável onde a qualidade desta não é necessária. A difusão dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em residências depende, dentre outras coisas, da viabilidade econômica de suas implantações. Apesar de ser uma proposta bastante atraente ambientalmente, é relevante observar que a substituição da água potável distribuída pelas concessionárias de saneamento por água de chuva em residências só será difundida, caso esta alternativa seja economicamente viável. O objetivo principal deste trabalho é fazer um estudo para a avaliação econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em residências unifamiliares em João Pessoa – PB. Os resultados obtidos demonstram que os sistemas analisados são lucrativos, porém são inviáveis economicamente para os padrões socioeconômicos popular e médio de residências no atual cenário de cobrança de tarifas. Já para o padrão socioeconômico alto os sistemas se mostraram viáveis mesmo para as tarifas praticadas na atualidade em João Pessoa.

## **Palavras-chave:**

Águas Pluviais – Aproveitamento; Água – Consumo per capita; Água não-potável; Tarifa de Água; Água - Uso Racional.

# 1 – INTRODUÇÃO

A disseminação de informações referentes ao risco de escassez de água tem aumentado a conscientização da população com relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no nosso planeta. No entanto, esse recurso tem-se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos.

A água, em uma residência, possui dois fins distintos: o potável, para higiene pessoal, para a bebida e preparação de alimentos e o não-potável, para a utilização na lavagem de carros e calçadas, irrigação de jardins e descarga em bacias sanitárias, dentre outros. No Brasil, a utilização de água potável para fins não-potáveis é bastante comum. Esta é uma prática contestável, pois, nestes fins, não são necessários padrões de potabilidade para a água.

O aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis em residências pode contribuir para a conservação de mananciais, com a redução de enchentes nas cidades e para a diminuição da utilização de energia e insumos na captação, adução, tratamento e distribuição de água potável. Segundo Gonçalves *et al.* (2005 apud RAMOS *et al.* 2006), o aproveitamento de água de chuva é uma realidade bastante presente em grandes cidades e em países desenvolvidos.

Apesar de ser uma opção interessante do ponto de vista ambiental, acredita-se que o aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis somente será utilizado em grande escala, caso esta alternativa seja viável economicamente. Dentro deste contexto, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva para os diferentes padrões socioeconômicos de moradia (popular, médio e alto) que visam ao abastecimento das bacias sanitárias, chuveiro, lavatórios, tanques, máquinas de lavar roupas, lavagem de automóveis,

rega de jardins e piscinas em residências na cidade de João Pessoa – PB.

# 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

## 2.1 – Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação utilizados no trabalho foram obtidos da Rede Hidroclimatológica do Nordeste através do *site* da Agência de Desenvolvimento do Nordeste. (AGÊNCIA..., 2006). Utilizou-se uma série de dados de chuva abrangendo dados diários do período de 1912 a 1969, os quais foram administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). As características do posto pluviométrico utilizado são apresentadas no Tabela 1.

Na Tabela 2 abaixo, podem-se verificar as médias mensais das precipitações de João Pessoa entre os anos de 1912–1931 e 1937–1969, totalizando 53 anos de dados da estação pluviométrica da Sudene. Os dados pluviométricos da cidade de João Pessoa estão resumidos no Tabela 3.

Segundo a Tabela 2, conclui-se que a precipitação média anual em João Pessoa é de 1.745,83mm, a estação chuvosa em João Pessoa concentra-se nos meses de março a agosto, com a média mensal máxima ocorrendo no mês de julho (301,94mm), os valores mínimos de precipitação ocorrem entre os meses de setembro e fevereiro, com mínima pluviometria no mês de outubro (25,42mm).

## 2.2 – Levantamento da Demanda

Os pontos de utilização considerados para a estimativa da demanda predial por água de chuva foram:

**Padrão popular:** bacia sanitária, chuveiro, lavatório, tanque e 20 dias de rega de jardim para uma área de 8m<sup>2</sup>.

**Padrão médio:** bacia sanitária, chuveiro, lavatório, tanque, máquina de lavar roupas, um automóvel com

**Tabela 1 – Características do Posto Pluviométrico Utilizado**

Posto	Latitude	Longitude	Dados disponíveis de precipitação	Total de anos
SUDENE	07°07'S	34°53'W	1912 – 1931 1937 – 1969	52

Fonte: Adaptada dos Dados Diários da Agência de Desenvolvimento... (2006).

**Tabela 2 – Média Mensal Pluviométrica em João Pessoa**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAOI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
1912	x	x	x	x	x	x	129,00	123,70	48,20	20,00	27,10	7,60	-
1913	9,00	285,40	102,80	258,40	88,50	268,90	297,50	129,10	2,30	x	x	32,50	-
1914	287,60	128,10	76,00	296,00	202,30	580,80	313,00	328,20	58,10	5,30	82,40	34,30	2.392,10
1915	24,50	16,60	11,40	110,00	187,00	219,30	144,40	142,70	29,60	14,80	36,40	16,30	953,00
1916	48,80	61,90	182,10	200,70	241,50	242,70	143,00	41,80	18,40	2,40	7,10	60,60	1.251,00
1917	75,40	235,00	259,20	122,20	459,20	280,00	122,80	75,60	47,60	13,50	21,90	41,60	1.754,00
1918	179,00	243,30	198,30	128,50	299,90	254,40	182,30	151,60	68,50	15,20	3,10	8,80	1.732,90
1919	92,40	16,30	38,80	69,30	98,90	296,10	224,90	207,30	166,40	33,10	16,20	9,40	1.269,10
1920	55,60	16,00	152,30	136,60	324,20	193,90	278,90	25,90	51,60	65,10	13,20	123,00	1.436,30
1921	51,00	100,10	293,10	270,30	362,60	177,90	259,60	94,10	143,00	13,50	48,00	71,80	1.885,00
1922	112,50	53,70	80,10	441,60	342,10	409,00	222,20	171,90	15,20	1,60	36,10	6,50	1.892,50
1923	120,60	173,40	34,20	204,20	49,00	224,50	194,80	88,80	44,80	15,30	53,50	23,80	1.226,90
1924	29,60	200,60	318,60	302,60	418,50	380,10	181,40	187,50	43,00	18,90	18,70	14,80	2.114,30
1925	127,40	97,40	130,30	416,70	390,50	239,10	160,90	105,70	148,10	28,00	16,70	24,70	1.885,50
1926	90,20	83,30	389,70	261,60	138,40	300,10	134,30	78,50	57,30	3,40	24,40	21,00	1.582,20
1927	22,50	94,20	264,30	408,30	157,20	215,50	258,40	49,50	33,20	17,50	30,80	8,10	1.559,50
1928	34,10	34,50	185,30	364,70	207,20	197,40	172,60	69,40	103,60	x	15,20	x	-
1929	197,80	19,80	502,80	157,10	203,10	222,70	261,50	161,80	54,50	43,60	37,10	30,70	1.892,50
1930	118,00	45,50	109,70	152,60	104,70	268,10	122,00	13,50	x	x	x	x	-
1931	57,70	163,20	55,30	331,00	282,00	570,00	207,30	184,40	53,10	12,70	11,50	40,40	1.968,60
1937	5,30	62,60	43,40	325,70	282,00	388,30	253,90	145,80	19,80	16,50	24,70	18,20	1.586,20
1938	80,90	61,80	251,10	204,60	181,10	244,40	119,90	225,30	77,90	25,40	75,80	21,70	1.569,90
1939	39,00	136,20	405,70	104,40	215,10	71,30	362,90	380,40	60,10	54,20	155,00	22,70	2.007,00
1940	102,00	98,70	262,20	358,00	765,90	249,10	346,60	191,50	115,10	10,40	10,60	101,80	2.611,90
1941	94,60	67,50	351,80	257,50	176,80	238,10	112,50	180,10	26,00	32,30	39,30	44,80	1.621,30
1942	14,80	75,70	46,60	169,50	444,90	259,00	140,70	196,20	25,60	38,50	6,10	75,20	1.492,80
1943	109,60	150,10	149,00	97,30	227,80	287,90	335,60	112,80	78,20	112,80	9,90	59,80	1.730,80
1944	46,60	14,90	131,70	204,10	421,10	318,70	140,90	126,20	107,40	49,90	28,50	27,10	1.617,10
1945	20,40	197,80	109,00	223,40	420,90	468,80	197,90	184,20	73,40	33,80	44,00	28,30	2.001,90
1946	195,00	27,30	314,30	317,50	169,50	362,20	169,90	73,20	50,70	6,80	18,50	64,50	1.769,40
1947	94,00	34,20	289,90	233,30	353,30	248,30	171,40	72,20	34,40	29,70	66,40	155,60	1.782,70
1948	38,20	22,30	117,80	111,50	342,40	322,10	309,80	157,90	88,80	41,90	50,90	16,90	1.620,50
1949	116,00	25,30	58,90	292,50	530,80	204,90	128,80	159,10	41,60	22,90	53,40	18,40	1.652,60
1950	35,40	68,90	373,10	638,80	291,70	241,50	213,70	103,10	67,50	8,50	7,70	57,60	2.107,50
1951	24,50	52,00	11,30	142,70	289,00	909,00	180,30	57,30	70,40	31,30	38,90	87,50	1.894,20
1952	138,40	22,60	95,90	195,30	247,90	211,30	104,70	170,00	25,60	8,70	15,10	23,90	1.259,40
1953	24,40	14,80	58,30	168,80	113,60	327,40	223,70	101,50	35,60	8,10	11,00	10,20	1.097,40
1954	35,20	29,50	42,70	146,10	404,60	239,80	160,60	87,20	139,70	5,20	8,00	15,20	1.313,80
1955	35,10	74,90	490,10	183,60	238,40	365,20	303,50	197,80	33,60	71,80	11,00	35,90	2.040,90
1956	30,00	180,50	288,00	354,90	314,90	225,90	200,00	176,40	91,00	34,90	13,70	4,90	1.915,10
1957	66,40	13,30	226,50	405,60	172,30	172,30	140,80	144,00	22,70	24,10	15,40	60,80	1.464,20
1958	44,30	104,30	185,90	125,00	340,30	294,90	306,60	144,00	12,40	11,30	21,50	7,30	1.597,80
1959	106,30	158,40	94,20	327,00	249,90	224,90	184,50	118,10	78,20	6,40	29,30	17,20	1.594,40
1960	47,90	8,40	380,50	137,60	291,50	314,40	263,20	118,10	58,30	11,50	7,00	45,10	1.683,50
1961	258,00	87,80	320,70	449,70	244,40	304,00	281,40	96,10	91,40	79,40	8,00	11,70	2.232,60
1962	24,90	65,40	277,10	144,30	255,70	255,80	229,10	136,00	141,50	16,60	6,20	38,50	1.591,10
1963	55,10	134,20	238,90	368,10	147,30	138,70	372,40	141,40	37,00	6,00	69,10	118,30	1.826,50
1964	254,50	306,40	554,70	605,50	685,80	355,00	476,40	175,80	148,00	37,60	55,10	28,90	3.683,70
1965	122,90	58,20	41,40	302,60	308,60	528,10	74,90	40,70	56,10	13,60	22,70	32,20	1.602,00
1966	72,80	214,50	129,30	146,60	194,60	375,40	583,80	176,90	206,70	7,40	67,00	21,00	2.196,00
1967	21,50	91,50	367,30	309,20	245,10	316,60	216,70	188,30	39,30	73,00	3,00	34,40	1.905,90
1968	120,90	85,10	327,30	261,30	280,30	127,70	242,40	44,50	68,10	10,80	17,10	18,20	1.603,70
1969	75,30	45,70	189,50	352,20	419,50	569,50	502,40	185,00	46,00	31,30	20,80	29,50	2.466,70
n	52	52	52	52	52	52	53	53	52	50	51	51	49
MÉDIA	82,38	93,44	204,01	255,70	285,07	301,94	227,60	136,57	66,43	25,42	29,43	37,83	1.745,83

