

Autorização concedida a Biblioteca Central da Universidade de Brasília pelo Professor Daniel Richard Sant'Ana, em 24 de abril de 2021, para disponibilizar a obra, gratuitamente, de acordo com a licença conforme permissões assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da obra. A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

REFERÊNCIA

SANT'ANA, Daniel Richard; MEDEIROS, Lídia Batista P. **Reúso-DF**: análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de água cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal: relatório técnico 2/2016. Brasília: Universidade de Brasília, 2016. 43 p.

Reúso-DF

Análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de água cinzas em edificações residenciais do Distrito Federal

RELATÓRIO TÉCNICO 2/2016

Relatório técnico apresentado para a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal Convênio ADASA/UnB – DODF: 197.000.977/2015

Autoria
Daniel Richard Sant’Ana
Lídia Batista P. Medeiros

Dezembro de 2016



Universidade de Brasília

Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico

Coordenação: Daniel Richard Sant'Ana

Pesquisadores: Bruna Valverde de Morais
Claudiana Lopes Maciel
Jamil Tancredi Israel de Lima
Juliana Bona de Faria
Karla Cristina Ferreira Alvares
Lídia Batista P. Medeiros
Maiara Bezerra de Luz
Marco Antonio Almeida de Souza
Pierre Mazzega Ciamp
Susanna Almeida dos Santos

Apoio Técnico: Francisco Neto da Silva Junior
Valmor Pazos

Sumário

Apresentação	2
1. Introdução	4
2. Metodologia.....	7
2.1. Composição de modelos representativos	7
2.2. Análise de viabilidade técnica.....	7
2.3. Análise de viabilidade ambiental	8
2.4. Análise de viabilidade econômica.....	9
3. Composição de Modelos Representativos	11
3.1. Renda familiar.....	11
3.2. Número de Moradores	11
3.3. Tipologia residencial.....	12
3.4. Demanda de água.....	13
3.4.1. Consumo predial.....	13
3.4.2. Usos finais de água	15
4. Análise de Viabilidade Técnica	18
4.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais	20
4.2. Sistemas de reúso de águas cinzas	21
5. Análise de Viabilidade Ambiental.....	24
5.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais	24
5.2. Sistemas de reúso de águas cinzas	28
6. Análise de Viabilidade Econômica.....	30
6.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais	30
6.2. Sistemas de reúso de águas cinzas	34
7. Conclusões e recomendações	38
Referências Bibliográficas.....	40

Lista de Tabelas

Tabela 1: Vida útil de componentes hidráulicos.....	9
Tabela 2: Renda média por Região Administrativa.....	11
Tabela 3: Tipologias residenciais por faixas de renda.....	12
Tabela 4: Usos finais do consumo interno por faixa de renda.....	17
Tabela 5: Usos finais do consumo externo por faixa de renda.....	17
Tabela 6: Potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais.	27
Tabela 7: Potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas.	28
Tabela 8: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda alta.	31
Tabela 9: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-alta.	32
Tabela 10: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa.	32
Tabela 11: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda baixa.	33
Tabela 12: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda alta.	36
Tabela 13: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-alta.....	36
Tabela 14: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-baixa.....	37
Tabela 15: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda baixa.....	37

Lista de Figuras

Figura 1: Consumo médio mensal de água e umidade relativa	14
Figura 2: Diagrama de dispersão do consumo per capita	14
Figura 3: Consumo per capita médio por faixa de renda familiar	15
Figura 4: Usos-finais do consumo interno.....	15
Figura 5: Coluna de água independente (a) que permite fácil adaptação predial; e coluna de água ramificada (b) que necessita de reforma predial para o uso não potável de água.	20
Figura 6: Possíveis adaptações prediais para a coleta de águas cinzas.....	22
Figura 7: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda alta.....	24
Figura 8: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-alta...	25
Figura 9: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-baixa.	25
Figura 10: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda baixa.....	26

Apresentação

Aproveitar a água da chuva de telhados ou até mesmo reutilizar água do enxague de máquinas de lavar roupa para molhar jardins e lavar pisos, é uma prática comum que vem sendo realizada há anos em muitas residências brasileiras de maneira rústica, como alternativa para reduzir os gastos com a conta de água. No desenrolar das últimas duas décadas, houve um aumento na procura e na oferta de sistemas hidráulicos que facilitem o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em diversos usos não-potáveis nas mais variadas tipologias de edificações. No Brasil, a comercialização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas iniciou-se no começo dos anos 2000 e, mesmo com uma viabilidade ainda não-comprovada, observamos, a cada ano, edificações implementando estes sistemas prediais de água não-potável em prol da sustentabilidade. Dessa maneira, surge um novo modelo de abastecimento descentralizado no país, que faz uso de fontes alternativas de água em usos não-potáveis. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas são capazes de promover reduções significativas no consumo predial e de garantir um abastecimento contínuo nas principais atividades consumidoras de água em caso de cortes no abastecimento público - como foi observado na crise hídrica de 2014 que assolou a região sudeste do país. Esta medida, tomada em larga escala, é capaz de reduzir os impactos gerados pela exploração de recursos hídricos. Se de um lado, a prática do aproveitamento e do reúso de água é impulsionada por questões relativas à baixa disponibilidade hídrica e pelo constante aumento na demanda por água, de outro lado, seus custos de investimento podem gerar uma barreira para sua implementação.

Apesar da ausência de incentivos fiscais e econômicos para subsidiar uma rápida disseminação destas tecnologias, o poder legislativo e os órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) vêm apresentando uma série de leis e resoluções que estimulam, direta ou indiretamente, o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de água em edificações. Como por exemplo, a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que oferece um respaldo legal para a prática do reúso de água no ambiente construído. Ou no caso do Distrito Federal, com Leis Distritais que tornam obrigatório a captação, armazenamento e utilização das águas pluviais em novas construções urbanas para a concessão de habite-se.

Com isso, gestores públicos vêm direcionando sua atenção a essa nova realidade com o intuito de avaliar o nível de contribuição que estas tecnologias são capazes de promover nos serviços de saneamento e na gestão sustentável de recursos hídricos. O sucesso destes sistemas depende, não apenas de fatores econômicos, mas também da saúde e bem-estar de usuários, que está diretamente ligada aos critérios de segurança e qualidade de água, operação e manutenção do sistema hidráulico. Em prática, observa-se que proprietários, empreiteiros, projetistas e gestores prediais têm tido relativamente pouca orientação sobre os cuidados necessários para o aproveitamento de águas pluviais e para o reúso de águas cinzas em edificações, o que dificulta a tomada de decisões sobre a seleção e concepção dos sistemas, podendo levar, à sua rejeição ou a uma instalação predial inadequada.

Este documento é o segundo de uma série de relatórios resultantes do projeto de pesquisa *Reúso-DF*, fruto de um convênio entre a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal – ADASA e a Universidade de Brasília – UnB, que busca verificar a viabilidade de sistemas prediais voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias edilícias do Distrito Federal. O projeto de pesquisa *Reúso-DF* está dividido em duas fases para uma análise de viabilidade de diferentes sistemas prediais de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em diversas tipologias de edificações urbanas, categorizadas de acordo com sua função:

- **Fase I: Edificações Residenciais**
 - Edificações Residenciais Unifamiliares
 - Edificações Residenciais Multifamiliares

- **Fase II: Edificações Não-Residenciais**
 - Edificações Hoteleiras
 - Edificações Comerciais
 - Edificações de Escritórios
 - Edificações de Ensino
 - Edificações de Saúde
 - Edificações de Transporte
 - Edificações Industriais

Os resultados desta pesquisa servirão de respaldo para regulamentação e uma possível normatização desta prática, apresentando subsídios técnicos para a construção de uma política pública voltada à gestão da demanda urbana de água, desenvolvimento de um guia de boas-práticas e ferramentas *online* que possam auxiliar a população geral na tomada de decisões para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

Dentro deste contexto, este relatório técnico apresenta resultados parciais da primeira fase do projeto *Reúso-DF*, que tem como objetivo analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e de reúso de águas cinzas (RAC) em edificações residenciais do Distrito Federal.

Água pluvial, ou água de chuva, é um recurso renovável que abastece, direta ou indiretamente, reservatórios, rios e aquíferos com água doce. O aproveitamento de águas pluviais é um conceito simples, que, ao invés de deixar escoar, a água da chuva captada por uma superfície impermeável é armazenada e utilizada como fonte alternativa de abastecimento. O termo ‘reúso’ ou ‘reutilização’ é popularmente usado para expressar o aproveitamento de águas pluviais em edificações. Porém, é importante ressaltar que águas pluviais não são submetidas ao reúso, pois ainda não foram utilizadas. Em função da qualidade da água, este projeto tem foco na captação de águas pluviais de coberturas para aproveitamento em usos não-potáveis.

Águas cinzas são efluentes gerados nos processos de limpeza e lavagem. O reúso de águas cinzas é um conceito que está relacionado ao reaproveitamento de efluentes domésticos com baixo grau de contaminação, provenientes de chuveiros, lavatórios e lavanderia. Efluentes de pias de cozinha e máquinas de lavar louças contém um alto índice de carga orgânica de restos de comida e de gordura, o que exige um tratamento elevado para seu reúso – o mesmo tipo de tratamento voltado para o reúso de águas residuárias. Portanto, os efluentes dessas fontes foram desconsiderados para análise, por fugir do escopo da pesquisa. Este relatório não contém informações relativas ao tratamento de águas residuárias para reúso não-potável.

O estudo tem como foco para análise, sistemas AAP e RAC descentralizados, que realizam o aproveitamento de águas pluviais ou de reúso de águas cinzas a nível da edificação, e desconsidera sistemas centralizados de grande escala – estações de tratamento para abastecimento público. Vale a pena ressaltar que águas pluviais e águas cinzas, podem passar por processos de tratamento de água capazes de alcançar níveis de potabilidade para consumo humano segundo critérios estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Porém, dadas as restrições estabelecidas pela Lei Federal nº 11.445/2007, que proíbe a ligação de fontes alternativas de abastecimento de água em instalações prediais urbanas conectadas à rede pública, este relatório não aborda esta temática.

Esta investigação, de caráter imparcial, não pretende recomendar ou desacreditar qualquer tipo de sistema em particular, mas sim, de fornecer informações e orientações gerais para apoiar na tomada de decisões voltadas para a regulamentação da prática do aproveitamento de águas pluviais e do reúso de águas cinzas.

1. Introdução

O Distrito Federal vivenciou uma crise hídrica sem precedentes em sua história. A seca de 2016 reduziu drasticamente os níveis dos principais reservatórios do Distrito Federal, fazendo com que a Barragem do Descoberto, que abastece cerca de 65% da região, chegasse a menos de 20% de sua capacidade (ADASA, 2016). Como uma medida emergencial, iniciou-se um regime de racionamento por rodízio de abastecimento em algumas regiões do Distrito Federal e de reestruturação tarifária por contingência fiscal até que se alcance um nível satisfatório de água nos reservatórios para garantir a segurança hídrica da região (CAESB, 2016). Estas medidas de curto prazo, são paliativas ao verdadeiro problema sendo enfrentado. A realidade, é que o Distrito Federal apresenta uma disponibilidade hídrica limitada para sua crescente demanda por água.

Nos últimos anos, a concessionária vem operando no limite de sua capacidade de produção, sem margem de segurança. Evidentemente, qualquer aumento drástico no consumo de água ou redução significativa no regime de chuva, pode gerar um colapso em partes do sistema público de abastecimento. Ao atingir níveis preocupantes, grandes investimentos estão sendo realizados para a construção de novos sistemas produtores de água, elevando cada vez mais o volume de extração de água dos recursos hídricos locais. Para atender às necessidades da crescente demanda urbana, a concessionária local está promovendo a construção de novos sistemas produtores para captação de água no Ribeirão Bananal, Lago Paranoá e na Usina Hidroelétrica Corumbá IV (CAESB, 2014).

Observa-se, entretanto, que a gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal está focada em uma abordagem voltada para a oferta de água. Ou seja, na medida em que a demanda cresce, novas fontes hídricas são exploradas para suprir o consumo urbano de água. Está comprovado que a gestão focada apenas na exploração de fontes hídricas pode resultar em sérios danos ambientais e desperdício econômico de custo capital e operacional de novos sistemas produtores de água (HERRINGTON, 2006). Além de agredir o meio ambiente, a exploração de novas mananciais, cada vez mais distantes para atender demandas crescentes, geram custos adicionais à sociedade e às empresas de saneamento, elevando o volume de captação, tratamento e distribuição de água e pressionando o sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Torna-se imprescindível, neste momento, apresentar novas definições regulatórias para estimular a conservação de água pelo emprego de medidas que auxiliem o controle da demanda de água. Além de reduzir os impactos ambientais causados pela exploração de recursos naturais, estratégias conservadoras de água são capazes de minimizar a pressão em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, além de gerar economias relativas aos seus custos operacionais. Porém, com o intuito de subsidiar o processo de tomada de decisão regulatória, torna-se necessário analisar os prováveis benefícios, custos e efeitos de diferentes estratégias de conservação de água.

Segundo VICKERS (2001, p.5), estratégias de conservação de água são compostas por “*ferramentas específicas (tecnologias) e práticas (alteração do comportamento)... que resultam no uso mais eficiente da água*”. A autora argumenta que o emprego de tecnologias voltadas a conservação de água geralmente são mais confiáveis para a obtenção de economia e controle sobre a demanda de água. Experiências internacionais demonstram que tecnologias voltadas ao uso não potável de água são capazes de promover reduções significativas no consumo de água em edificações, atuando como ferramentas de gestão no controle da demanda urbana de água (DIXON *et al.*, 1999; YANG e ABBASPOUR, 2007).

Sistemas prediais de água não potável fazem uso de fontes alternativas de água promovendo um abastecimento alternativo em usos que não oferecem riscos à saúde humana em edificações. Dentre diferentes fontes alternativas para abastecimento não potável, destacam-se as águas pluviais e as águas cinzas. Em geral, o aproveitamento de água pluvial é um conceito simples, que envolve a coleta, o armazenamento e o uso da água de chuva como uma fonte complementar de abastecimento predial. Já o reúso de águas cinzas, é um conceito que está relacionado à reutilização de efluentes domésticos

com baixo grau de contaminação, como uma alternativa conservacionista para a redução do consumo de água potável em edificações.

Porém, segundo De Oreo *et al.* (1996), a avaliação do desempenho de diferentes estratégias de conservação de água é dependente da compreensão dos usos finais do consumo de água. Embora uma variedade de estudos foi realizada em relação ao consumo doméstico de água e sua conservação nas edificações residenciais (LOH *et al.*, 2002; THACKRAY *et al.*, 1978; WEBSTER, 1972; ZHANG & BROWN, 2005), nenhum deles incorporou uma análise socioeconômica dos usos-finais do consumo doméstico de água entre as diferentes tipologias residenciais. No Brasil, a caracterização dos usos-finais do consumo doméstico de água ainda está na sua infância e dados generalizáveis ainda não foram produzidos. Um estudo analisou um apartamento de baixa renda em São Paulo (ROCHA *et al.*, 1998), outro estimou os usos-finais do consumo de água para duas casas (GHISI e FERREIRA, 2007) e três prédios residenciais (GHISI e OLIVEIRA, 2007) no sul do país, e Barreto (2008) realizou medições em sete residências em São Paulo com faixa de consumo mensal entre 15-20m³/mês.

Observa-se uma carência de dados específicos para os usos-finais do consumo doméstico de água para residências de baixa, média e alta renda para as diferentes tipologias residências brasileiras. Existe também, uma falta de informação em relação ao consumo doméstico de água e as características tipológicas residenciais brasileiras. Segundo Vieira *et al.* (2007, p. 193), usos-finais do consumo de água podem variar de “país para país, de uma região para outra região e até mesmo de uma residência para outra”. Para tanto, torna-se imprescindível buscar dados referentes à realidade local, especialmente das tipologias residenciais atípicas encontradas em Brasília.

Internacionalmente, a caracterização dos usos-finais do consumo doméstico de água possibilitou uma série de investigações sobre o potencial de redução do consumo de água de uma série de estratégias conservadoras de água e os custos-benefícios envolvidos (MADDAUS, 1984; GRIGGS *et al.*, 1998; ENVIRONMENT AGENCY, 2000; MAYER *et al.*, 2004; PATTERSON, 2004). No Brasil, os estudos realizados até hoje têm sido limitados à economia de água gerada utilizando sistemas de aproveitamento de águas pluviais (GHISI, 2006; JÚNIOR *et al.*, 2008) e de águas cinzas (GHISI & FERREIRA, 2007; GHISI & OLIVEIRA, 2007) no setor residencial.

Ao considerar a possibilidade de adaptar o estoque de edificações residenciais existentes em Brasília para o aproveitamento de água pluvial ou o reúso de águas cinzas como fonte alternativa de abastecimento de água não potável, torna-se imprescindível uma avaliação técnica, econômica e ambiental para averiguar sua viabilidade. Diferentes estudos em países desenvolvidos avaliaram os custos e benefícios para diferentes sistemas prediais de água não potável (*ex.* MUSTOW *et al.*, 1997; BREWER *et al.*, 2001; ROEBUCK *et al.*, 2010). No entanto, esses países contêm uma realidade econômica favorável, diferente a de países em desenvolvimento. No Brasil, estudos verificaram o período de retorno de investimento (*payback*) de sistemas voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para duas casas e três edifícios residenciais no Sul do país. Outro estudo realizou uma análise custo-benefício usando valor presente líquido para casas em João Pessoa (JÚNIOR *et al.*, 2008). No entanto, há uma carência de informações referentes à viabilidade econômica no que se diz respeito às possíveis adaptações hidráulicas de edifícios residenciais existentes para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, especialmente no que se refere à tipologia residencial típica de Brasília.

Tendo essas questões em mente, o principal objetivo desta pesquisa foi de analisar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e reúso de águas cinzas (RAC) em termos de adaptação predial, economia de água, relação custo-benefício e adaptação predial em diferentes tipologias residenciais de diferentes faixas de renda familiar no Distrito Federal. O estudo aprofundado tem por objetivos específicos:

- Compor modelos representativos baseado em médias estatísticas das principais variáveis do consumo de água de diferentes tipologias residenciais do Distrito Federal para análise de viabilidade de sistemas AAP e RAC;
- Realizar uma análise de viabilidade técnica voltada a adaptação predial de sistemas hidráulicos voltados ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas;

- Estimar os benefícios ambientais gerados pelo potencial de redução do consumo de água promovidos por sistemas AAP e RAC;
- Analisar a viabilidade econômica de diferentes sistemas AAP e RAC em termos do período de retorno de investimento (*payback*), valor presente líquido e custo incremental médio.

2. Metodologia

Com o intuito de atingir os objetivos traçados, esta pesquisa incorporou metodologias quantitativas e qualitativas para a coleta de dados primários das principais tipologias residenciais do Distrito Federal e, com isso, compor modelos representativos baseados em médias estatísticas para as análises de viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas.

2.1. Composição de modelos representativos

A fim de explorar a relação entre consumo doméstico de água, tipologia residencial e renda familiar, essa pesquisa incorporou abordagens metodológicas quantitativas e qualitativas para coleta de dados primários. A primeira abordagem fez uso de questionários capaz de reunir variáveis tipológicas, socioeconômicas e do consumo de água ao longo de uma amostragem aleatória estratificada de 481 residências. Dados relativos ao número de moradores, renda familiar, área construída, área verde, área de cobertura, instalações hidráulicas, amenidades de água, consumo predial, hábitos de consumo e equipamentos usados, auxiliaram na primeira etapa para a composição de modelos representativos das principais tipologias residenciais do DF. A segunda abordagem se apropriou de técnicas de auditoria hidráulica para realizar medições específicas dos usos finais de água em 125 residências. Um período de monitoramento de sete dias foi escolhido principalmente porque determinados hábitos de consumo de água tendem a ter um ciclo semanal com atividades relacionadas à faxina, como lavagem de roupas, lavagem de pisos e limpeza em geral.

Além de compor quatro modelos representativos para residências de renda alta, média-alta, média-baixa e baixa, o levantamento possibilitou um *benchmarking* do consumo doméstico de água, assim como a compreensão dos hábitos de consumo dos moradores e a identificação dos usos-finais do consumo doméstico de água para as diferentes faixas de renda do Distrito Federal e suas tipologias residenciais. Uma análise de correlação e regressão múltipla foi realizada, a fim de estimar a demanda do consumo interno de água em função do número de moradores, renda familiar, custo da água e área construída. Foi estimada também, a demanda do consumo externo de água como uma função do custo de água e área de jardim.

2.2. Análise de viabilidade técnica

Para a análise de viabilidade técnica, foi examinado diferentes possibilidades de adaptação predial voltada ao aproveitamento de águas pluviais e ao reúso de águas cinzas em casas e prédios de apartamentos. Com as informações coletadas referentes às diferentes composições hidráulicas das instalações prediais existentes de água fria, águas pluviais e esgoto sanitário, foram avaliadas diferentes possibilidades de adaptação predial para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas. Esta análise buscou soluções simples e eficazes, evitando grandes reformas prediais na instalação de sistemas isolados e sistemas integrados.

A avaliação para adaptação predial focou em examinar a composição hidráulica das redes coletoras de águas pluviais e esgoto sanitários, e das redes de distribuição de água existentes. No caso de sistemas isolados, que focam na distribuição de água não potável em usos externos (irrigação e lavagem de pisos), uma nova rede de tubulações pode ser facilmente instalada. Porém, sistemas integrados, que fazem a distribuição de água não potável em usos externos e internos (descarga sanitária e lavagem de roupas) podem exigir níveis elevados de reforma predial na rede de água fria. Para tanto, averiguou-se a possibilidade de adaptação predial por intervenções pontuais em nível de barrilete ou, no caso de prédios residenciais, em *shafts* da rede de água fria.

Para avaliar a adaptação predial de sistemas de aproveitamento de águas pluviais averiguou-se a existência de rede coletora de águas pluviais e possíveis adaptações para o desvio das águas captadas pela cobertura para tratamento e armazenagem. Para sistemas de reúso de águas cinzas, foi realizado uma vistoria da rede de esgoto sanitário, buscando identificar possíveis pontos de segregação de águas

cinzas, trechos distintos e, no caso de prédios residenciais, tubos de queda de esgoto secundário de lavanderia.

As características típicas das instalações hidráulicas prediais foram agregadas em um modelo representativo para servir de base na avaliação dos custos e benefícios financeiros de diferentes sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

2.3. Análise de viabilidade ambiental

A análise de viabilidade ambiental desta pesquisa está dividida em duas etapas. A primeira etapa, apresentada neste relatório, faz uma análise do potencial de redução do consumo de água predial baseada nos modelos representativos, na escala da edificação. A segunda etapa, a ser apresentada no terceiro relatório técnico, verifica o potencial de redução da demanda por água os benefícios ambientais gerados pela redução da exploração de recursos hídricos.

Com os dados primários referentes a número de moradores, área construída, área verde, área de cobertura e indicadores de usos finais internos e externos presentes nos modelos representativos de cada tipologia residencial, o potencial de redução do consumo de água dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas puderam ser estimados baseados em simulações de oferta e demanda de água.

Em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o volume de armazenamento do reservatório de retenção (cisterna) tem um papel fundamental nos custos e no potencial de redução do consumo de água. Para tanto, foram realizadas simulações baseadas em intervalos de tempo diários usando um modelo comportamental (Equação 1) com a regra operacional ‘uso após extravasão’ (*yield after spillage*) da Equação 2 para identificar as economias geradas por diferentes capacidades de reservatórios.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (1)$$

Sujeito a $0 \leq V_{t-1} \leq C$

V_t = Água pluvial armazenada no intervalo de tempo, t

V_{t-1} = Água pluvial armazenada no intervalo de tempo, $t-1$

Q_t = Oferta de água pluvial no intervalo de tempo, t

D_t = Demanda de água pluvial no intervalo de tempo, t

C = Capacidade de armazenamento

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad (2)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ C \end{array} \right.$$

Y_t = Coleta de água pluvial no intervalo de tempo, t

No que se diz respeito ao potencial de redução do consumo de água pelo reúso de águas cinzas, um balanço entre a oferta e a demanda de águas cinzas foi realizado, conforme resultados obtidos no levantamento dos usos-finais do consumo predial de água. Para sistemas comercialmente disponíveis, as unidades de tratamento foram determinadas de acordo com a estimativa do volume diário de águas cinzas a serem tratadas. Sistemas de reúso de águas cinzas por leito cultivado foram calculados segundo a Equação 3, considerando uma taxa de perdas por evapotranspiração na ordem de 32% apenas para os meses quentes do Distrito Federal; não foi considerado perda por evapotranspiração em meses chuvosos.

$$A = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times p \times n} \quad (3)$$

A = Área superficial (m²)

Q = Vazão do efluente (m³/dia)

C_o = Concentração do afluente em termos de DBO 5,20 (mg/litro)

C_e = Concentração do efluente em termos de DBO 5,20 (mg/litro)

K_T = Constante de reação cinética de primeira ordem

p = Profundidade do maciço filtrante

n = Porosidade do substrato

2.4. Análise de viabilidade econômica

Baseado nas redes hidráulicas características encontradas durante levantamento *in-loco*, buscou-se alternativas de simples intervenção e baixo custo de reforma para adaptação predial voltada ao aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias residenciais do DF. O modelo representativo serviu como base para a composição hidráulica de diferentes sistemas AAP e RAC e para o dimensionamento de tubulações, reservatórios e demais equipamentos hidráulicos. Com isso, foi possível quantificar o material hidráulico e orçar os custos de capital relativos a cada sistema, reforma e mão de obra. Custos operacionais foram determinados conforme o consumo de energia, manutenção e troca de componentes do sistema, conforme sua vida útil (Tabela 1).

Tabela 1: Vida útil de componentes hidráulicos.

Componente Hidráulico	Vida Útil Indicada*	Vida Útil Estimada
Tubulações em PVC	> 20 anos	30 anos
Bombas de Recalque	5-10 anos	7,5 anos
Filtros Pluviais	10-15 anos	12,5 anos
Válvulas Solenóide	5-10 anos	7,5 anos
Torneiras Bóia	10-15 anos	12,5 anos
Chaves Bóia	10-15 anos	12,5 anos
Reservatórios	> 20 anos	30 anos
Unidade de Tratamento	10-50 anos	30 anos

*Fonte: LEGGETT *et al.* (2001)

Considerando o potencial de redução do consumo de água encontrado para cada sistema, sua viabilidade econômica foi identificada por meio de três métodos de análise custo-benefício diferentes: (i) *payback* simples, (ii) valor presente líquido e (iii) custo incremental médio.