Fonte: Adaptada dos Dados Diários da Agência de Desenvolvimento... (2006).

Obs.: x – Não constam dados de precipitação.

duas lavagens mensais, e 20 dias de rega de jardim para uma área de 20m<sup>2</sup>.

**Padrão alto:** bacia sanitária, chuveiro, lavatório, tanque, máquina de lavar roupas, três automóveis com duas lavagens mensais, 20 dias de rega de jardim para uma área de 60m<sup>2</sup> e uma piscina com 20m<sup>2</sup> e oito manutenções por mês.

A partir das pesquisas de Tomaz (2000, 2003); Creder (2006) e Rocha *et al.* (1998), foram determinados os consumos para os diferentes padrões de moradias (ver Tabelas 3, 4 e 5).

Segundo Oliveira e Lucas Filho (2003), o consumo diário para residências de padrão popular é igual a 116,25 L/habitante.dia. Querido (2000) determina 129,50 L/habitante.dia. Como se pode observar na Tabela 2, o consumo calculado para este padrão de residência foi de 130,0 L/habitante.dia, muito próximo àqueles citados, sendo o chuveiro o aparelho responsável por um maior consumo (46,15%), seguido da bacia sanitária (27,69%) e pia (15,38%). Apenas a pia da cozinha ficou sendo abastecida com água da concessionária. Assim, a distribuição dos usos potáveis e não-potáveis foi definida como sendo 84,62% (110,0 L/habitante.dia) de demanda por água não-potável (água pluvial).

**Tabela 3 – Resumo dos Dados Pluviométricos de João Pessoa**

Maior precipitação diária (16/03/1939)	179,40 mm
Média da precipitação máxima diária dos vários anos	114,71 mm
Maior precipitação mensal (Junho/1951)	909,00 mm
Menor precipitação mensal (Outubro/1922)	1,60 mm
Maior total anual de precipitação (1964)	3.683,70 mm
Menor total anual de precipitação (1915)	953,00 mm
Média de precipitação anual	1.745,83 mm
Desvio-padrão para as precipitações anuais	437,43 mm

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 4 – Distribuição de Usos Potáveis e dos Não-Potáveis em Residência de Padrão Popular**

Ponto de utilização	Consumo diário (L/habitante.dia)	Consumo potável (%)	Consumo não-potável (%)
Bacia sanitária	36,0	0,0	27,69
Chuveiro	60,0	0,0	46,15
Lavatório	9,0	0,0	6,92
Pia	20,0	15,38	0,00
Tanque	3,0	0,0	2,31
Rega de jardim	2,0	0,0	1,54
Total	130,0	15,38	84,62

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 5 – Distribuição de Usos Potáveis e dos Não-Potáveis em Residência de Padrão Médio**

Ponto de utilização	Consumo diário (L/habitante.dia)	Consumo potável (%)	Consumo não-potável (%)
Bacia sanitária	36,0	0,0	22,22
Chuveiro	60,0	0,0	37,04
Lavatório	9,0	0,0	5,56
Pia	20,0	12,35	0,00
Tanque	3,0	0,0	1,85
Máquina de lavar roupas	28,0	0,0	17,28
Lavagem de carro	2,0	0,0	1,23
Rega de jardim	4,0	0,0	2,47
Total	162,0	12,35	87,65

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 6 – Distribuição de Usos Potáveis e dos Não-Potáveis em Residência de Padrão Alto**

Ponto de utilização	Consumo diário (L/habitante.dia)	Consumo potável (%)	Consumo não-potável (%)
Bacia sanitária	36,0	0,0	18,67
Chuveiro	60,0	0,0	31,11
Lavatório	9,0	0,0	4,67
Pia	20,0	10,37	0,00
Tanque	3,0	0,0	1,56
Máquina de lavar roupas	28,0	0,0	14,52
Lavagem de carro	5,0	0,0	2,59
Rega de jardim	10,0	0,0	5,19
Piscina	21,83	0,0	11,32
Total	192,83	10,37	89,63

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

O consumo em residências de padrão médio, segundo Oliveira e Lucas Filho (2003), é de 141,0 L/habitante.dia. Querido (2000) determina 153,0 L/habitante.dia. O consumo calculado para este padrão de residência foi igual a 162,0 L/habitante.dia, sendo o chuveiro o aparelho responsável por maior consumo (37,04%), seguido da bacia sanitária (22,22%) e da máquina de lavar roupas (17,28%). A distribuição dos usos potáveis e não-potáveis foi definida como sendo 87,65% (142,0 L/habitante.dia) de demanda por água pluvial, estando a pia da cozinha abastecida com água da concessionária.

Para Oliveira e Lucas Filho (2003), o consumo diário para residências de padrão alto é de 221,0 L/habitante.dia. Querido (2000) determina 217,0 L/habitante.dia. O consumo calculado para este padrão foi igual a 192,83 L/habitante.dia. O chuveiro foi o aparelho responsável por um maior consumo (31,11%), assim como nos outros padrões de moradias, seguido da bacia sanitária (18,67%) e da máquina de lavar roupas (14,52%). A distribuição dos usos potáveis e não-potáveis foi definida como sendo 89,63% (172,83 L/habitante.dia) de demanda por água não-potável. Apenas a pia da cozinha ficou sendo abastecida com água da concessionária.

### 2.3 – Dimensionamento do Reservatório Inferior

Um dos grandes problemas encontrados na implantação do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é a determinação do volume do reservatório de acumulação. Existem vários métodos para calcular o volume do reservatório. Neste trabalho o reservatório de

água de chuva será dimensionado através do método de Rippl. Que é um dos mais utilizados para dimensionamento de reservatórios. Sendo um método de diagrama de massa, este regulariza a vazão no reservatório permitindo, desta forma, garantir o abastecimento constante de água em qualquer período, ou úmido ou seco. (TOMAZ, 2003). Apresenta a vantagem de ser flexível com relação aos dados de entrada para o cálculo. Por exemplo, pode-se utilizar demanda constante ou demanda variável, chuva média mensal, chuva mensal ou chuva diária, bastando para isso verificar a disponibilidade de dados pluviométricos.

### 2.4 – Indicadores Econômicos

#### Valor Presente Líquido (VPL)

Este método é, geralmente, aplicado quando se deseja comparar várias alternativas de projetos. Todos os benefícios e custos envolvidos, ao longo do alcance, são transformados em valores presentes.

Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VPL será a mais atrativa. Quando as alternativas de projeto possuem os mesmos benefícios, aquela que proporcionar menos custos envolvidos será a mais atrativa. A expressão geral para a determinação do VPL é:

$$\underline{VLP} = \text{Benefícios} - \text{Investimentos Custos} \quad (1)$$

Avaliação, exclusivamente econômica, do VPL é dada por:

VPL > 0, o projeto é atrativo;  
VPL = 0, o projeto é indiferente;  
VPL < 0, o projeto é não atrativo.

#### Relação Benefício/Custo (B/C)

Durante a implantação e a operação de um projeto de engenharia, irão ocorrer custos, assim como receitas, que incidirão em tempos distintos, ao longo da vida útil do projeto. Esses custos e/ou receitas incidirão anualmente ou mensalmente, dependendo da unidade de tempo utilizada na análise econômica. Normalmente, os projetos de engenharia operam durante dezenas de anos, de maneira que os custos e as possíveis receitas envolvidos no projeto são contabilizados anualmente.

Em projetos de engenharia, a identificação dos custos e benefícios começa pela definição da vida útil ou alcance de projeto. O alcance de projeto corresponde ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, tanto em equipamentos como em obras civis. Para as instalações prediais, utiliza-se geralmente um alcance de 20 anos.

Os custos envolvidos na construção de um sistema de aproveitamento de água de chuva podem ser divididos em duas categorias: custos de investimento (divididos em custos diretos e indiretos) e custos de exploração. Os custos de investimentos são aqueles investidos para tornar o projeto concreto e correspondem a uma parcela de custos fixos. São divididos em custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles necessários para a formação física do projeto, isto é, para a aquisição de equipamentos, construções de instalações, adaptações, estruturas e outros. Os custos indiretos correspondem aos custos de engenharia, aos juros pagos por empréstimos durante a construção de projeto etc. Os custos de exploração são os correspondentes à operação e à manutenção do sistema, incluindo os administrativos. Diferentemente dos custos de investimento, que são fixos e incidem, normalmente, no início do projeto, os custos de exploração são variáveis e ocorrem em parcelas mensais, ou anuais, dependendo da escala de tempo utilizada na análise (mensal ou anual).

Os benefícios de um projeto abrangem todos os aumentos ou ganhos identificáveis, seja em satisfação subjetiva, direta ou indireta, expressos em valores econômicos ou não. Esses podem ser classificados em diretos e indiretos, como também tangíveis e intangíveis. Os benefícios diretos estão constituídos pelos resultados imediatos do projeto; já os benefícios indiretos são pro-

porcionados, de maneira não intencional, pelos resultados do projeto. Os benefícios tangíveis são aqueles que podem ser expressos em valores econômicos (*e.g.*, a economia no consumo de água), enquanto os intangíveis são os que não admitem uma avaliação econômica direta (*e.g.*, o interesse social, político e ambiental).

#### Tempo de retorno de capital

Segundo Gomes (2005), são dois os indicadores do Tempo de Retorno de Capital (TRC): o TRC não-descontado e o TRC descontado.

O tempo de retorno não-descontado é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levarem em conta as taxas de juros e de aumento das grandezas monetárias durante a análise do projeto. O valor do TRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento. O tempo de retorno descontado é o número de período que zera o VPL do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento das parcelas incidentes.

A análise do TRC está diretamente relacionada com a duração da vida útil do projeto. Se o tempo de retorno do capital é superior ao período de vida útil do projeto, o investimento correspondente não será atrativo.

## 2.5 – Identificação dos Custos e Benefícios Econômicos do Projeto

### Custos de investimento direto

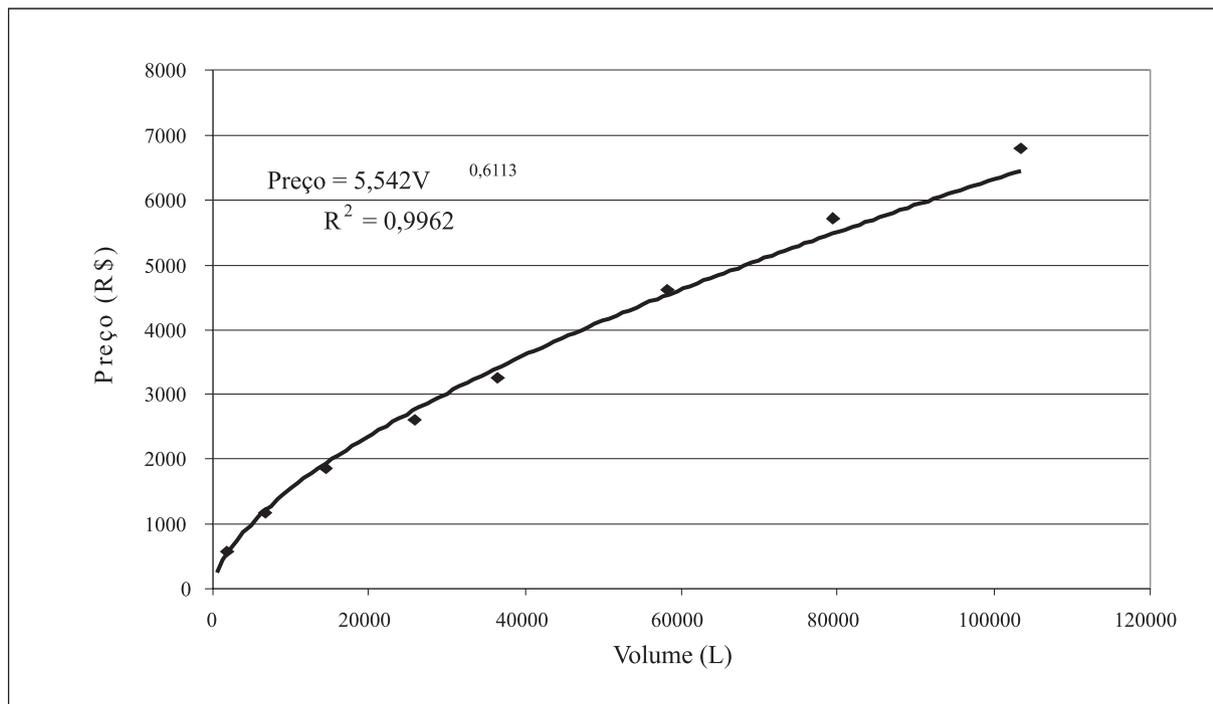
#### a) Reservatório inferior e superior

Os custos dos reservatórios de acumulação (reservatório inferior) foram baseados nos preços de mercado para reservatórios pré-fabricados. Os volumes dos reservatórios com seus respectivos preços foram plotados em um gráfico (Gráfico 1), fornecendo a expressão do custo do reservatório em função do volume requerido. O volume adotado para o reservatório superior foi 0,5m<sup>3</sup>.

#### b) Tubulação e conjunto motor-bomba

Fez-se um levantamento médio dos gastos com tubulações, calhas e conexões e chegou-se a um valor de R\$ 166,00 (cento e sessenta e seis reais).

Para recalcar água do reservatório inferior ao reservatório superior foi estabelecido um conjunto motor-bomba de 3/4cv com um custo médio de R\$ 450,00 (quatrocentos e cinquenta reais).



**Gráfico 1 – Variação do Preço do Reservatório em Função do Volume Requerido**

Fonte: Adaptada dos Dados Diários da Agência de Desenvolvimento... (2006).

### c) Filtro de areia

O valor do filtro de areia varia de acordo com o padrão de moradia e foi calculado após serem estabelecidos: o tipo de filtração (rápida), taxa de filtração, igual a 180m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para filtros de camadas simples, espessura da camada filtrante igual 0,70m.

O filtro considerado foi de alvenaria, que possui um valor de construção de 11,00 R\$/m<sup>2</sup>. O valor do m<sup>3</sup> de areia, material filtrante, foi pesquisado, apresentando um valor médio de 25,00 R\$/m<sup>3</sup>. Assim, os custos totais dos filtros foram: R\$ 116,50, padrão popular, R\$ 290,00, padrão médio, e R\$ 1.152,50, padrão alto.

#### Custos de investimento indireto

A taxa de juros utilizada na análise econômica foi calculada através da média da variação da taxa de juros entre os anos de 2000 e 2006 do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para financiamento de projetos de saneamento ambiental e recursos hídricos. (Gráfico 2).

A Taxa de juros (TJ) utilizada é calculada a partir da seguinte expressão (BNDES, 2006):

$$TJ = \text{Custo Financeiro} + \text{Remuneração do BNDES} + \text{Taxa de risco de crédito} \quad (1)$$

onde o custo financeiro é dado pela Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) e tem período de vigência de um trimestre, a remuneração do BNDES é igual a 1,5% ao ano e a taxa de risco de crédito igual a 1,0% ao ano. O valor médio encontrado foi igual a 12,39% ao ano.

#### Custos de exploração

##### a) Manutenção do sistema

Os custos com manutenção correspondem aos gastos com a conservação preventiva, a reposição de peças de instalação e a reparação de possíveis avarias, e foi estimado em 25,00 R\$/ano.