Supondo que para o público geral, o principal incentivo para investir em tecnologias de conservação de água seja para gerar economias financeiras e poupar dinheiro, uma análise do período de retorno financeiro foi realizada a fim de verificar quais sistemas AAP e RAC eram mais propensos a ser investido pelo público geral. A principal vantagem do método de análise por *payback* simples, é que ele fornece uma estimativa de fácil compreensão dos benefícios gerados por um sistema a partir do ponto de vista do cliente. O *payback* simples identifica o período de tempo (geralmente medido em anos), que leva para um investimento gerar benefícios financeiros suficientes para se pagar (Equação 4). Nesse caso, o menor período de retorno é considerado o melhor investimento, e períodos de retorno acima da vida útil do sistema são considerados opções inviáveis para investimento.

$$PBS = \frac{K}{[\sum_1^{12}(E_a \times C_a)] - C_o} \quad (4)$$

PBS = Payback simples (anos)

K = Custo capital de investimento (R\$)

E_a = Economia de água mensal (m³)

C_a = Custo de água mensal (R\$/m³)

C_o = Custo operacional anual (R\$)

Porém, o método de análise de *payback* simples não leva em conta a distribuição de custos e benefícios ao longo do tempo e ignora a economia financeira total gerada durante a vida útil de uma tecnologia de conservação de água. Contudo, uma análise do valor presente líquido do ciclo de vida de sistemas AAP e RAC foi realizada a fim de levar em conta todos os custos e benefícios relevantes durante sua vida útil ($t = 30$ anos), incluindo os ajustes do valor no tempo, t . A análise do valor presente do ciclo de vida permitiu uma comparação dos benefícios financeiros adquiridos ao longo da vida útil dos sistemas AAP e RAC, usando uma taxa de juros de 3% (Equação 5). Os valores referentes aos benefícios anuais (R\$/ano) foram calculados a partir do potencial de redução de

consumo de água, encontrado na primeira parte do estudo, multiplicado pela alíquota cobrada em blocos tarifários por faixa de consumo pela concessionária local.

$$VPL = -K_0 + \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

VPL = Valor presente líquido (R\$)

K_0 = Custo capital no ano zero (R\$)

B_t = Benefícios no ano, t (R\$/ano)

C_t = Custos no ano, t (R\$/ano)

i = Taxa de juro anual (%)

n = Vida útil (anos)

Certamente, ao verificar resultados do valor presente líquido do ciclo de vida, quanto maior o valor presente líquido, maior será o benefício financeiro gerado pelo sistema ao longo de sua vida útil. Porém, esse método pode apresentar limitações ao comparar diferentes tecnologias de diferentes escalas, ou até mesmo de acrescentar benefícios ambientais gerados direta ou indiretamente. Portanto, uma análise de custo incremental médio foi realizada para comparar a rentabilidade de tecnologias de diferentes grandezas, nivelando resultados em um parâmetro de comparação de benefício financeiro por volume de água economizada, dentro do mesmo horizonte de tempo ($t = 30$ anos). Com isso, indicadores do valor econômico da conservação de água, em R\$/m³ foram gerados para ambos os sistemas AAP e RAC. O custo incremental médio pode ser identificado como o valor presente líquido de uma série de custos futuros de capital e de operação para uma determinada tecnologia que esteja gerando benefícios financeiros, dividido pela economia de água total para um determinado horizonte de tempo (Equação 6).

$$CIM = - \left[\frac{K - B + C_o}{E_a} \right] \quad (6)$$

CIM = Custo incremental médio (R\$/m³)

K = VPL do custo capital (R\$)

B = VPL dos benefícios (R\$)

C_o = VPL dos custos operacionais (R\$)

E_a = Economia de água total (m³)

3. Composição de Modelos Representativos

Para a análise de viabilidade técnica, foi realizado um levantamento quantitativo e qualitativo em oito Regiões Administrativas (RA's) do Distrito Federal para coleta de dados primários das principais características tipológicas de edificações residenciais de acordo com sua faixa de renda familiar. Com isso, foi possível identificar as principais configurações hidráulicas existentes e apresentar possíveis soluções para adaptação predial pela instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações existentes.

A abordagem adotada para avaliar o consumo doméstico de água foi através da seleção de Regiões Administrativas (RA's) estatisticamente representativas em termos do consumo de água, tipologia residencial e faixa de renda familiar. Com isso em mente, foram selecionadas duas RA's por faixas de renda em salários mínimos (s.m.): i) renda baixa - 1 a 5 s.m.; ii) renda média baixa - 5 a 10 s.m.; iii) renda média alta - 10 a 20 s.m.; e iv) renda alta - acima de 20 s.m.

As RA's Lago Norte e Lago Sul foram selecionadas para análise devido aos seus aspectos semelhantes (casas que variam de 220 m² a 400 m²), índice elevado de consumo de água (12,9 - 20,4 m³/mês/pessoa), e renda alta entre ~ 21,7 e ~ 26,5 salários mínimos, respectivamente. Brasília e Águas Claras foram selecionados para análise em função de sua tipologia residencial composta por prédios de apartamentos (de 60 m² a 120 m²) com rendimento mensal de ~ 12,05 s.m. As RA's Taguatinga e Candangolândia foram selecionados principalmente em função de sua tipologia dominante de casas, com áreas construídas que variam entre 60 m² e 120 m², e renda familiar entre ~ 8,3 e ~ 9,6 salários mínimos. Ceilândia e Samambaia detém o maior número de habitantes do DF e são, portanto, capaz de fornecer uma amostra representativa significativa para análise, contendo, predominantemente, casas com áreas construídas abaixo de 60 m² e uma baixa renda de ~ 2,41 e ~ 2,89 s.m. respectivamente.

3.1. Renda familiar

Durante a entrevista, moradores foram perguntados sobre a renda bruta de sua residência. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos por meio do levantamento quantitativo. No total, 12% dos entrevistados não sabiam ou se recusaram a fornecer sua renda mensal bruta. Dos que responderam, 2% das residências foram classificados como pobres (menos de R\$ 800 mensais), 23% apresentaram uma renda baixa (entre R\$ 800 e R\$ 4,000 por mês), 20% dos entrevistados tinham uma renda média baixa (entre R\$ 4,001 e R\$ 8,000), 18% uma renda média alta (entre R\$ 8,001 e R \$ 16.000) e 26% das habitações tinham um renda alta (acima de R\$ 16.000 por mês).

Tabela 2: Renda média por Região Administrativa

Região Administrativa	Renda Familiar Média			Renda Per Capita Média		
	s.m.	R\$/mês	σ	s.m.	R\$/mês	σ
Lago Sul / Lago Norte	27,45	21.630	1,8	7,46	5.878	1,2
Brasília / Águas Claras	20,28	15.980	3,4	6,86	5.405	2,0
Taguatinga / Candangolândia	11,78	9.283	3,1	3,19	2.514	1,3
Ceilândia / Samambaia	4,35	3.428	2,1	2,27	1.788	1,9

s.m. - salário mínimo; σ - desvio padrão

3.2. Número de Moradores

No geral, observou-se um número médio de moradores equivalente a 4 pessoas por residência. Casas de renda alta, renda média baixa e renda baixa apresentaram uma média de 5 moradores por residência, enquanto apartamentos de renda média alta apresentaram, em média, 3 moradores por residência. Observou-se que a maioria das residências de renda alta e média alta tem empregadas para auxiliar nos serviços domésticos da moradia. Em alguns casos, as empregadas dormem na residência, em outros casos, elas retornam ao seu lar todos os dias. Em ambos os casos, as empregadas foram contabilizadas como moradores da residência, por contribuírem significativamente no consumo


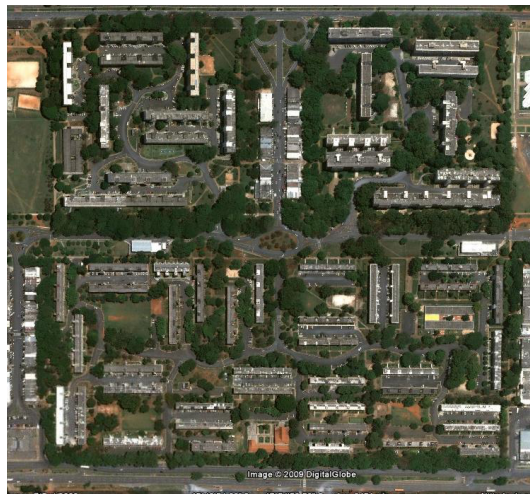
doméstico de água. Em residências de renda alta, foi comum encontrar caseiros ou jardineiros prestando serviços de manutenção e jardinagem. Em geral, a grande maioria prestavam serviços com uma frequência aleatória e, portanto, não foram contabilizados na população da edificação. Poucas residências de renda média baixa tinham empregadas domésticas e nenhuma habitação de baixa renda apresentou uma empregada.

3.3. Tipologia residencial

Em geral, as residências das RA's Lago Sul e Lago Norte apresentaram características de construções térreas (65%) ou sobrados de dois pavimentos (35%) com uma área construída média equivalente a 427m². Em média, os lotes das RA's Lago Sul e lago Norte contém uma área equivalentes a 1738m² com áreas verdes jardins de 1.364m² e projeções de 373m². Quase todas as casas possuem uma edícula com uma churrasqueira ou espaço gourmet próxima a uma piscina (volume médio de 53m³). Todas as residências analisadas nas RA's Brasília e Águas Clara eram apartamentos, com uma área construída média de 91m². Brasília e Águas Claras possuem diferentes regras urbanísticas e, por isso, seus blocos residenciais diferem em tamanho e forma. Devido ao planejamento urbano de Brasília, o estoque de edifícios residenciais consistiu em edifícios predominantemente horizontais com 4 ou 6 andares elevados a *pilotis*. Com uma área média de telhado de 1095m², o número de apartamentos por andar varia de 8 a 16 unidades. O estoque de edifícios residenciais de Águas Claras, por outro lado, eram predominantemente verticais variando entre 12 a 25 andares de altura. A maioria dos edifícios residenciais contém 4 apartamentos por andar, com uma área de cobertura média de 434m². Os prédios de apartamentos de Brasília e Águas Claras contém pisos e jardins comunais em seu nível térreo.

A maioria das residências de Taguatinga e Candangolândia analisadas eram casas térreas (86%); o restante eram sobrados de dois pavimento (14%). Em Candangolândia, todas as casas analisadas eram geminadas. Com uma área construída média de 141 m², as casas tinham uma área de cobertura média equivalente a 130m². A grande maioria das casas não apresentavam jardins em seu quintal, e sim pátios com pisos impermeabilizados com área média de 80m². Poucas residências de Taguatinga e Candangolândia continham uma piscina (3,5%), com um volume médio de 35m³. A maioria das residências analisadas em Ceilândia e Samambaia eram casas térreas (85%) com uma área construída média de 110m². Tendo uma área de cobertura média de 97 m², a maioria dos lotes apresentavam quintais com uma área impermeabilizada de 74m². Nenhuma piscina foi encontrada nessas Regiões. A Tabela 3 apresenta os resultados do levantamento, apresentando um resumo das principais tipologias residências do Distrito Federal.

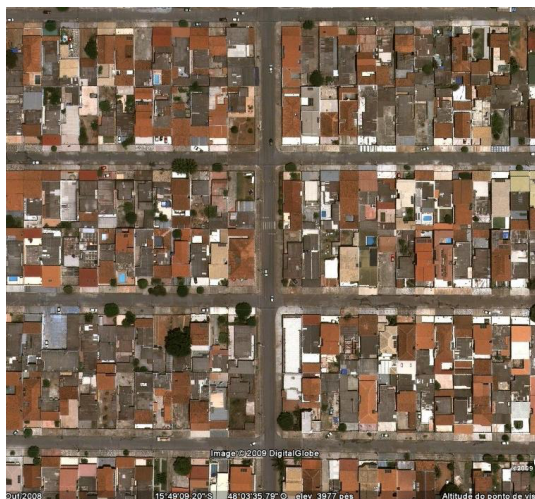
Tabela 3: *Tipologias residenciais por faixas de renda.*

Residências de renda alta		Residências de renda média alta	
			
Região Administrativa	Lago Norte Lago Sul	Região Administrativa	Brasília Águas Claras
Tipologia residencial	Casas de alto padrão	Tipologia residencial	Edifício em alturas
Número de moradores	4.6 pessoas	Número de moradores	3.2 moradores

Renda média familiar	R\$ 9.600
Número de banheiros	6
Área construída média	427 m ²
Área de cobertura média	373 m ²
Área de jardim/quintal	1,364 m ²
Volume de piscina	53 m ³

Renda média familiar	R\$ 7.600
Número de banheiros	3
Área construída média	91 m ²
Área de cobertura média	765 m ²
Área de jardim/quintal	---
Volume de piscina	---

Residências de renda média baixa



Fonte: Google™ Earth

Residências de renda baixa



Fonte: Google™ Earth

Região Administrativa	<i>Taguatinga Candangolândia</i>
Tipologia residencial	Casa
Número de moradores	4,6 moradores
Renda média familiar	R\$ 4.000
Número de banheiros	3
Área construída média	141 m ²
Área de cobertura média	130 m ²
Área de jardim/quintal	80 m ²
Volume de piscina	35 m ³

Região Administrativa	<i>Ceilândia Samambaia</i>
Tipologia residencial	Casa de baixo padrão
Número de moradores	4,5 moradores
Renda média familiar	R\$ 3.200
Número de banheiros	2
Área construída média	110 m ²
Área de cobertura média	97 m ²
Área de jardim/quintal	74 m ²
Volume de piscina	---

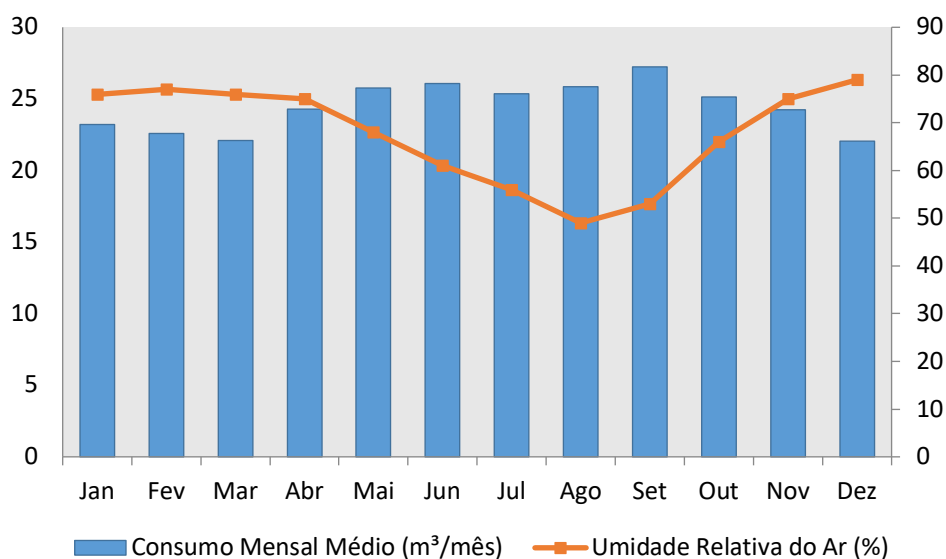
3.4. Demanda de água

Foram coletados dados primários do consumo de água para residências de renda alta, média-alta, média-baixa e baixa por meio de uma técnica desenvolvida para medir, durante sete dias o consumo predial, e os usos-finais de água para 117 residências e, com base no histórico do consumo de água presentes em contas d'água, dados relativos ao consumo predial foram analisados e comparados.