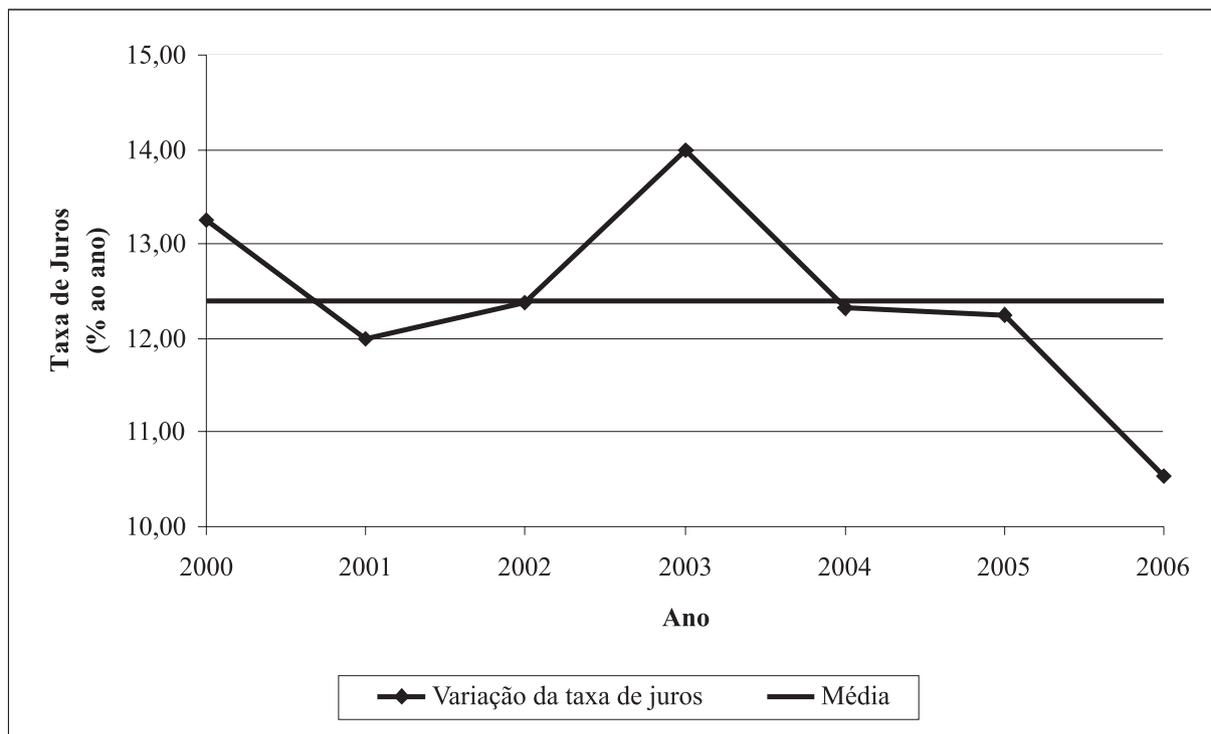
##### b) Energia de bombeamento

O custo da energia de bombeamento, em valores monetários anuais, pôde ser determinado através da Equação 2, dada em função da energia requerida pela elevatória ( $E$ ) e o custo unitário da energia ( $p$ ):

$$C_{\text{Energia}} = E \times p \quad (2)$$

A energia requerida, em kWh, foi obtida diretamente na expressão (3):

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{3,6 \times 10^6 \cdot \eta} \quad (3)$$



**Gráfico 2 – Variação da Taxa de Juros entre os Anos de 2000 e 2006**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

onde  $V$  é o volume de água aproveitado em  $m^3$ /ano,  $\rho$  é o peso específico da água, igual a  $1.000\text{kg}/m^3$ ,  $g$  a aceleração da gravidade, igual a  $9,81\text{m}/s^2$ ,  $H$  a altura manométrica (foram considerados diferentes valores para os diversos padrões de moradia. Para o popular a altura manométrica utilizada foi  $5,0\text{m}$  e  $5,5\text{m}$  e  $6,0\text{m}$  para os padrões médio e alto, respectivamente) e  $\eta$  o rendimento do conjunto motor-bomba. Segundo Macintyre (1999), o valor de  $\eta$  varia de 30% a 80%. O rendimento considerado do conjunto foi de 50%.

Assim, o custo anual da energia de bombeamento será:

$$C_{\text{Energia}} = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{3,6 \times 10^6 \cdot \eta} \times P \quad (4)$$

O custo unitário da energia, em unidades monetárias por kWh, é estabelecido em conformidade com as tarifas cobradas pelas empresas concessionárias de energia elétrica. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (AGÊNCIA..., 2006), as tarifas cobradas dos consumidores finais estruturam-se tanto por nível de tensão como por classe de consumo. Para consumidores residenciais (tipo B1), em João Pessoa, o custo da energia, incluindo os impostos, é de  $0,46\text{R}\$/\text{kW}$ , tomando como referência o período compreendido de janeiro a agosto de 2006.

#### Benefícios econômicos

O benefício econômico considerado foi o valor da quantidade de água aproveitada num ciclo anual, tomando-se como base o valor do  $m^3$  de água fornecida pela concessionária local (COMPANHIA..., 2006), que é de  $\text{R}\$ 1,99/m^3$  para consumo entre  $11$  e  $20m^3$  (faixa na qual se enquadrou o padrão popular),  $\text{R}\$ 2,62/m^3$  para consumo de  $21$  a  $30m^3$  (faixa na qual se enquadrou o padrão médio) e  $\text{R}\$ 3,56/m^3$  para consumo acima de  $30m^3$  (faixa na qual se enquadrou o padrão alto). Estes valores de tarifa são apenas para os serviços de água, não incluindo os de esgotamento sanitário, e são referentes ao mês de maio de 2006.

Para simular cenários futuros em que o valor da tarifa de água praticada deve aumentar, foram calculados os mesmos indicadores para o dobro, o triplo e o quádruplo dos atuais valores.

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 – Dimensionamento do Reservatório Inferior para Armazenamento de Águas Pluviais

Os reservatórios para armazenamento de água de chuva foram dimensionados para alguns valores pos-

síveis da capacidade do reservatório de acumulação, variando desde o máximo possível dimensionado pelo método de Rippl até um mínimo equivalente a dez dias de consumo da residência. As planilhas do dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais são mostradas a seguir.

A seguir são descritos os dados da planilha de dimensionamento do reservatório de água de chuva comum a todos os padrões.

**Precipitação média (mm):** nesta coluna estão as chuvas médias mensais em milímetros do município de João Pessoa (Tabela 2).

**Entrada (L/mês):** é o volume máximo de água de chuva que poderá ser coletado no intervalo de um mês. Segundo Tomaz (1998), a entrada de água pluvial é calculada pela seguinte equação:

$$Q = P \cdot A \cdot c \quad (5)$$

onde  $P$  é a precipitação média mensal (mm),  $A$  a área de coleta ( $m^2$ ) e  $c$  o coeficiente de *Runoff*.

**Dias no mês:** quantidade de dias no referente mês.

**Consumo (L/mês):** refere-se ao volume de água potável que pode ser substituído por água de chuva, ou seja, o volume de água necessário para alimentar os pontos onde não há necessidade da utilização de água potável no intervalo de um mês. O consumo é determinado multiplicando-se a demanda por água não-potável, o número de habitantes na residência e a quantidade de dias no mês.

**Saldo (L/mês):** é a diferença entre a entrada e o consumo.

**Déficit acumulado ( $m^3$ ):** é o somatório do saldo negativo de água de chuva nos meses de janeiro a dezembro.

**Entrada acumulada ( $m^3$ /mês):** refere-se ao somatório da entrada de águas pluviais nos meses de janeiro a dezembro.

**Saldo acumulado (L/mês):** somatório do saldo de águas pluviais nos meses de janeiro a dezembro.

**Saldo acumulado ( $m^3$ /mês):** saldo acumulado dividido por mil.

Para o padrão popular, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi encontrado tomando-se como base vinte dias de consumo, uma vez que o volume máximo calculado pelo método de Rippl (determinado através do somatório do saldo positivo, para consumo maior que entrada de água de chuva), foi inferior ao volume mínimo (considerando dez dias de consumo na residência). O volume máximo calculado pelo método de Rippl foi igual a  $3,10m^3$  e o volume mínimo igual  $4,40m^3$ .

A partir dos valores máximo e mínimo referentes ao volume do reservatório de acumulação de água de chuva, foram atribuídos possíveis valores entre aqueles ( $7,70m^3$ ,  $6,60m^3$  e  $5,50m^3$ ) para que fosse analisada a viabilidade econômica referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

No padrão médio, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi calculado pelo método de Rippl ( $22,55m^3$ ) e o volume mínimo para suprir dez dias de consumo na residência ( $7,10m^3$ ). A partir dos valores máximo e mínimo referentes ao volume do reservatório de acumulação de água de chuva, foram atribuídos possíveis valores entre aqueles ( $18,00m^3$ ,  $14,00m^3$  e  $10,00m^3$ ) para que fosse analisada a viabilidade econômica referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

Para o padrão alto, o volume máximo do reservatório de água de chuva foi calculado pelo método de Rippl (determinado através do somatório do saldo negativo, para consumo menor que entrada de água de chuva). O volume máximo foi igual  $102,29m^3$  e o volume mínimo igual  $10,37m^3$ . A partir desses valores referentes ao volume do reservatório de acumulação de água de chuva, foram atribuídos possíveis valores entre aqueles ( $75,00m^3$ ,  $45,00m^3$  e  $28,00m^3$ ) para que fosse analisada a viabilidade econômica dos reservatórios de acumulação para o padrão alto referente à quantidade de água aproveitada num ciclo anual.

### 3.2 – Indicadores Econômicos do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

Foram calculados, para alguns valores possíveis da capacidade do reservatório de acumulação, os indicadores econômicos VPL e razão B/C para uma vida útil do sistema de 20 anos, assim como o período de retorno (PR).

Os indicadores da análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva para o padrão popular

**Tabela 7 – Dimensionamento do Reservatório para o Padrão Popular**

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
Janeiro	82,38	4.201,52	31	13.640,0	-9.438,48	9,44	4,20	-9.438,48	-9,44
Fevereiro	93,44	4.765,66	28	12.320,0	-7.554,34	16,99	8,97	-16.992,83	-16,99
Março	204,01	10.404,39	31	13.640,0	-3.235,61	20,23	19,37	-20.228,43	-20,23
Abril	255,70	13.040,90	30	13.200,0	-159,10	20,39	32,41	-20.387,54	-20,39
Maior	285,07	14.538,73	31	13.640,0	898,73	20,39	46,95	-19.488,81	-19,49
Junho	301,94	15.399,06	30	13.200,0	2.199,06	20,39	62,35	-17.289,75	-17,29
Julho	227,60	11.607,50	31	13.640,0	-2.032,50	22,42	73,96	-19.322,25	-19,32
Agosto	136,57	6.964,96	31	13.640,0	-6.675,04	29,10	80,92	-25.997,29	-26,00
Setembro	66,43	3.388,17	30	13.200,0	-9.811,83	38,91	84,31	-35.809,12	-35,81
Outubro	25,42	1.296,50	31	13.640,0	-12.343,50	51,25	85,61	-48.152,62	-48,15
Novembro	29,43	1.500,68	30	13.200,0	-11.699,33	62,95	87,11	-59.851,95	-59,85
Dezembro	37,83	1.929,20	31	13.640,0	-11.710,80	74,66	89,04	-71.562,75	-71,56
Σ	1.745,83	89.037,25	-	160.600,0					

Volume máximo do reservatório (m³)

Volume mínimo do reservatório (m³)

Volume do RI (m³)	Volume aproveitado (m³/ano)	Volume de água comprado em relação à opção de volume máximo do RI (m³/ano)
8,80	89,04	0,00
7,70	87,94	1,10
6,60	86,84	2,20
5,50	85,74	3,30
4,40	84,64	4,40

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 8 – Dimensionamento do Reservatório para o Padrão Médio**

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
Janeiro	82,38	8.403,03	31	22.010,0	-13.606,97	13,61	8,40	-13.606,97	-13,61
Fevereiro	93,44	9.531,31	28	19.880,0	-10.348,69	23,96	17,93	-23.955,65	-23,96
Março	204,01	20.808,78	31	22.010,0	-1.201,22	25,16	38,74	-25.156,87	-25,16
Abril	255,70	26.081,79	30	21.300,0	4.781,79	25,16	64,82	-20.375,08	-20,38
Mai	285,07	29.077,45	31	22.010,0	7.067,45	25,16	93,90	-13.307,62	-13,31
Junho	301,94	30.798,12	30	21.300,0	9.498,12	25,16	124,70	-3.809,51	-3,81
Julho	227,60	2.3215,01	31	22.010,0	1.205,01	25,16	147,92	-2.604,50	-2,60
Agosto	136,57	13.929,93	31	22.010,0	-8.080,07	33,24	161,85	-10.684,57	-10,68
Setembro	66,43	6.776,33	30	21.300,0	-14.523,67	47,76	168,62	-25.208,24	-25,21
Outubro	25,42	2.593,00	31	22.010,0	-19.417,00	67,18	171,21	-44.625,24	-44,63
Novembro	29,43	3.001,35	30	21.300,0	-18.298,65	85,48	174,22	-62.923,89	-62,92
Dezembro	37,83	3.858,40	31	22.010,0	-18.151,60	103,63	178,07	-81.075,49	-81,08
Σ	1.745,83	178.074,51	-	259.150,0					

Volume máximo do reservatório (m³) 22,55

Volume mínimo do reservatório (m³) 7,10

Volume do RI (m³)	Volume aproveitado (m³/ano)	Volume de água comprado em relação à opção de volume máximo do RI (m³/ano)
22,55	178,07	0,00
18,00	173,52	4,55
14,00	169,52	8,55
10,00	165,52	12,55
7,10	162,62	15,45

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 9 – Dimensionamento do Reservatório para o Padrão Alto**

Mês	Precipitação média (mm)	Entrada (L/mês)	Dias no mês	Consumo (L/mês)	Saldo (L/mês)	Déficit acumulado (m³)	Entrada acumulada (m³/mês)	Saldo acumulado (L/mês)	Saldo acumulado (m³/mês)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Janeiro	82,38	21.007,59	31	32.147,0	-11.139,41	11,14	21,01	-11.139,41	-11,14
Fevereiro	93,44	23.828,28	28	29.036,0	-5.207,72	16,35	44,84	-16.347,13	-16,35
Março	204,01	52.021,96	31	32.147,0	19.874,96	16,35	96,86	3.527,83	3,53
Abril	255,70	65.204,48	30	31.110,0	34.094,48	16,35	162,06	37.622,31	37,62
Mai	285,07	72.693,63	31	32.147,0	40.546,63	16,35	234,76	78.168,94	78,17
Junho	301,94	76.995,29	30	31.110,0	45.885,29	16,35	311,75	124.054,23	124,05
Julho	227,60	58.037,52	31	32.147,0	25.890,52	16,35	369,79	149.944,75	149,94
Agosto	136,57	34.824,82	31	32.147,0	2.677,82	16,35	404,61	152.622,57	152,62
Setembro	66,43	16.940,83	30	31.110,0	-14.169,17	30,52	421,55	138.453,40	138,45
Outubro	25,42	6.482,50	31	32.147,0	-25.664,50	56,18	428,04	112.788,90	112,79
Novembro	29,43	7.503,38	30	31.110,0	-23.606,63	79,79	435,54	89.182,27	89,18
Dezembro	37,83	9.646,00	31	32.147,0	-22.501,00	102,29	445,19	66.681,27	66,68
Σ	1.745,83	445.186,27	-	378.505,0					

Volume máximo do reservatório (m³)	102,29
Volume mínimo do reservatório (m³)	10,37

Volume do RI (m³)	Volume aproveitado (m³/ano)	Volume de água comprado em relação à opção de volume máximo do RI (m³/ano)
102,29	445,19	0,00
75,00	417,90	27,29
45,00	387,90	57,29
28,00	370,90	74,29
10,37	353,27	91,92

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

de residências são apresentados nas Tabelas 10, 11 e 12 e nos Gráficos 3, 4, 5.

Observa-se na Tabela 10 e Gráfico 3 que o VPL sofre pequenas variações com o volume do reservatório e que, para o padrão popular de residências e atual cenário de tarifas (R\$ 1,99/m<sup>3</sup>), este indicador econômico foi sempre negativo, denotando a não-viabilidade econômica da alternativa. Para tarifa equivalente ao dobro da atual (cenário 2), o VPL tem uma leve tendência de aumentar, à medida que o volume do reservatório diminui, sendo igual a R\$ 242,59 para o reservatório de 4,40m<sup>3</sup>. Num terceiro cenário (cobrança de R\$ 5,97/m<sup>3</sup>), o maior valor encontrado, R\$ 1.457,66, foi para o reservatório de 7,7m<sup>3</sup>. Para o quádruplo da atual tarifa (R\$ 7,96/m<sup>3</sup>, quarto cenário), quanto maior o volume do reservatório, maior será o VPL. Neste cenário, para o volume máximo de armazenamento, o VPL obtido foi igual a R\$ 2.776,85

Na Tabela 11 e Gráfico 4, são apresentados os resultados para o segundo indicador econômico, a

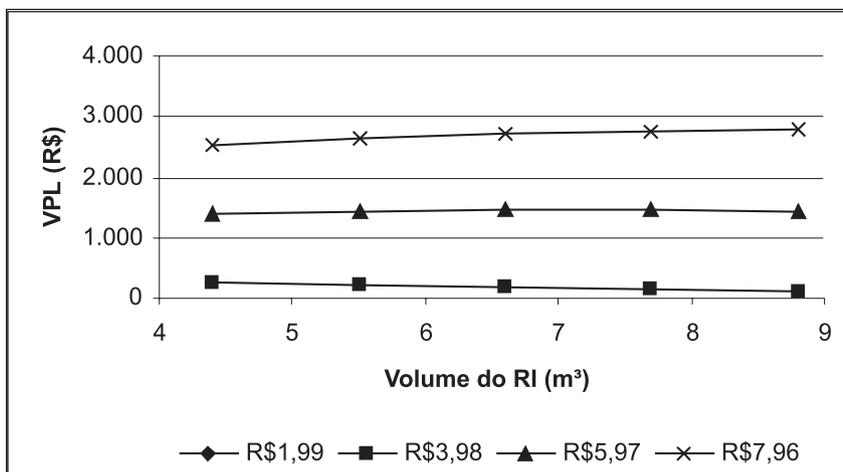
relação B/C. Observa-se que esta relação sofre pouca variação para os diferentes volumes do reservatório de acumulação. No atual cenário de tarifas, a relação B/C foi sempre menor que zero, o que evidencia a não-viabilidade econômica do sistema. Para todos os cenários de cobrança de tarifa, o maior valor obtido foi para o reservatório de 4,4m<sup>3</sup>, sendo igual a 0,51, 1,13, 1,76 e 2,38 para tarifas de R\$ 1,99/m<sup>3</sup>, R\$ 3,98/m<sup>3</sup>, R\$ 5,97/m<sup>3</sup> e R\$ 7,96/m<sup>3</sup>, respectivamente. Observa-se ainda que o valor desta relação aumenta à medida que o volume do reservatório de acumulação diminui e a tarifa de água tende a aumentar.