3.4.1. Consumo predial

Dados de consumo anual para 117 residências foram coletadas a partir de contas de água. Observou-se uma variação de 36m³/ano por residência a um máximo de 732 m³/ano, com uma média equivalente a 282 m³/ano. Observou-se que quanto maior a renda, maior o consumo médio anual de água. No geral, as residências de alta renda, como as do Lago Norte e do Lago Sul apresentaram a maior taxa de consumo anual, com uma média de 481 m³/ano. As moradias de renda média-alta de Brasília e Águas Claras apresentaram uma média de consumo de água de 243 m³/ano, moradias de renda média-baixa de Taguatinga e Candangolândia 216 m³/ano e moradias de baixa renda de Ceilândia e Samambaia 180 m³/ano.

As variações mensais do consumo médio de água ao longo do ano foram analisadas através de referências cruzadas dos dados climáticos de precipitação mensal e umidade relativa (INMET) com os dados históricos de faturamento das 117 residências estudadas. Observou-se que o consumo mensal de água tem relação direta com umidade relativa do ar. Na medida em que a umidade relativa abaixa, aumenta o consumo de água e, quando a umidade relativa do ar sobe, há uma queda no consumo mensal de água (Figura 1). Esta tendência pode ser explicada devido à intensa estação seca do Distrito Federal (de abril a setembro), o que aumenta a demanda de água para irrigação de jardins.

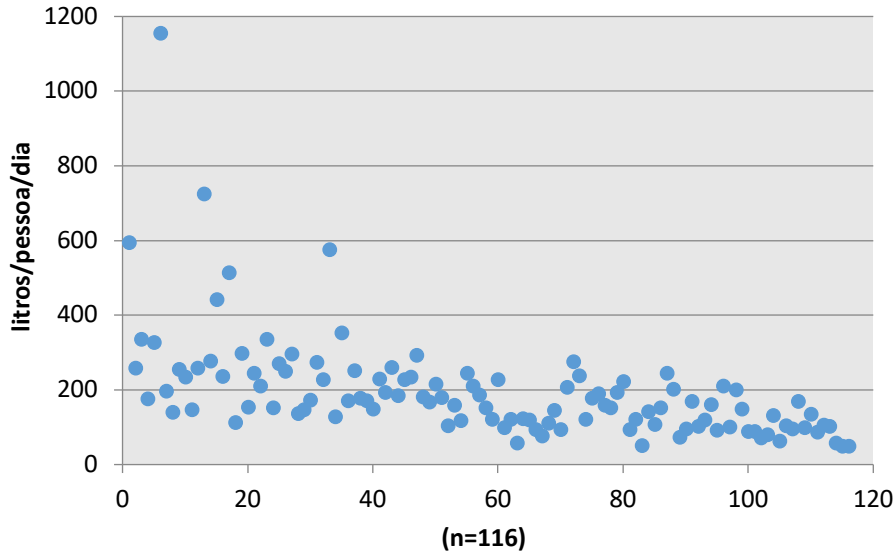
Figura 1: *Consumo médio mensal de água e umidade relativa*

Dados de consumo de água ao longo da semana puderam ser obtidos por leituras diárias dos hidrômetros das residências. Observou-se um consumo semanal médio equivalente a 5,191 litros por residência por semana. Valores chegaram a um máximo de 32.393 litros por residência por semana e um mínimo de 854 litros por residência por semana.

As residências de alta renda do Lago Norte e Lago Sul apresentaram grandes variações no consumo diário de água durante a semana em comparação com outras faixas de renda, com padrões de consumo mais altos durante a semana (média de 1.403 litros/dia) e menor consumo durante o fim de semana (média de 981 litros/dia). Esta tendência pode ser explicada pelo número oscilante de moradores na residência durante a semana e fim de semana. É importante lembrar que a maioria das habitações de alta renda tinha jardineiros e donas de casa vivendo na casa durante a semana. Nos fins de semana, esses trabalhadores voltariam para suas próprias casas, portanto, desempenhando uma grande influência sobre o consumo de água.

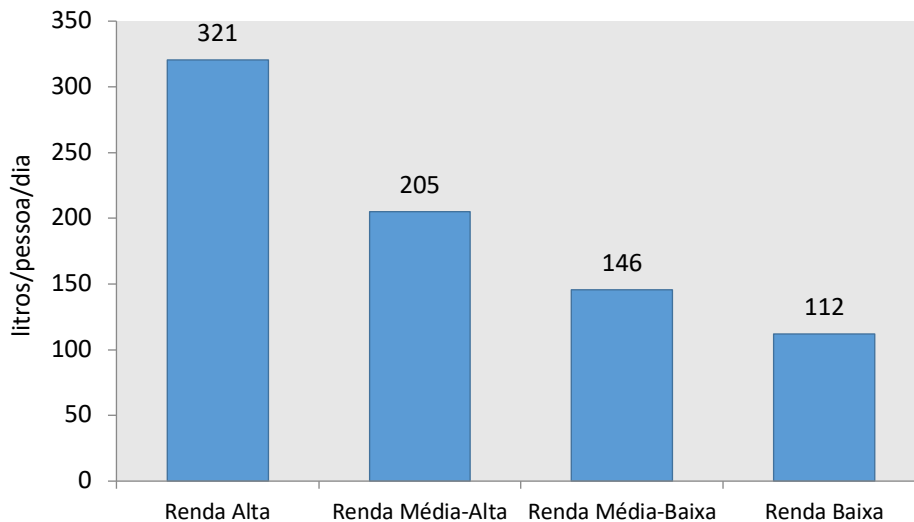
A Figura 2 mostra um diagrama de dispersão do consumo de água por pessoa e por dia para as 117 residências analisadas. Com um consumo médio de 196 litros por pessoa por dia (l/p/d), a maioria das habitações consumia menos de 200 l/p/d. O consumo médio de água per capita na maioria das habitações analisadas variou entre 101 e 200 l/p/d (45,7%), enquanto uma pequena parte das habitações consumiu acima de 300 l/p/d (8,6%), 18,1% consumidos até 100 l/p/d, e o consumo médio per capita para 27,6% das habitações variou entre 201 - 300 litros.

Figura 2: *Diagrama de dispersão do consumo per capita*



A Figura 3 demonstra claramente a relação direta entre o consumo de água e renda. Com o maior consumo de água per capita, as residências de alta renda do Lago Norte e Lago Sul consumiram em média 321 l/p/d, a média do consumo per capita das residências de renda média-alta de Brasília e Águas Claras foram 205 l/p/d, enquanto que as moradias de baixa renda de Taguatinga e Candangolândia consumiram uma média de 146 l/p/d, e com a menor taxa de consumo, as residências de baixa renda de Ceilândia e Samambaia, utilizaram de 112 l/p/d.

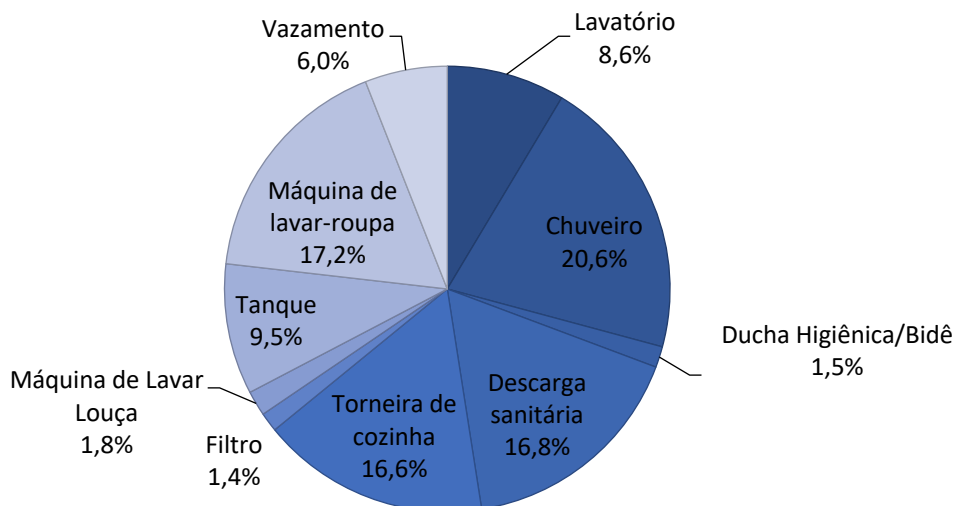
Figura 3: Consumo per capita médio por faixa de renda familiar



3.4.2. Usos finais de água

Com um consumo médio total de 182 l/p/d, em geral, os usos de água em chuveiros (20,6%), máquinas de lavar roupas (17,2%), descargas sanitárias (16,8%) e torneiras de cozinha (16,6%) apresentaram as maiores taxas de consumo per capita, enquanto que filtros de água (1,4%), duchas higiênicas/bidês (1,4%) e máquinas de lavar louças (1,5%) tiveram as menores taxas de consumo diário por pessoa (Figura 4).

Figura 4: Usos-finais do consumo interno



Embora cada residência tenha demonstrado padrões únicos de usos internos de água, tendências de consumo similares foram observadas entre os grupos de renda e tipologias estudadas. A Tabela 4 faz um resumo dos resultados dos usos internos apresentando indicadores de consumo per capita por uso final de água. Em geral, observou-se uma tendência de consumo elevado em torneiras de cozinha, chuveiros e descarga sanitária, e uma tendência de baixo consumo no filtro de água e em duchas higiênicas / bidê nas residências. Como esperado, residências de renda alta apresentaram os maiores indicadores de consumo de água enquanto residências de baixa renda tinham os menores valores de consumo de água por uso final.

Em geral, o consumo de água em torneiras de jardim consistiu principalmente em atividades de irrigação e lavagem de pisos. A Tabela 5 faz um resumo dos resultados do consumo de externo de água em irrigação e lavagem de pisos. As residências de alto renda do Lago Sul e Lago Norte apresentaram a maior taxa de consumo de água de 2,2 litros por área por dia ($l/m^2/d$), enquanto residências de renda média-baixa e baixa tiveram um consumo médio de 0,7 $l/m^2/d$. Com a menor taxa de consumo de água equivalente a 0,5 litros por área por dia, os prédios residenciais de Brasília e Águas Claras consumiram 42% menos água do que os domicílios.

Tabela 4: Usos finais do consumo interno por faixa de renda.

Usos Internos	Residências Renda Alta			Residências Renda Média-Alta			Residências Renda Média-Baixa			Residências Renda Baixa		
	l/p/d*	n	%	l/p/d*	n	%	l/p/d*	n	%	l/p/d*	n	%
Lavatório	18	28	8.1	21	35	9.5	10	28	7.1	13	26	10.9
Chuveiro	36	28	15.9	53	35	23.9	33	28	23.0	28	26	23.7
Ducha higiênica / bidê	3	19	1.1	3	23	1.5	4	6	2.8	1	3	0,8
Descarga sanitária	42	28	18.5	35	35	15.8	27	28	18.6	19	26	16.0
Torneira de cozinha	35	28	15.4	34	35	15.5	29	28	20.2	22	26	18.9
Filtro de água	3	22	1.4	3	21	1.3	2	14	1.4	2	8	1.8
Máquina de lavar louças	5	2	2.3	1	5	0.7	---	---	---	---	---	---
Tanque	23	28	10.2	22	33	9.8	14	28	9.7	10	23	8.8
Máquina de lavar louças	34	28	15.1	49	32	22.1	25	22	17.1	17	18	14.7
Vazamentos	27	4	11.9	---	---	---	0.5	1	0.3	5	6	4.3
TOTAL	226		100	221		100	144		100	118		100

*litros por pessoa por dia

Tabela 5: Usos finais do consumo externo por faixa de renda

Usos Externos	Residências Renda Alta		Residências Renda Média-Alta		Residências Renda Média-Baixa		Residências Renda Baixa	
	l/m ² /d*	n	l/m ² /d*	n	l/m ² /d*	n	l/m ² /d*	n
Torneira de jardim	2.2	25	0.5	30	0.7	22	0.7	17
Registro da piscina	9	4	---	---	---	---	---	---
Água subterrânea (poço)	0.8	2	---	---	---	---	---	---
Reúso de água	1.3	1	---	---	1.5	11	2.0	13

*litros por área superficial por dia

3.4.3. Dimensionamento dos sistemas leitos cultivados

Para se fazer um dimensionamento correto de um sistema leito cultivado é preciso considerar vários parâmetros que interferem diretamente nos cálculos. O sistema escolhido para dimensionamento foi o de fluxo horizontal, por se considerar as concentrações de DBO₅ presente nas águas cinzas.

A princípio verificou-se a temperatura média do período seco e chuvoso, determinando, assim a constante de reação cinética de primeira ordem dependente da temperatura utilizada para se calcular a área superficial do sistema.

A concentração de DBO₅ das águas cinzas considerada antes do tratamento foi de 150 mg /L. Considerando as três demandas supracitadas, definiu-se por levantamento bibliográfico, como critérios de qualidade a concentração de 30, 20 e 10 mg /L para as demandas 1, 2 e 3 respectivamente. Em seguida, decidiu-se utilizar como meio de suporte a brita número 1, por ser observado em análises de protótipos experimentais, que esse substrato contribui significativamente com o tratamento de águas cinzas, por apresentar uma porosidade que facilite a percolação e condutividade hidráulica que evita a colmatação do leito. Para esse dimensionamento utilizou-se a constante K₂₀ equivalente a 1,28 (Bogosso, 2007).

A vazão de oferta foi calculada levando em consideração a demanda em cada um dos cenários, de forma que o sistema tratasse somente a quantidade de água necessária para cada demanda. A área superficial dos leitos cultivados foi calculada para cada modelo representativo de acordo com a os dados coletados dos parâmetros relacionados, utilizando a equação 7 para o cálculo.

$$A = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times p \times n} \quad (7)$$

Onde:

A = área superficial requerida (m²);

Q = vazão afluyente (m³ d⁻¹);

C_o = concentração afluyente em termos de DBO_{5,20} (mg L⁻¹);

C_e = concentração efluyente em termos de DBO_{5,20} (mg L⁻¹);

K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem (dependente da temperatura);

n = porosidade do substrato (m);

p = profundidade do maciço filtrante.

K_T é uma taxa constante correspondente a temperatura da água dentro do LC e influencia diretamente as taxas de remoção de DBO e NH₄, portanto para cada um obedece um valor específico. Para a remoção de DBO utilizou-se K₂₀ = 1,28 .d⁻¹ e Φ = 1.06, não se considerou nesse dimensionamento valores para NH₄.

$$K_T = K_{20} \times \phi^{T-20} \quad (8)$$

Onde:

K_T = Constante de reação da cinética de primeira ordem (dependente da temperatura);

Φ = Coeficiente de temperatura

A evapotranspiração foi considerada como ponto importante no dimensionamento, pois com a perda de água diminui a diluição do efluyente e aumenta a concentração dos poluentes. As taxas de evapotranspiração podem variar de acordo com as espécies que estiverem sendo utilizadas. A literatura ainda é escassa quanto a avaliação das taxas de evapotranspiração para vegetais macrófitos. Considerando as perdas do LC em climas secos com temperatura médias de 20 a 30 °C por evapotranspiração (BRASIL, et al., 2008; MAGALHÃES FILHO, 2013), considerou uma diminuição de 16% para os meses mais quentes do DF, que correspondem a 6 meses no total. Nos meses chuvosos não foi considerado perda por evapotranspiração porque segundo OLIJNYK (2008), a diferença entre a perda por evapotranspiração e aumento da vazão por precipitação do sistema é em

torno de 1,22%, não sendo, portanto, significativa. A área considerada após o dimensionamento foi do período chuvoso, por ter sido maior que a do período seco, encontrando o máximo de 0,87 m²/pessoa e o mínimo de 0,04 m²/pessoa. O tempo de detenção hidráulica (TDH) do sistema foi calculado considerando a porosidade do substrato de 44%, chegando ao máximo de 2 dias, utilizando a formula 9.

$$TDH = \frac{A \times v \times n}{Q} \quad (9)$$

Onde:

TDH = Tempo de detenção hidráulica (dias)

A = área superficial requerida (m²);

V = volume do substrato

n = porosidade do substrato (m);

p = profundidade do maciço filtrante.

Q = vazão afluente (m³ d⁻¹);

Por fim, selecionou a vegetação a ser utilizada. As espécies preferidas foram as nativas locais devido à maior facilidade de adaptação e crescimento nas condições climáticas existentes, além disso, a escolha das espécies macrófitas baseou-se nas espécies citadas nos trabalhos pesquisados, procurando a distribuição geográfica das mesmas pelo site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>, ao qual estão reunidas todas as informações registradas das espécies coletadas e catalogadas nos herbários de todo o país. As espécies sugeridas são *Cyperus sp*, *Elocharis sp*, *Typha domingensis*, *Canna indica* e *Heliconia hirsuta*.

4. Análise de Viabilidade Técnica

A instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em novas edificações são facilmente executadas de maneira que a rede de distribuição de água não potável esteja separada da rede de água potável e, no caso de sistemas de reúso de águas cinzas, a rede de coleta de águas cinzas seja separada da rede de esgotamento sanitário. Porém, considerando o estoque residencial existente no Distrito Federal, este estudo avalia possíveis soluções voltadas à adaptação predial para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

4.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Verifica-se que, por um lado, a grande maioria das residências unifamiliares não contém uma rede de coleta de águas pluviais, por isso, a instalação de calhas, tubos de queda, coletores e rede de drenagem se torna necessário. A composição de cada tubulação de coleta de águas pluviais foi determinada de acordo com a área mínima de captação necessária para suprir a demanda, reduzindo assim os custos de instalação desnecessários e otimizando os sistemas de captação de água da chuva. De modo a simplificar a instalação, os reservatórios de retenção (cisternas) foram planejados para serem localizados em frente da casa, ao lado da rede de coleta de drenagem urbana, reduzindo os custos de instalação das tubulações de drenagem de águas pluviais.

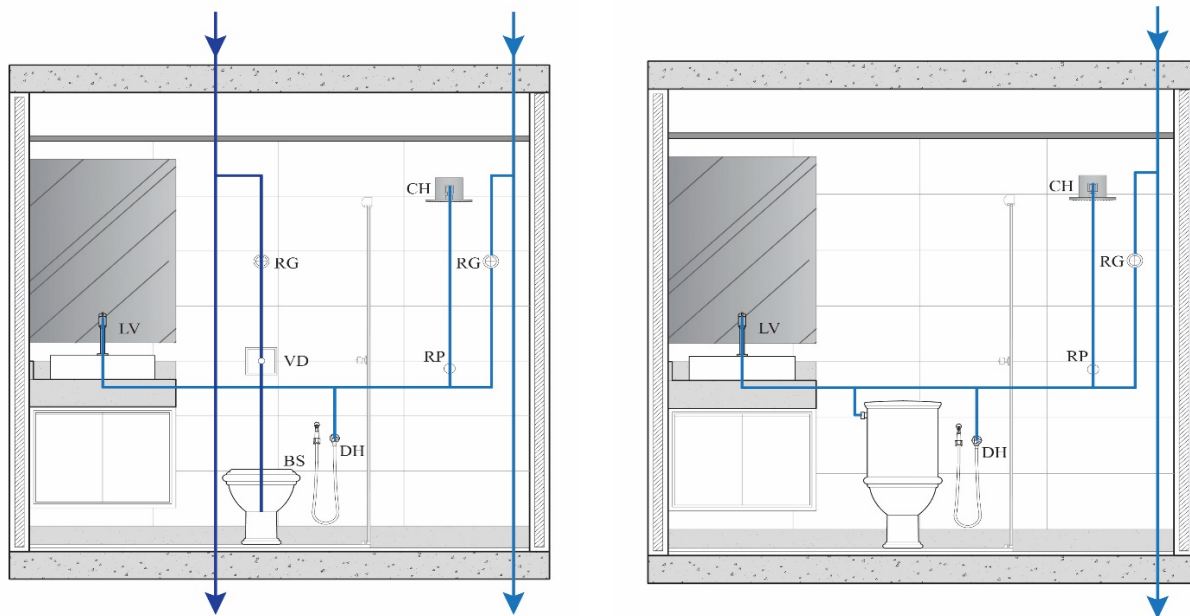
Por outro lado, devido à sua escala de construção, todos os blocos de apartamentos já apresentam, em suas instalações, tubulações de coleta de água pluviais, o que resultaria apenas em pequenas alterações do sistema existente. Neste caso, a tubulação de coleta de águas pluviais foi considerada para captar a água da chuva necessária para suprir a demanda. Hipoteticamente, isto seria feito ao nível do solo, quer por desvio de uma parte dos tubos de coleta existentes, ou através da utilização de uma câmara de desvio, para separar o volume necessário de água pluvial para um reservatório de retenção (cisterna) localizado na proximidade do edifício. O extravasor do reservatório de retenção (cisterna) e o filtro pluvial poderiam ser facilmente adaptadas para a rede de drenagem existente. A maioria dos blocos de apartamentos possuem um reservatório inferior, que armazena a água potável proveniente do cavalete de entrada antes de ser bombeada para o reservatório superior. Porém, foi constatado que existem reservatórios inferiores desativados, não sendo utilizados e, em alguns casos, a alimentação da água potável é feita diretamente ao reservatório superior, sem o uso de bomba de recalque. Neste caso, esses reservatórios desativados poderiam ser adaptados e utilizados como reservatórios de retenção (cisternas) para armazenagem de águas pluviais.

Em ambos os casos (residências unifamiliares e multifamiliares), sistemas de aproveitamento de águas pluviais isolados, de distribuição direta em torneiras de uso geral ou torneiras de jardim para lavagem de pisos e irrigação provaram ser de fácil adaptação predial e necessitando apenas de pequenos investimentos em equipamentos e mão de obra. Resultados indicam que em alguns casos, sistemas de aproveitamento de águas pluviais integrados, de distribuição indireta a pontos de uso interno, em descargas sanitárias ou lavanderias, necessitariam de pouca intervenção predial para utilizar águas pluviais em descargas sanitárias ou em lavagem de roupas. As edificações que apresentaram em sua rede de distribuição de água, colunas de água independentes alimentando água para a lavanderia (tanque e máquina lavar roupas) ou para válvulas de descargas sanitárias, podem ser facilmente adaptadas para o aproveitamento de águas pluviais. Neste caso, seria possível, instalar (ou aproveitar) um reservatório para a distribuição de águas pluviais, e adaptar, na cobertura, o barrilete de maneira que as colunas de água existentes possam ser utilizadas para distribuição de água pluvial em descarga sanitária ou na lavanderia (Figura 5a). No caso de residências que não apresentaram essa característica, como por exemplo, banheiros com uma única coluna de água, necessitam uma maior intervenção para adaptação predial, podendo inviabilizar o investimento pelo alto grau de reforma necessária (Figura 5b).

Figura 5: Coluna de água independente (a) que permite fácil adaptação predial; e coluna de água ramificada (b) que necessita de reforma predial para o uso não potável de água.

(a)

(b)



4.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

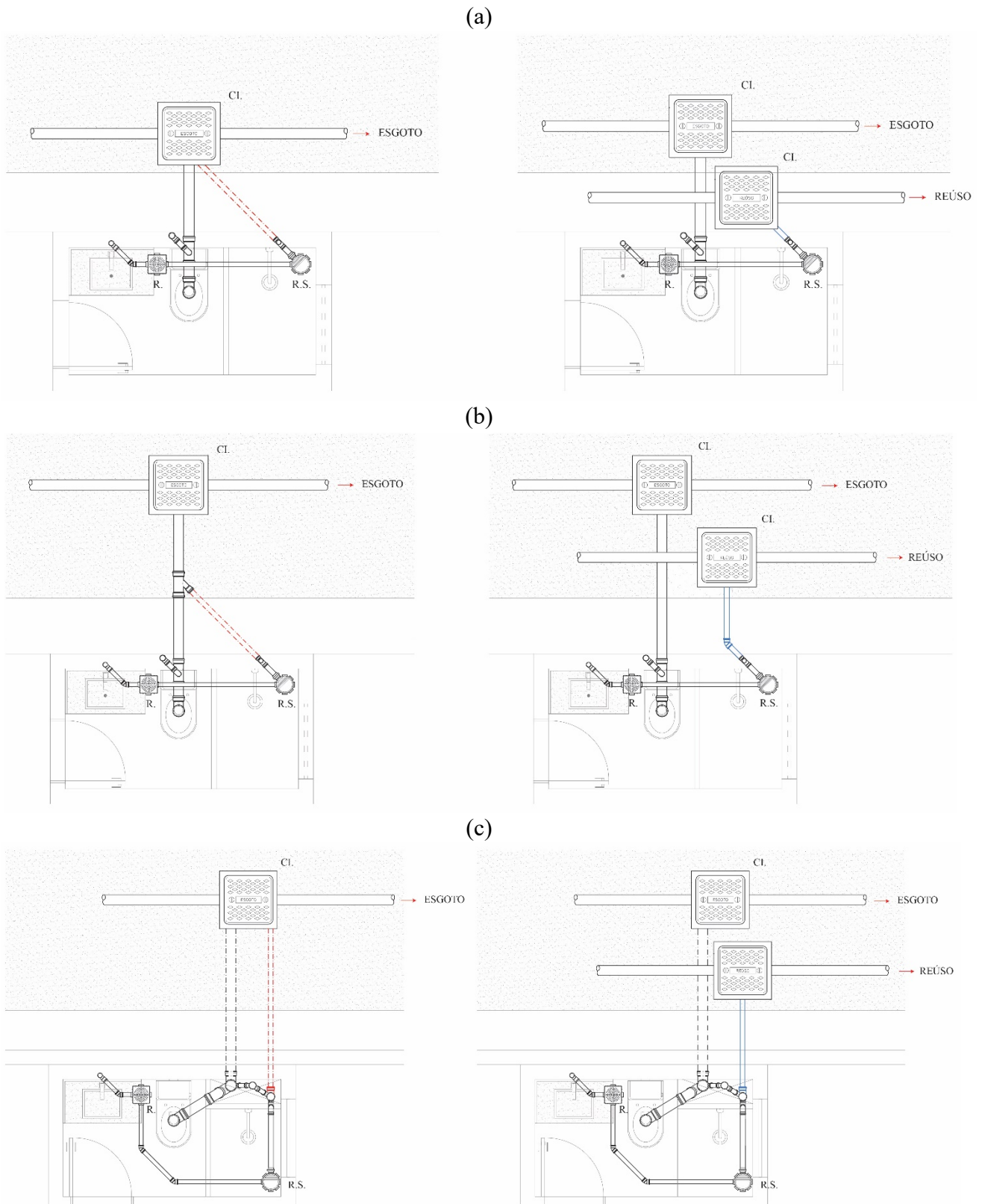
Foram encontrados três tipos diferentes de configuração hidráulica de esgotamento sanitário em banheiros. A primeira, contém tubos de descarga das águas cinzas provenientes de lavatórios, chuveiros e banheiras separadas da tubulação de águas negras do vaso sanitário que, em um segundo momento, se reúnem em uma caixa de inspeção localizada no exterior do edifício residencial. Neste caso, a adaptação predial para a coleta de águas cinzas pode ser feita de maneira simples, sem grandes investimentos em reforma predial. A

Figura 6a apresenta uma possível solução para a adaptação predial para a coleta de águas cinzas. Os outros dois tipos eram compostos pela conexão do ramal de esgoto secundário (águas cinzas) com o ramal de esgoto primário (águas negras). Em alguns casos, a conexão do ramal de esgoto acontece do lado de fora da residência, o que permite uma intervenção para a coleta de águas cinzas do banheiro (

Figura 6b). Quando essa conexão ocorre abaixo do piso, sua adaptação predial fica mais complicada. Em residências unifamiliares, as tubulações de esgotamento sanitário estão normalmente localizadas abaixo do piso e, para tanto, seria necessário quebrar parte do contra piso para adaptação predial, o que levaria a grandes custos de investimento. Em residências multifamiliares, essa adaptação seria necessariamente executada no andar inferior, desde que houvesse um *shaft* vertical para adaptação (

Figura 6c). Porém, vale a pena ressaltar que esta operação poderia causar um certo grau de inconveniência aos moradores.