Os resultados do terceiro indicador econômico, período de retorno (PR), são apresentados na Tabela 12 e no Gráfico 5. No cenário atual de tarifa, o PR do investimento ultrapassa a vida útil do projeto, para todos os volumes do reservatório de acumulação, sendo o melhor resultado 92,96 anos, encontrado para o reservatório de 4,40m<sup>3</sup>. Para os demais cenários de cobrança de tarifa, o melhor indicador foi obtido também para os reservatórios de 4,4m<sup>3</sup>, sendo igual a 13,68, 6,19 e 4,09 anos, para tarifas

**Tabela 10 – Valor Presente Líquido para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Popular**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 1,99/m <sup>3</sup>	R\$ 3,98/m <sup>3</sup>	R\$ 5,97/m <sup>3</sup>	R\$ 7,96/m <sup>3</sup>
8,80	-1.205,81	121,74	1.449,30	2.776,85
7,70	-1.128,30	164,68	1.457,66	2.750,63
6,60	-1.051,94	198,85	1.449,65	2.700,44
5,50	-975,05	226,10	1.427,25	2.628,41
4,40	-898,37	242,59	1.383,55	2.524,51

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



**Gráfico 3 – VPL para o Padrão Popular**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

de R\$ 1,99/m<sup>3</sup>, R\$ 3,98/m<sup>3</sup>, R\$ 5,97/m<sup>3</sup> e R\$ 7,96/m<sup>3</sup>, respectivamente. À medida que o volume do reservatório diminui e a tarifa aumenta, o PR diminui.

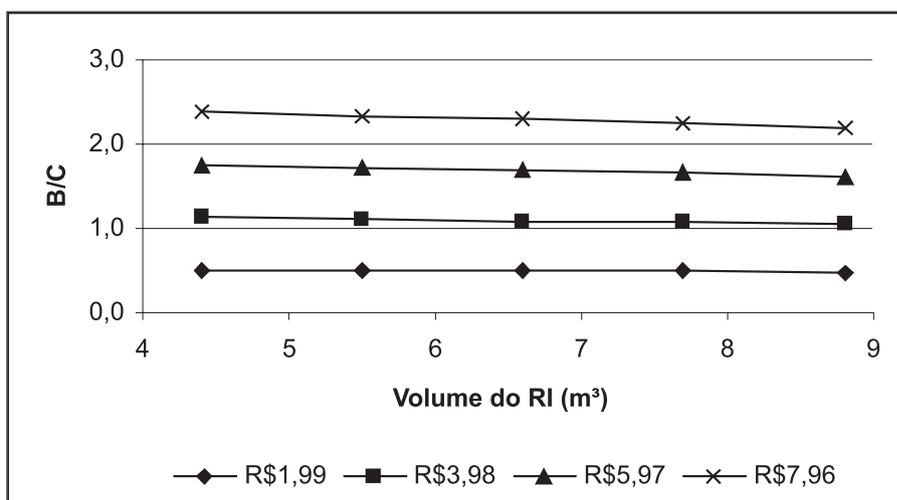
Os resultados da análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva para o padrão médio de residências são apresentados nas Tabelas 13, 14 e 15 e nos Gráficos 6, 7 e 8.

Analogamente ao que acontece no atual cenário de tarifas do padrão popular de residências, o VPL foi sempre negativo, denotando a não-viabilidade econômica da alternativa. Para o dobro da cobrança de tarifa (cenário 2), o VPL tende a aumentar à medida que o volume do reservatório aumenta. O maior valor encontrado neste cenário foi igual a R\$ 2.879,12 (dois mil oitocentos e setenta e nove reais e doze centavos) para o reservatório

**Tabela 11 – Benefício/Custo para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Popular**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 1,99/m <sup>3</sup>	R\$ 3,98/m <sup>3</sup>	R\$ 5,97/m <sup>3</sup>	R\$ 7,96/m <sup>3</sup>
8,80	0,48	1,05	1,62	2,20
7,70	0,49	1,07	1,66	2,25
6,60	0,50	1,10	1,69	2,29
5,50	0,50	1,12	1,73	2,34
4,40	0,51	1,13	1,76	2,38

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



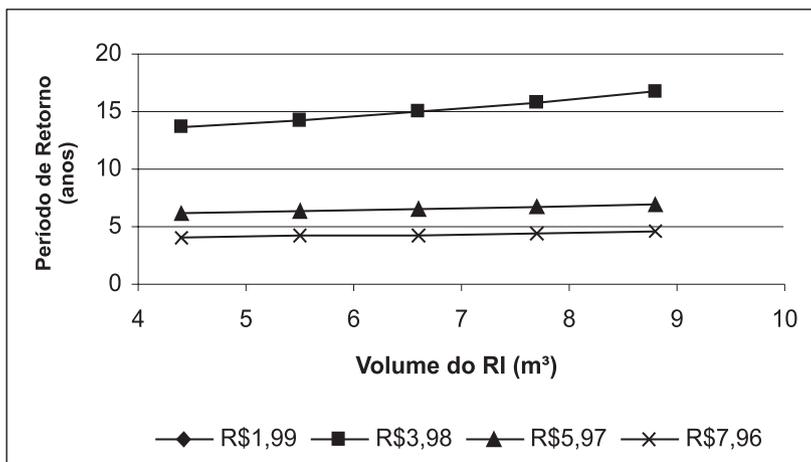
**Gráfico 4 – Razão B/C para o Padrão Popular**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 12 – Período de Retorno para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Popular**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 1,99/m <sup>3</sup>	R\$ 3,98/m <sup>3</sup>	R\$ 5,97/m <sup>3</sup>	R\$ 7,96/m <sup>3</sup>
8,80	101,58	16,74	6,95	4,55
7,70	98,77	15,73	6,74	4,42
6,60	96,41	14,92	6,54	4,30
5,50	94,38	14,23	6,35	4,19
4,40	92,96	13,68	6,19	4,09

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



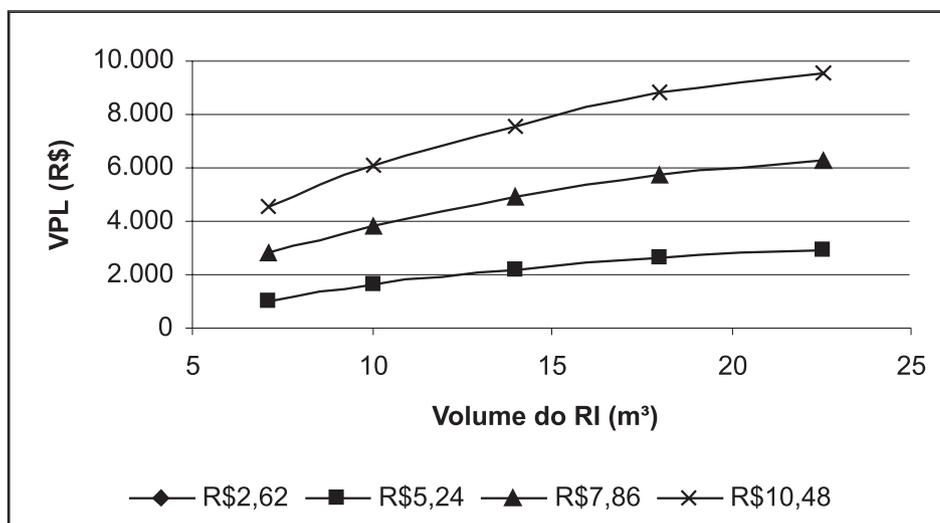
**Gráfico 5 – PR para o Padrão Popular**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 13 – Valor Presente Líquido para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Médio**

Volume (m³)	R\$ 2,62/m³	R\$ 5,24/m³	R\$ 7,86/m³	R\$ 10,48/m³
22,55	-474,01	2.879,12	6.232,25	9.585,37
18,00	-420,43	2.658,57	5.737,57	8.816,57
14,00	-491,05	2.201,21	4.893,46	7.585,72
10,00	-599,09	1.631,13	3.861,35	6.091,57
7,10	-758,03	1.020,25	2.798,53	4.576,82

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



**Gráfico 6 – Valor presente Líquido para o Padrão Médio**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

de 22,55m³. Para os cenários 3 (R\$ 7,86/m³) e 4 (R\$ 10,48/m³), este indicador também aumenta à medida que o volume do reservatório aumenta. O maior VPL no

cenário 3 é de R\$ 6.232,25 e, para o quarto cenário, de R\$ 9.585,37, ambos para reservatórios de 22,55 m³.

Os resultados da relação B/C para o padrão médio de residências é apresentado na Tabela 14 e no Gráfico 7.