Figura 6: Possíveis adaptações prediais para a coleta de águas cinzas



Em todas as residências unifamiliares analisadas, a rede de esgotamento da lavanderia é, em um primeiro momento, separada da rede de esgotamento sanitário, facilitando, dessa maneira, a adaptação predial para a coleta de águas cinzas provenientes de máquina de lavar roupa e tanque. Oitenta por cento dos blocos residenciais analisados apresentavam uma configuração hidráulica cuja tubulação de esgoto secundário proveniente da lavanderia era isolada dos demais efluentes. A

adaptação das instalações para ambas as residências unifamiliares e edifícios multifamiliares exigiria desconectar a tubulação da área de serviço, da lavanderia e da tubulação da cozinha, desviando a água da lavanderia para uma nova linha de drenagem de coleta de águas cinzas. Esta adaptação das instalações foi considerada uma abordagem simples e eficaz, levando a pouca ou nenhuma inconveniência.

5. Análise de Viabilidade Ambiental

A análise de viabilidade ambiental é dividida em duas etapas. A primeira etapa, presente neste relatório, faz uma análise do desempenho de diferentes sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na escala da edificação. Baseado nos modelos representativos, foram realizadas simulações de oferta e demanda de água para identificar o potencial de redução do consumo de água para as diferentes tipologias residenciais. A segunda etapa, a ser abordada no Relatório Técnico 3, agrega os valores obtidos para a escala urbana, utilizando uma abordagem *bottom-up* para estimar os benefícios ambientais promovidos na exploração de recursos hídricos pela redução da demanda urbana de água.

5.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Para a análise do potencial de redução do consumo de água pelo aproveitamento de águas pluviais nas diferentes tipologias residenciais de rendas alta, média-alta, média-baixa e baixa, foi necessário estimar a oferta de águas pluviais e a demanda de água em usos não potáveis. Baseado nos modelos representativos, dados primários relativos ao número de moradores, área verde e de pisos foram utilizados para estimar a demanda de água utilizando os indicadores de usos finais de água internos e externos. Prédios residenciais foram analisados como um todo, mas resultados os apresentados por apartamento, usando um parâmetro $\text{m}^3/\text{residência}/\text{ano}$ para fins de comparação com demais tipologias. Três tipos diferentes de demandas de águas pluviais foram considerados para análise:

- **Demanda 1:** *Irrigação e lavagem de pisos*
- **Demanda 2:** *Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária*
- **Demanda 3:** *Irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas*

A oferta de água pluvial foi estimada de acordo com os valores médios da área de cobertura e dados de precipitação média diária do Distrito Federal fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologias - INMET. Devido ao fato de que a maioria das coberturas eram compostas por de telhas cerâmicas ou fibrocimento, um coeficiente de 0,9 foi usado para considerar as perdas de água da chuva durante o escoamento. Filtros comercialmente disponíveis com 90% de eficiência também foram considerados como uma base para estimar a oferta de água pluvial.

Para cada cenário, simulações do desempenho de diferentes capacidades de cisternas comercialmente disponíveis foram realizadas para identificar o potencial de redução do consumo de água pelo aproveitamento de águas pluviais em residências de renda alta (Figura 7), média-alta (

Figura 8), média-baixa (Figura 9) e baixa renda (Figura 10). Em geral, podemos observar que, em um primeiro momento, na medida em que há aumento a capacidade de armazenamento da cisterna, as economias geradas pelo aproveitamento de águas pluviais sobem. Porém, em cada caso, existe um ponto em que por mais que aumente o volume da cisterna, as economias geradas pelo sistema ficam estagnadas. Isso é devido ao limite da oferta (área de cobertura disponível) e demanda (usos não potáveis). Com isso, a capacidade de armazenamento ideal foi definida como o menor volume de armazenamento de água pluvial capaz de promover o maior nível de economia de água.

Figura 7: *Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda alta.*

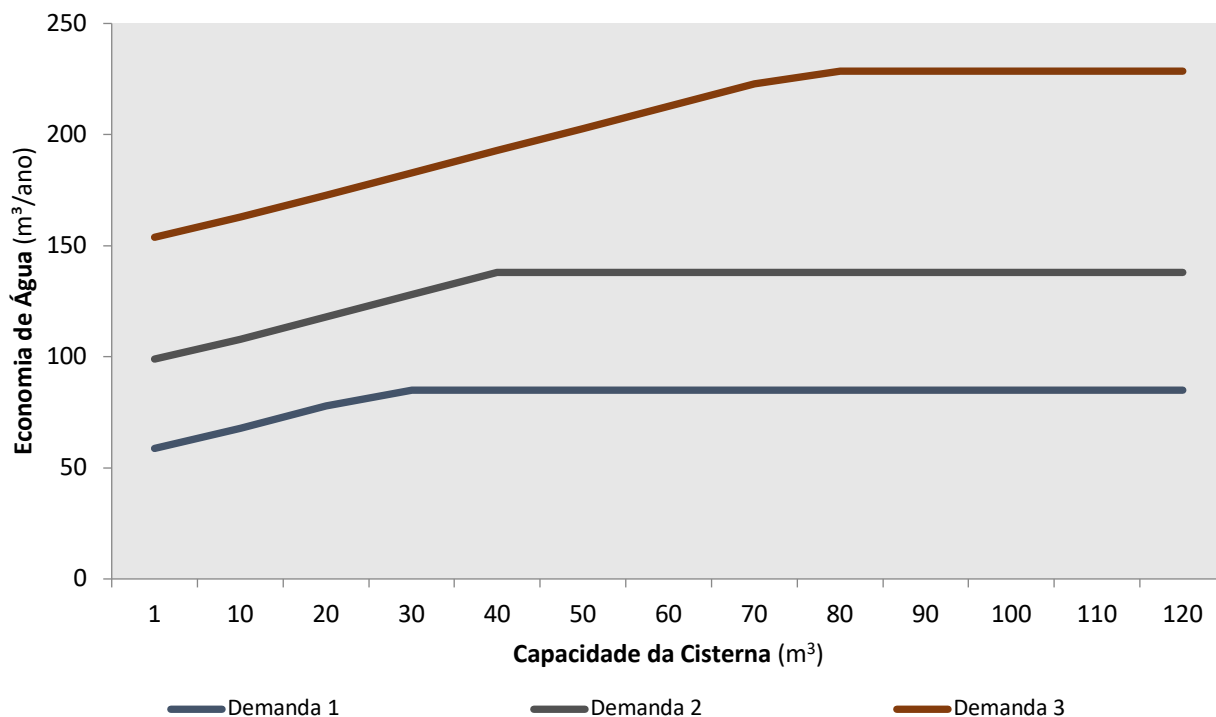


Figura 8: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-alta.

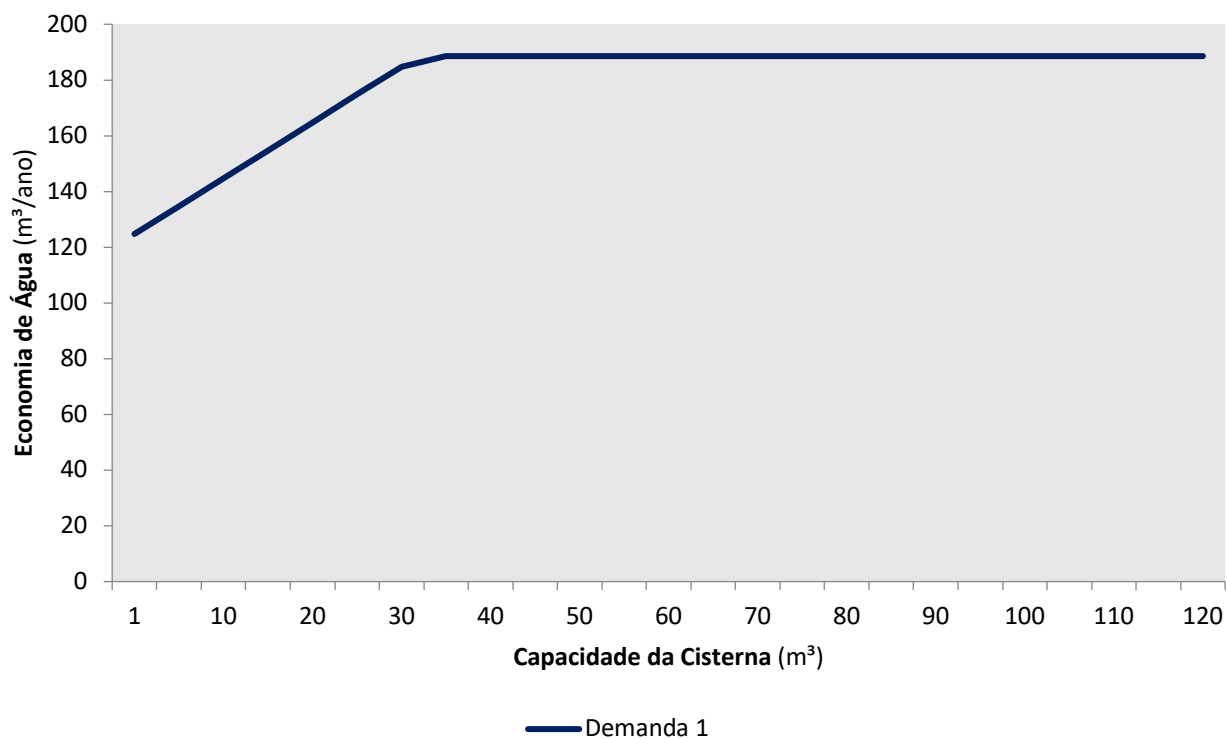


Figura 9: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda média-baixa.

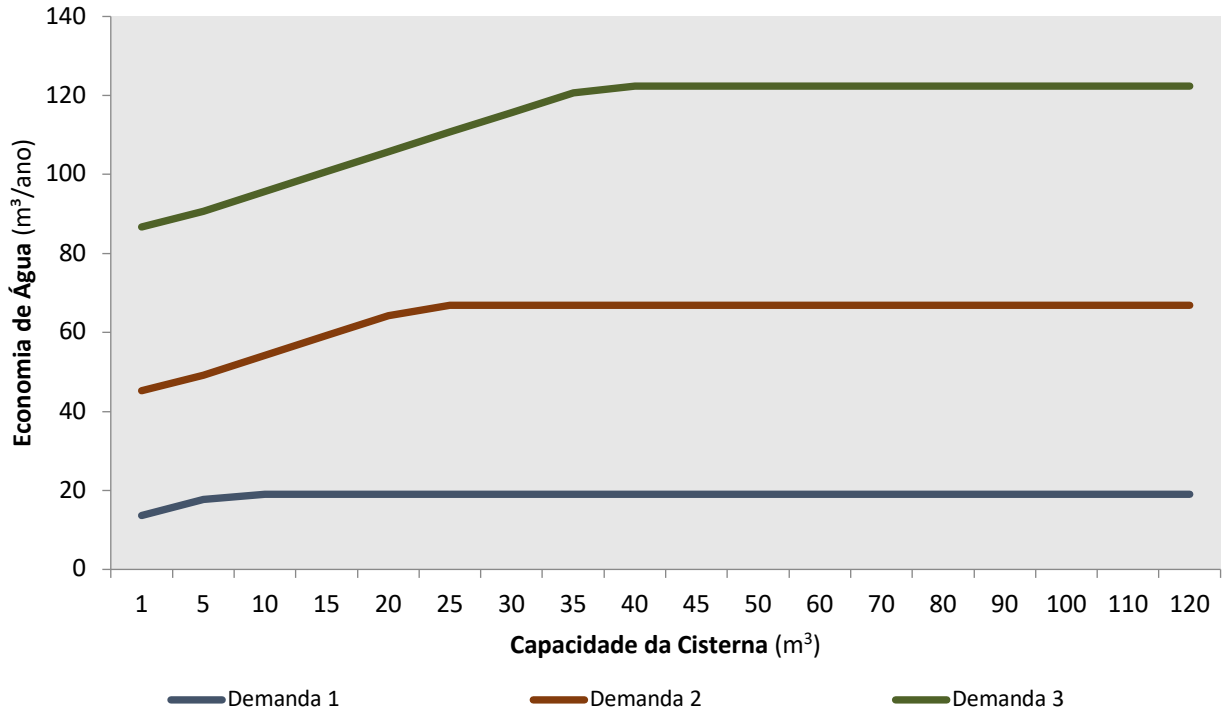


Figura 10: Economia anual de água por volume de reservatório - residências de renda baixa.