Observa-se que, para todos os cenários de cobrança de tarifa, a razão B/C foi maior para maiores volumes do reservatório de acumulação, sofrendo uma pequena variação para os reservatórios de 18,00 m<sup>3</sup> e 22,55m<sup>3</sup>. No atual cenário de tarifas, a relação B/C foi sempre menor que zero, o que evidencia a não-viabilidade econômica do sistema. O maior valor obtido foi para os reservatórios de 18,00m<sup>3</sup>, sendo igual a 0,87, 1,81, 2,75 e 3,69 para tarifas de R\$ 2,62/m<sup>3</sup>, R\$ 5,24/m<sup>3</sup>, R\$ 7,86/m<sup>3</sup> e R\$ 10,48/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Os resultados do PR para o padrão médio são apresentados na Tabela 15 e no Gráfico 8.

Os resultados do terceiro indicador econômico, PR, para o padrão médio de residências são apresentados na Tabela 15 e no Gráfico 8. No cenário atual de tarifa,

o PR do investimento ultrapassa a vida útil do projeto para todos os volumes do reservatório de acumulação, sendo o melhor resultado, 31,39 anos, encontrado para o reservatório de 18,00m<sup>3</sup>. Para os demais cenários de cobrança de tarifa, o melhor indicador também foi obtido para os reservatórios de 18,00m<sup>3</sup>, sendo igual a 5,92, 3,42 e 2,42 anos, para tarifas de R\$ 5,24/m<sup>3</sup>, R\$ 7,86/m<sup>3</sup> e R\$ 10,48/m<sup>3</sup>, respectivamente.

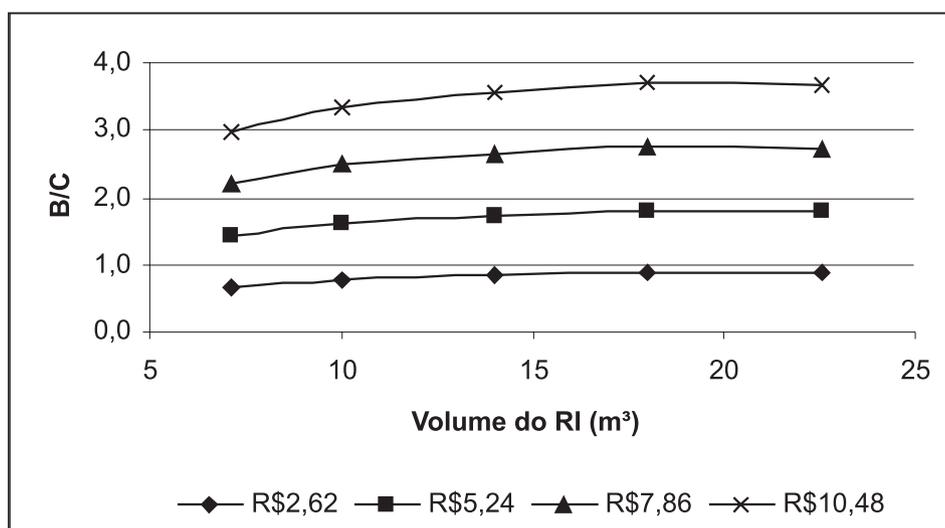
Os resultados da análise econômica para o sistema de aproveitamento de água de chuva para o padrão alto de residências são apresentados nas Tabelas 16, 17 e 18 e nos Gráficos 9, 10 e 11, a seguir.

Para o atual cenário de tarifas e padrão alto de residências, o VPL é, diferentemente dos padrões popular e médio, positivo, porém, apresentando baixo valor máximo (R\$ 1.469,35). Analisando a Tabela 16 e o Gráfico 9, observa-se que, para todos os cenários de

**Tabela 14 – Benefício/Custo para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Médio**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 2,62/m <sup>3</sup>	R\$ 5,24/m <sup>3</sup>	R\$ 7,86/m <sup>3</sup>	R\$ 10,48/m <sup>3</sup>
22,55	0,87	1,80	2,73	3,66
18,00	0,87	1,81	2,75	3,69
14,00	0,83	1,74	2,65	3,56
10,00	0,77	1,63	2,48	3,33
7,10	0,67	1,44	2,21	2,97

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



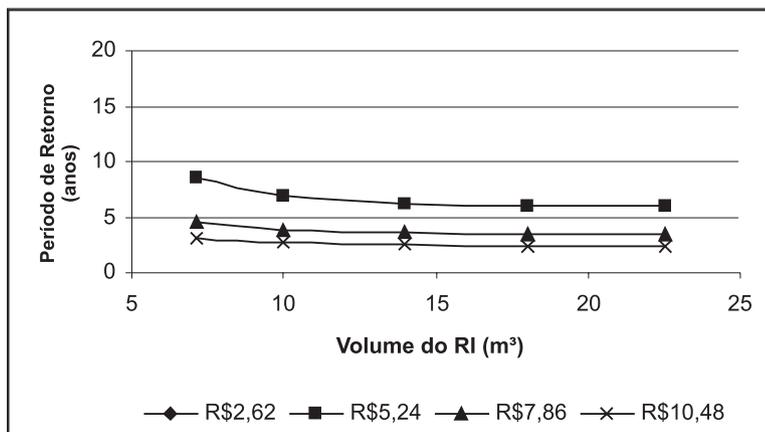
**Gráfico 7 – Razão B/C para o Padrão Médio**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 15 – Período de Retorno para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Médio**

Volume (m³)	R\$ 2,62/m³	R\$ 5,24/m³	R\$ 7,86/m³	R\$ 10,48/m³
22,55	31,41	5,97	3,46	2,44
18,00	31,09	5,92	3,42	2,42
14,00	34,98	6,26	3,58	2,52
10,00	42,46	6,95	3,88	2,72
7,10	56,63	8,46	4,52	3,09

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



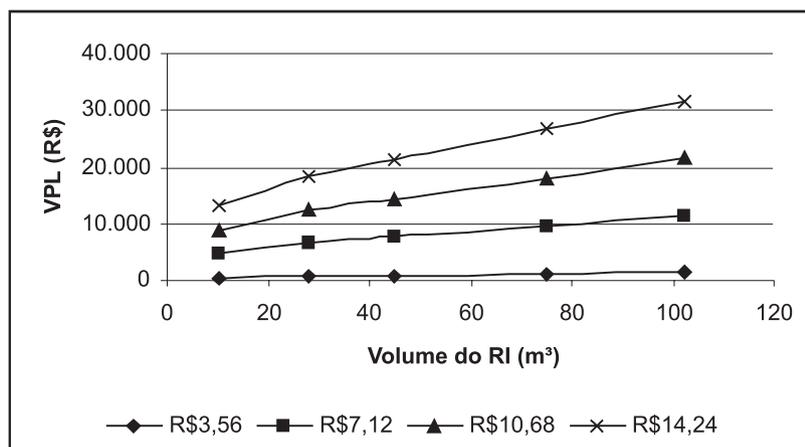
**Gráfico 8 – PR para o Padrão Médio**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 16 – Valor Presente Líquido para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Alto**

Volume (m³)	R\$ 3,56/m³	R\$ 7,12/m³	R\$ 10,68/m³	R\$ 14,24/m³
102,29	1.469,35	11.513,38	21.557,42	31.601,46
75,00	1.069,23	9.604,14	18.139,06	26.673,97
45,00	778,39	7.598,90	14.419,41	21.239,92
28,00	763,55	6.591,76	12.419,96	18.248,17
10,37	493,52	4.729,03	8.964,53	13.200,04

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



**Gráfico 9 – VPL para o Padrão Alto**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

cobrança de tarifas, o VPL tende a aumentar à medida que o volume do reservatório aumenta. Para os cenários de cobrança de tarifa de R\$ 7,12/m<sup>3</sup>, R\$ 10,68/m<sup>3</sup> e R\$ 14,24/m<sup>3</sup>, o VPL foi de R\$ 11.513,38 (onze mil quinhentos e treze reais e trinta e oito centavos), R\$ 21.557,42, R\$ 31.601,46, respectivamente, para reservatórios de acumulação com capacidade de 102,29m<sup>3</sup>.

Na Tabela 17 e Gráfico 10, são apresentados os resultados para o segundo indicador econômico para o padrão alto de residências e a relação benefício/custo.

Na Tabela 17 e Gráfico 10, observa-se que a relação B/C sofre pouca variação para os diferentes volumes do reservatório de acumulação. No atual cenário de tarifas, a relação B/C foi maior que zero, o que evidencia a viabilidade econômica do sistema. Para todos os cenários de cobrança de tarifa, o maior valor obtido para a relação foi encontrado para os reservatórios de

102,29m<sup>3</sup>, sendo igual a 1,18, 2,38, 3,59 e 4,79 para tarifas de R\$ 3,56/m<sup>3</sup>, R\$ 7,12/m<sup>3</sup>, R\$ 10,68/m<sup>3</sup> e R\$ 14,24/m<sup>3</sup>, respectivamente.