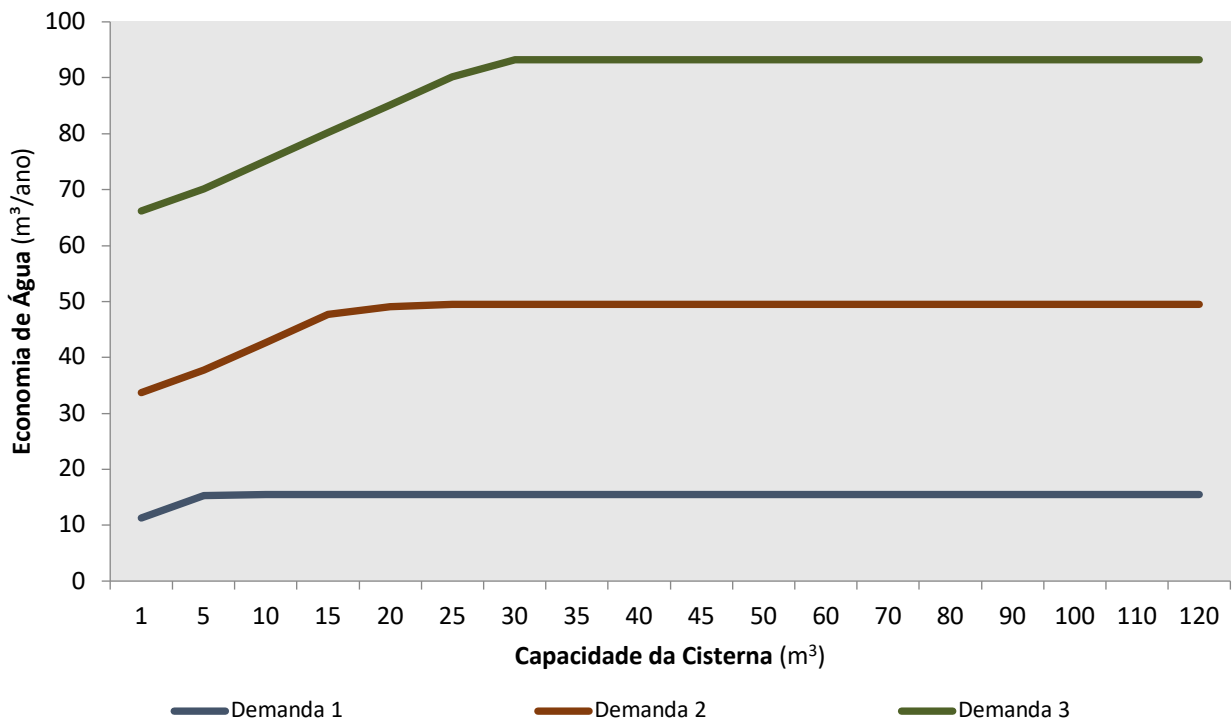


Tabela 6: Potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais.

Capacidade de Reservatório		Residências Renda Alta		Residências Renda Média-Alta		Residências Renda Média-Baixa		Residências Renda Baixa	
		Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)	Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)	Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)	Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	59	11.0	1.7	0.7	14	4.8	11	4.9
	Cisterna de 5m ³	63	11.8	1.9	0.8	18	6.3	15	6.6
	Cisterna de 10m ³	68	12.7	2.0	0.8	19	6.8	15	6.7
	Cisterna de 15m ³	73	13.7	2.1	0.9	19	6.8	---	---
	Cisterna de 20m ³	78	14.7	2.3	0.9	---	---	---	---
	Cisterna de 25m ³	83	15.6	2.4	1.0	---	---	---	---
	Cisterna de 30m ³	85	16.0	---	---	---	---	---	---
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	103	19.4	---	---	49	17.5	38	16.3
	Cisterna de 10m ³	108	20.3	---	---	54	19.3	43	18.4
	Cisterna de 15m ³	113	21.2	---	---	59	21.1	48	20,6
	Cisterna de 20m ³	118	22.2	---	---	64	22.8	49	21.2
	Cisterna de 25m ³	123	23.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 30m ³	128	24.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 35m ³	133	25.0	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 40m ³	138	25.9	---	---	---	---	---	---
Demanda 3	Cisterna de 10m ³	163	30.6	---	---	96	34.0	76	32.7
	Cisterna de 20m ³	173	32.5	---	---	106	37.6	86	37.1
	Cisterna de 30m ³	183	34.4	---	---	116	41.1	96	41.4
	Cisterna de 40m ³	193	36.2	---	---	122	43.5	---	---
	Cisterna de 50m ³	203	38.1	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 60m ³	213	40.0	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 70m ³	223	41.9	---	---	---	---	---	---
	Cisterna de 80m ³	229	43.0	---	---	---	---	---	---

A Tabela 6 apresenta os resultados das simulações realizadas para estimar o potencial de redução do consumo de água potável por diferentes capacidades de cisterna. Para residências de alta renda, a economia de água potável variou de 59 m³/residência/ano a 229 m³/residência/ano, dependendo do cenário de demanda e capacidade de cisterna. O aproveitamento de águas pluviais em descarga sanitária e lavagem de roupas provou ser inviável em prédios residenciais de renda média-alta em função de sua elevada demanda de água em relação ao seu baixo índice de oferta de água pluvial. Mesmo assim, sistemas isolados, voltados ao aproveitamento de águas pluviais em irrigação e lavagem de pisos foram capazes de gerar economias entre 1,7 e 2,4 m³ por unidade de apartamento por ano. As economias geradas por sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa variaram entre 14 a 122 m³/residência/ano, enquanto que para residências de baixa renda, as economias foram entre 11 e 96 m³/residência/ano, dependendo dos usos não potáveis e capacidade de cisterna.

5.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

Para a análise do potencial de redução do consumo de água pelo reúso de águas cinzas nas diferentes tipologias residenciais de rendas alta, média-alta, média-baixa e baixa, dados de oferta e demanda de águas cinzas foram estimadas baseando-se nos indicadores de uso finais de água internos e externos aliados aos dados primários referentes a número de moradores, área verde e de pisos dos modelos representativos. Para a oferta de águas cinzas, foi considerado a média diária do volume de efluentes gerados por chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e tanques. Prédios residenciais foram analisados como um todo, mas resultados os apresentados por apartamento, usando um parâmetro m³/residência/ano para fins de comparação com demais tipologias.

Foram analisados quatro tipos diferentes de sistemas de reúso de águas cinzas. O primeiro, consiste em simplesmente armazenar água cinza da máquina de lavar roupas em um tonel (bombona) de 300 litros para irrigação e lavagem do chão de forma manual. O segundo sistema consiste em desviar água cinzas geradas para uma irrigação sub-superficial. O terceiro, consiste no emprego de sistemas de tratamento de águas cinzas comercialmente disponíveis e o último sistemas leitos cultivados que podem ser dimensionados de acordo com a oferta de águas cinzas em cada modelo representativo, para isso foram considerados três tipos diferentes de demandas de água não potável para análise:

- **Demanda 1:** *Irrigação e lavagem de pisos*
- **Demanda 2:** *Irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária*
- **Demanda 3:** *Irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas*

A seleção das fontes de águas cinzas foi efetuada levando em conta o nível de reforma necessária para adaptar as a rede coletora de águas cinzas das instalações hidráulicas padrão. As unidades de tratamento de águas cinzas foram selecionadas de acordo com os volumes de água cinza a tratar, uma vez que as unidades de tratamento disponíveis comercialmente são vendidas em dimensões predeterminadas de volume diário de tratamento. Por outro lado, os sistemas leito cultivados (LC) foram dimensionados levando em consideração a DBO₅ exigida em cada umas das demandas de água tratada, o clima do DF e a área verde disponível para instalação do sistema. Por meio dos parâmetros aplicados para cada modelo representativo verificou-se que o sistema LC pode ser aplicado para os modelos de renda alta, média-baixa e baixa. Para prédios residenciais verificou-se que o terreno dos edifícios não dispõe de área suficiente para instalação do sistema.

Tabela 7: *Potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas.*

Sistema de Reúso de Águas Cinzas	Economia (m ³ /residência/ano)	Redução (%)
Residências Renda Alta		
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	50	9.5
<i>Sistema de Desvio de Águas Cinzas</i>	84	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	84	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	148	27.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	164	30.8
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	86,14	16%

<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	147,83	28%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	231,78	44%
Residências Renda Média-Alta		
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	3	1.1
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	39	15.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	65	26.7
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	241	1%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	203	17%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	126	48%
Residências Renda Baixa		
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	19	6.9
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	19	6.9
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	68	24.1
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	149	52.9
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	262	7%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	214	24%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	143	49%
Residências Renda Baixa		
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	16	6.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	16	6.8
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	50	21.7
<i>Sistema de Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	126	54.2
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	216	7%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	182	22%
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	131	43%

A Tabela 7 apresenta um resumo do potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de águas cinzas. Pela sua simplicidade, a prática do tonel e balde para reúso de águas cinzas em lavagem de pisos irrigação obteve os menores valores de redução no consumo de água potável equivalentes a 50 m³/residência/ano (Renda alta), 19 m³/residência/ano (renda média-baixa) e 16 m³/residência/ano (renda baixa). A prática do tonel e balde em prédios residenciais, aqui representado como residências de renda média-alta, provou ser inaplicável em apartamentos, ou até mesmo em áreas comunais (jardim e pisos).

A aplicabilidade de sistemas de desvio de águas cinzas para reúso não potável em irrigação subterrânea provou ser limitada a casas de alta renda com jardim. A grande maioria das casas de média-baixa ou baixa renda contém quintal, com pisos impermeabilizados. Em edifícios residenciais, a área de irrigação encontrada foi muito pequena em contrapartida com o volume de águas cinzas gerados por um tubo de queda de lavanderias ou banheiros.

Sistemas de tratamento de águas cinzas provaram ser capazes de gerar a maior economia de água em todos os modelos representativos analisados. Sistemas de tratamento de águas cinzas em irrigação e lavagem de pisos comunais (Demanda 1) provaram ser viáveis em termos de sua aplicabilidade, apesar do baixo potencial de redução do consumo de água. Apesar de sua relativa complexidade e nível de adaptação predial, sistemas de tratamento de águas cinzas foram capazes de gerar elevados níveis de economias de água chegando a 164 m³/residência/ano (Demanda 3).

A análise dos sistemas leitos cultivados mostrou-se bem eficaz para a demanda 2 e 3 nos quatro modelos representativos, apresentando, contudo, um potencial redução de consumo de aproximadamente 50% em todos os modelos para a demanda 3.

6. Análise de Viabilidade Econômica

Assim como a análise de viabilidade ambiental, a análise de viabilidade econômica também está dividida em duas etapas. A primeira etapa, presente neste relatório, faz uma análise custo-benefício utilizando três métodos: (i) período de retorno simples; (ii) análise do ciclo de vida útil; e (iii) custo incremental médio. Baseado nos modelos representativos, custos de capital e custos operacionais são estimados e, baseado nas economias geradas por cada sistema, são estimados os benefícios financeiros gerados pelas economias nas contas de água. Esta primeira etapa avalia os benefícios financeiros para moradores. Já a segunda etapa, a ser abordada no Relatório Técnico 3, se apropria das reduções da demanda urbana de água e agrega, em sua análise de custo incremental médio, os benefícios econômicos relativos aos gastos de exploração de recursos hídricos (abastecimento de água e esgotamento sanitário).

6.1. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

Os custos dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais incluíram os custos unitários dos componentes da rede de coleta, tratamento, armazenamento, rede de distribuição e demais equipamentos de cada sistema. As estimativas de custo para esses equipamentos e componentes foram baseadas no menor preço de pelo menos três cotações obtidas de fornecedores locais. Os custos da instalação dos sistemas de reúso de água foram compostos pela preparação do local e pelo trabalho. Os custos operacionais incluíram consumo de energia e custo de mão-de-obra para a manutenção do sistema. O consumo anual de energia de bombeamento foi estimado pelo produto da potência do equipamento, sua frequência de uso anual e tarifa de energia elétrica.

Resultados da análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem ser visualizados nas Tabelas 8 – 11. Considerando uma vida útil de 30 anos, quase todos os sistemas de aproveitamento de águas pluviais provaram ser viável utilizando o método *payback* simples. Apenas os sistemas AAP com cisternas de 5m³ e 10m³ destinados a irrigação e lavagem de pisos em residências de baixa renda provaram ser inviáveis por apresentar um período de retorno do investimento superior a vida útil do sistema - 49 e 54 anos respectivamente.

Porém, ao considerar os resultados obtidos pelo valor presente líquido, observamos que, em geral, sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residências de renda média-baixa e baixa são inviáveis porque o valor de investimento é alto se comparado aos benefícios financeiros. Por outro lado, resultado apontam um limite de investimento rentável em residências de alta renda. O investimento em sistemas de aproveitamento de águas pluviais para irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Demanda 2) deixa de ser viável em volumes de cisternas a partir de 20m³. Para para irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas (Demanda 3), o investimento deixa de ser viável a partir de 60 m³ de cisterna. O aproveitamento de águas pluviais em irrigação e lavagem de pisos (Demanda 1) em prédios residências de renda média-alta provou ser rentável.

Resultados pela análise do custo incremental médio de sistemas de aproveitamento de águas pluviais indicam que os melhores benefícios alcançados foram com volumes baixos de cisterna, chegando a 7,25 R\$/m³ de água economizada em residências de renda alta e 3,30 R\$/m³ em residências de renda média-alta.