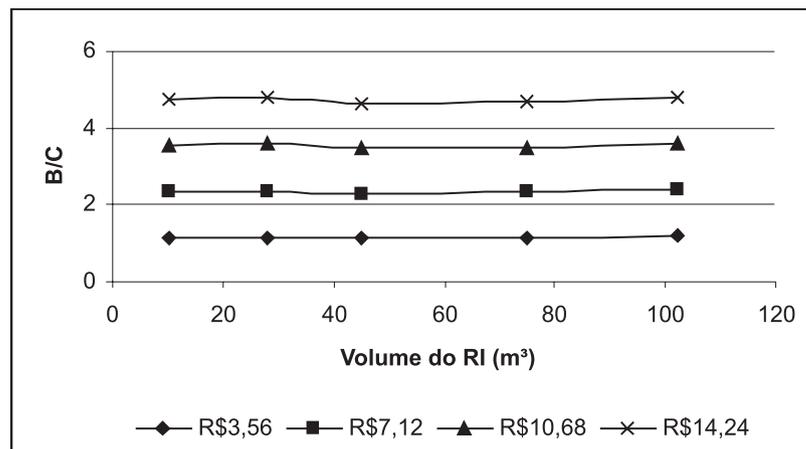
Na Tabela 18 e no Gráfico 11 são apresentados os resultados do PR para residências de padrão alto.

Os resultados para o PR são apresentados na Tabela 18 e no Gráfico 11. No atual cenário de tarifa, o PR do investimento é menor do que a vida útil do projeto, para todos os volumes do reservatório de acumulação, o que evidencia a viabilidade do sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais. Neste cenário, o melhor resultado obtido, 12,52 anos, foi para reservatórios de acumulação de 102,29m<sup>3</sup>. Para os demais cenários de cobrança de tarifa, o melhor indicador também foi obtido para os reservatórios de 102,29m<sup>3</sup>, sendo igual a 4,08, 2,5 e 1,8 anos, para tarifas de R\$ 7,12m<sup>3</sup>, R\$ 10,68m<sup>3</sup> e R\$ 14,24m<sup>3</sup>, respectivamente.

**Tabela 17 – Benefício/Custo para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Alto**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 3,56/m <sup>3</sup>	R\$ 7,12/m <sup>3</sup>	R\$ 10,68/m <sup>3</sup>	R\$ 14,24/m <sup>3</sup>
102,29	1,18	2,38	3,59	4,79
75,00	1,15	2,33	3,51	4,69
45,00	1,13	2,31	3,49	4,66
28,00	1,16	2,37	3,57	4,78
10,37	1,14	2,35	3,56	4,76

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



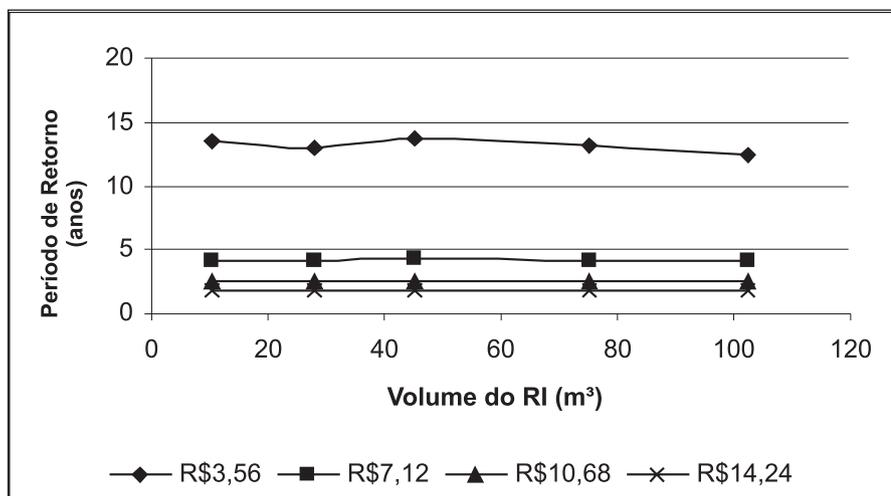
**Gráfico 10 – Razão B/C para o Padrão Alto**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

**Tabela 18 – Período de Retorno para Alguns Valores Possíveis do Reservatório de Acumulação de Água de Chuva em Diferentes Cenários de Tarifas para o Padrão Alto**

Volume (m <sup>3</sup> )	R\$ 3,56/m <sup>3</sup>	R\$ 7,12/m <sup>3</sup>	R\$ 10,68/m <sup>3</sup>	R\$ 14,24/m <sup>3</sup>
102,29	12,52	4,08	2,50	1,80
75,00	13,24	4,21	2,56	1,84
45,00	13,64	4,26	2,58	1,85
28,00	12,96	4,12	2,51	1,80
10,37	13,45	4,16	2,52	1,81

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.



**Gráfico 11 – PR para o Padrão Alto**

Fonte: Elaboração Própria dos Autores.

## 4 – CONCLUSÕES

Para o atual cenário de tarifas, as economias obtidas com a utilização de águas pluviais não foram suficientes para cobrir os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas para os padrões popular e médio de residências, sendo economicamente viável apenas para o padrão alto.

No entanto, para cenários futuros de tarifas, o aproveitamento de água de chuva em residências é alternativa economicamente viável, qualquer que seja o padrão de residências.

Para o padrão popular, reservatórios de acumulação com capacidade reduzida, resultam em maiores razões benefício/custo e menores períodos de retorno. Já o VPL tende a aumentar à medida que maiores volumes de água de chuva são utilizados. Considerando os prováveis aumentos que a água sofrerá nos próximos anos, se quisermos recuperar o dinheiro investido no sistema em menos tempo, a melhor opção é construir reservatórios com capacidade reduzida, mas se pensarmos em longo

prazo, reservatórios com maiores capacidades de armazenamento nos darão um maior retorno do investimento financeiro.

Para o padrão médio de residências, reservatórios com volumes de acumulação intermediários (18m<sup>3</sup>), resultam em maiores razões benefício/custo e menores períodos de retorno. Em cenários futuros, os maiores VPL alcançados são para volumes maiores dos reservatórios de acumulação.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais foi viável economicamente para todos os cenários de cobrança de tarifas do padrão alto de residências. Isso decorre da maior demanda por águas não-potáveis. Para este padrão, reservatórios com maiores capacidades de armazenamento fornecem um maior retorno do investimento financeiro para qualquer que seja o cenário da cobrança de tarifas.

Embora não se tenham indicadores econômicos atrativos para o cenário atual de cobrança de tarifas para os padrões popular e médio, deve-se considerar que os possíveis aumentos que a água sofrerá nos próximos

anos irão diminuir o período de retorno e aumentar o benefício/custo e o VPL.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio através do auxílio de bolsa de mestrado (MCT/Fundo Setorial de Recursos Hídricos CT-Hidro).

## Abstract

The potable water scarcity is one of the main worries of the manhood in this current century. Thus, it is necessary to reduce the water per capita consumption. Among the actions that promote the rational use of water, the technological ones seem to be, in many cases, the most recommended to reduce the water consumption without being necessary to have radical changes on the user's behavior. Among them, the use of rainwater seems to be an action with good perspectives since it substitutes the use of potable water in activities in which the water quality is not necessary. The diffusion of the systems of rain water utilization in residences depends, amongst other things, on the economic viability of its implantations. Although it is a proposal sufficiently attractive from the environmental point of view, it is important to observe that the substitution of drinking water distributed by the sanitation concessionaires for rain water in residences will only be spread out in case this alternative is economically viable. The main objective of this paper is study the economical evaluation of the implantation of for the rain water systems utilization in residences in João Pessoa – PB. The obtained results show that the analyzed systems are lucrative, however they are not economically viable for the popular and middle socio-economical standards in the current scene of taxes collection. For the high socio-economical standard the systems were viable even for the current tax practised.

## Key words:

Rainwater; Catchments; Water-consumption per capita; Non-Potable water; Water tax; Water-Rational Use.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE.  
**Rede Hidroclimatológica do Nordeste:** pluviometria.

Disponível em: <<http://www.adene.gov.br/ixpress/pluviometria/plv/index.dml>>. Acesso em: 7 fev. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 2 maio 2006.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Brasil). **Saneamento ambiental e recursos hídricos.** Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/social/saneamento.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DA PARAÍBA. **Saneamento.** Disponível em: <<http://www.cagepa.pb.gov.br/index.shtml>>. Acesso em: 18 set. 2006.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento:** análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GONÇALVES, R. F. et al. **Potencial de uso não potável da água de chuva em edificações na região metropolitana de Vitória – ES.** In: SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 6., 2005, Vitória. **Anais...** Vitória: ABES, 2005. CD-ROM.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias.** LDC, 1999.

OLIVEIRA, J. I.; LUCAS FILHO, M. L. Caracterização do consumo per capita de água na cidade do Natal: uma análise socioeconômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003. CD-ROM.

QUERIDO, J. G. Caracterização da “cota per capita” de consumo de água de abastecimento público em função da classe social consumidora. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABES, 2000. CD-ROM.

RAMOS, B. F. OS, D. A. Análises de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água

de chuva para fins não potáveis em residências unifamiliares. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUL-SUDESTE, 1., 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2006. CD-ROM.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E.  
**Caracterização e monitoramento do consumo predial de água.** Brasília, DF: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. (Documento Técnico de Apoio E1).

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

\_\_\_\_\_. **Conservação da água.** São Paulo: Parma, 1998.

\_\_\_\_\_. **Previsão de consumo de água:** interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000.

---

Recebido para publicação em 04.04.2007.