Tabela 8: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda alta.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	59	937,28	3.186,72	24,47	2,0	30	12.779,71	7,25
	Cisterna de 5m ³	63	1.001,10	9.527,55	24,47	5,7	30	7.689,85	4,09
	Cisterna de 10m ³	68	1.080,88	10.504,18	24,47	5,8	30	8.276,93	4,07
	Cisterna de 15m ³	73	1.160,66	15.102,61	24,47	7,7	30	5.242,21	2,40
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	103	1.207,04	14.695,63	38,91	7,3	30	5.828,78	1,89
	Cisterna de 10m ³	108	1.286,82	15.672,25	38,91	7,3	30	6.744,86	2,08
	Cisterna de 15m ³	113	1.366,60	20.270,68	38,91	8,8	30	3.710,13	1,09
	Cisterna de 20m ³	118	1.446,38	25.586,58	38,91	10,5	30	-42,05	-0,01
	Cisterna de 25m ³	123	1.526,16	28.469,87	38,91	11,1	30	-1.361,63	-0,37
	Cisterna de 30m ³	128	1.573,91	31.353,16	38,91	11,8	30	-3.309,06	-0,86
	Cisterna de 35m ³	133	1.573,91	36.669,05	38,91	13,8	30	-8.624,95	-2,16
	Cisterna de 40m ³	138	1.573,91	39.552,35	38,91	14,9	30	-11.508,25	-2,78
Demanda 3	Cisterna de 10m ³	163	2.597,19	17.503,37	66,86	4,0	30	29.720,56	6,09
	Cisterna de 20m ³	173	2.756,74	27.417,69	66,86	5,9	30	22.933,66	4,42
	Cisterna de 30m ³	183	2.916,30	33.184,28	66,86	6,7	30	20.294,49	3,70
	Cisterna de 40m ³	193	3.075,86	41.383,47	66,86	8,0	30	15.222,72	2,63
	Cisterna de 50m ³	203	3.235,42	57.098,20	66,86	10,4	30	2.635,40	0,43
	Cisterna de 60m ³	213	3.394,98	66.277,80	66,86	11,5	30	-3.416,79	-0,54
	Cisterna de 70m ³	223	3.554,54	75.457,41	66,86	12,5	30	-9.468,98	-1,42
	Cisterna de 80m ³	229	3.646,52	84.637,02	66,86	13,7	30	-16.845,72	-2,46

Tabela 9: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-alta.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	1.7	15,16	69,42	0,61	2,8	30	171,47	3,30
	Cisterna de 5m ³	1.9	16,38	142,97	0,61	5,3	30	121,76	2,17
	Cisterna de 10m ³	2.0	17,60	156,53	0,61	5,3	30	132,02	2,19
	Cisterna de 15m ³	2.1	18,81	220,40	0,61	7,0	30	91,98	1,43
	Cisterna de 20m ³	2.3	20,03	294,23	0,61	8,8	30	41,98	0,61
	Cisterna de 25m ³	2.4	21,24	334,28	0,61	9,4	30	25,76	0,35

Tabela 10: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda média-baixa.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	13.6	116,40	2.871,91	8,08	15,4	30	-2.344,61	-5,73
	Cisterna de 5m ³	17.6	150,53	9.060,12	8,08	36,9	30	-7.864,00	-14,86
	Cisterna de 10m ³	19.0	162,29	10.036,75	8,08	37,7	30	-8.610,07	-15,09
	Cisterna de 15m ³	19.0	162,29	14.635,18	8,08	55,0	30	-13.208,50	-23,14
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	49.2	524,86	12.645,23	18,26	14,5	30	-4.758,11	-3,22
	Cisterna de 10m ³	54.2	567,51	13.621,85	18,26	14,4	30	-4.898,72	-3,01
	Cisterna de 15m ³	59.2	610,16	18.220,28	18,26	17,8	30	-8.661,13	-4,87
	Cisterna de 20m ³	64.2	652,82	23.536,18	18,26	21,5	30	-13.141,00	-6,82
Demanda 3	Cisterna de 5m ³	90.7	773,75	12.969,42	34,34	10,2	30	-519,02	-0,19
	Cisterna de 10m ³	95.7	816,41	13.946,04	34,34	10,3	30	-659,63	-0,23
	Cisterna de 15m ³	100.7	859,06	18.544,48	34,34	13,0	30	-4.422,04	-1,46
	Cisterna de 20m ³	105.7	901,71	23.860,37	34,34	15,9	30	-8.901,91	-2,81
	Cisterna de 25m ³	110.7	944,37	26.743,66	34,34	17,0	30	-10.949,18	-3,30
	Cisterna de 30m ³	115.7	987,02	29.626,95	34,34	18,0	30	-12.996,45	-3,74
	Cisterna de 35m ³	120.7	1.029,67	34.942,84	34,34	20,3	30	-17.476,32	-4,83
	Cisterna de 40m ³	122.4	1.043,88	37.826,14	34,34	21,7	30	-20.081,07	-5,47
Cisterna de 45m ³	122.4	1.043,88	40.709,43	34,34	23,4	30	-22.964,36	-6,26	

Tabela 11: Análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para residências de renda baixa.

Tipo de Sistema		Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Demanda 1	Cisterna de 1m ³	11.3	83,74	2.759,15	8,25	21,2	30	-3.373,54	-9,97
	Cisterna de 5m ³	15.3	113,42	8.947,36	8,25	49,3	30	-8.979,89	-19,59
	Cisterna de 10m ³	15.5	114,88	9.923,98	8,25	53,9	30	-9.927,88	-21,38
Demanda 2	Cisterna de 5m ³	37.7	367,57	12.605,11	15,46	20,7	30	-7.746,20	-6,85
	Cisterna de 10m ³	42.7	404,67	13.581,74	15,46	20,2	30	-7.995,51	-6,24
	Cisterna de 15m ³	47.7	440,43	18.180,17	15,46	24,8	30	-11.893,00	-8,31
	Cisterna de 20m ³	49.0	440,43	23.496,06	15,46	32,0	30	-17.208,89	-11,70
Demanda 3	Cisterna de 5m ³	70.8	520,85	13.805,13	23,16	16,1	30	-6.092,54	-2,89
	Cisterna de 10m ³	75.8	557,96	14.781,76	23,16	16,0	30	-6.341,85	-2,81
	Cisterna de 15m ³	80.8	595,07	19.380,19	23,16	19,6	30	-10.212,96	-4,25
	Cisterna de 20m ³	85.8	632,18	24.696,08	23,16	23,5	30	-14.801,54	-5,79
	Cisterna de 25m ³	90.8	669,28	27.579,37	23,16	24,7	30	-16.957,52	-6,27
	Cisterna de 30m ³	95.8	691,88	30.462,67	23,16	26,4	30	-19.397,94	-6,94

6.2. Sistemas de reúso de águas cinzas

Em geral, os valores estimados dos sistemas de reúso de águas cinzas incluíram os custos unitários dos componentes, da rede de coleta, tratamento, armazenamento, rede de distribuição e demais equipamentos. A prática do tonel e balde considerou apenas o valor de uma bombona de 300L, enquanto que o sistema de desvio de águas cinzas, estimou os custos relativos a rede coletora de águas cinzas, um acumulador e rede de distribuição por irrigação subsuperficial. Para sistemas de reúso de águas cinzas tratadas, o custo da unidade de tratamento foi estimado em função do volume diário de águas cinzas produzido. Para os sistemas leitos cultivados, por ser um sistema praticamente artesanal, o custo do sistema considerou a fabricação por meio de concretos simples armado na proporção 1:1:2, incluindo ainda os custos do meio de suporte e da quantidade estimada de plantas que cada unidade do sistema comportaria, pela área superficial de cada um. As estimativas de custo para todos os equipamentos e componentes foram baseadas no menor preço de pelo menos três cotações obtidas de fornecedores locais.

Os custos da instalação dos sistemas de reúso de água foram compostos pela preparação do local e pela mão de obra. Os custos operacionais incluíram consumo de energia e custo de mão-de-obra para a manutenção do sistema. O consumo anual de energia da bomba de água e de sopradores (tratamento biológico) foi estimado pelo produto da potência do equipamento, sua frequência de uso anual e tarifa de energia elétrica. Resultados da análise de viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem ser visualizados nas Tabelas 12 – 15.

Considerando uma vida útil de 30 anos, a prática do tonel e balde e sistemas de desvio de águas cinzas provaram ser opções viáveis, apresentando um período de retorno baixo para investimento em casas. Para prédios de apartamentos, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas provaram ser viável, considerando que o reúso de águas cinzas em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Demanda 2) e em lavagem de roupas (Demanda 3) obtiveram um retorno de aproximadamente 1 ano. Vale a pena ressaltar que os custos de investimento de sistemas de reúso de águas cinzas em prédios residenciais são divididos entre os moradores, o que acaba viabilizando seu alto custo de investimento. Em geral, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas em casas provou ser inviável em função do seu elevado custo capital e operacional, levando a períodos de retorno superiores a vida útil do sistema e, em residências de renda média-baixa e baixa, os custos operacionais superam os benefícios gerados. Para os sistemas leito cultivados, apesar do grande potencial no volume de água tratado, a instalação mostrou ser viável apenas para casas de renda alta para a demanda 3 avaliada.

Ao considerar o valor presente líquido dos investimentos em tonel e balde, investimentos em casas podem chegar a R\$15.561,38 em residências de renda alta, R\$3.130,43 em residências de renda média-baixa e R\$2.188,34 em residências de renda baixa. No caso de casas com jardim, sistemas de desvio de águas cinzas são soluções que geram uma boa rentabilidade, em média, R\$17.146,35 em 30 anos de uso. A rentabilidade de sistemas de tratamento de águas cinzas em prédios residenciais de renda média-alta chegam a R\$ 5.293,77 (Demanda 2) e R\$9.858,69 (Demanda 3). Para os sistemas leitos cultivados a rentabilidade chega até a R\$ 15.509,49.

O custo incremental médio foi calculado num prazo de 30 anos. Em termos globais, os benefícios econômicos gerados pela prática do tonel e balde foram equivalentes a 10,32 R\$/m³ de água economizada em residências de renda alta, 5,41 R\$/m³ para residências de renda média-alta e 4,65 R\$/m³ para residências de renda baixa. Em residências de renda média-alta, os benefícios gerados por sistemas de tratamento de águas cinzas chegam a 5,04 R\$/m³ de água economizada. Para leitos cultivados observa-se benefícios gerados de até 10,34 R\$/m³.

Tabela 12: *Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda alta.*

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
<i>Prática do Tonel e Balde</i>	50	802,27	163,40	0,00	0.2	30	15.561,38	10,32
<i>Sistema de Desvio de Águas Cinzas</i>	84	1340,33	9124,62	0,00	7.9	30	17.146,35	6,80
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	84	1340,33	9451,29	790,93	25.9	30	-67,40	-0,03
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	148	2.356,84	36680,13	1.571,84	80	30	-22.678,23	-5,12
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	164	2.613,59	36789,61	1.599,79	56	30	-18.303,11	-3,72
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	86,14	1.374,79	18.091,43	790,92	30,99	30	6.647,24	2,57
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	147,83	2.359,29	22.790,20	1571,83	28,94	30	7.355,69	1,66
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	231,78	3.699,13	24.805,54	1599,78	11,82	30	-16.342,63	-2,35

Tabela 13: *Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-alta.*

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1</i>	2,7	23,24	458,42	13,66	27,7	30	-276,10	-3,47
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2</i>	38,5	337,40	624,39	34,34	1,2	30	5.293,77	4,58
<i>Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3</i>	65,2	571,04	638,95	34,34	0,7	30	9.858,69	5,04
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 1</i>	2,56	22,36	14.672,65	216,81	*	30	---	---
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 2</i>	40,52	354,51	27.546,99	852,97	*	30	---	---
<i>Sistema Leito cultivado – Demanda 3</i>	117,53	1.028,39	31.495,24	852,97	179,54	30	28.056,98	7,96

Tabela 14: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda média-baixa.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Prática do Tonel e Balde	19,3	164,54	163,40	0,00	0,6	30	3.130,43	5,41
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1	19,3	164,54	7287,87	704,66	*	30	---	---
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2	67,8	578,41	35338,56	1.599,79	*	30	---	---
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3	148,8	1.269,29	35448,04	1.599,79	*	30	---	---
Sistema Leito cultivado – Demanda 1	19,35	165,01	15.068,55	181,10	*	30	---	---
Sistema Leito cultivado – Demanda 2	67,89	579,10	20.492,72	191,31	52,84	30	12.891,84	6,33
Sistema Leito cultivado – Demanda 3	138,34	1.180,00	16.869,03	206,02	17,32	30	-2.221,36	-0,54

* Custos operacionais superam benefícios financeiros.

Tabela 15: Análise de viabilidade econômica de sistemas de reúso de águas cinzas para residências de renda baixa.

Tipo de Sistema	Economia (m ³ /residência/ano)	Benefícios Financeiros (R\$/residência/ano)	Custo Capital (R\$/residência)	Custo Operacional (R\$/residência/ano)	Payback Simples (ano)	Vida Útil (ano)	VPL (R\$)	CIM (R\$/m ³)
Prática do Tonel e Balde	15,7	116,48	163,40	0,00	0,8	30	2.188,34	4,65
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 1	15,7	116,48	6.495,69	1.360,88	*	30	---	---
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 2	50,2	372,36	34.067,47	1.540,64	*	30	---	---
Tratamento de Águas Cinzas – Demanda 3	125,5	931,63	34.178,51	1.548,33	*	30	---	---
Sistema Leito cultivado – Demanda 1	15,70	116,46	14.202,48	181,27	*	30	---	---
Sistema Leito cultivado – Demanda 2	50,01	371,04	19.087,10	188,51	104,57	30	15.509,49	10,34
Sistema Leito cultivado – Demanda 3	100,74	747,49	21.637,39	196,21	39,25	30	10.832,05	3,58

* Custos operacionais superam benefícios financeiros.

7. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em termos de adaptação predial, economia de água, relação custo-benefício e adaptação predial em diferentes tipologias residenciais de diferentes faixas de renda familiar no Distrito Federal. Com o intuito de atingir os objetivos traçados, esta pesquisa incorporou metodologias quantitativas e qualitativas para a coleta de dados primários das principais tipologias residenciais do Distrito Federal e, com isso, compôs quatro modelos representativos baseados em médias estatísticas para as análises de viabilidade técnica, ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas. Os resultados de ambas abordagens metodológicas foram agrupados de acordo com sua tipologia residencial e faixa de renda, em salários mínimos (s.m.): renda alta (acima de 20 s.m.) renda média-alta (10-20 s.m.), renda média-baixa (5-10 s.m.) e baixa renda (1-5 s.m.).

Uma das principais conclusões extraídas desse estudo é que características tipológicas, renda familiar e comportamento de usuários afetam os padrões de consumo doméstico de água e, portanto, devem ser consideradas em previsões de demanda de água, no dimensionamento e na avaliação de estratégias conservadoras de água. Em geral, os resultados sugerem que há uma relação direta entre renda familiar e consumo doméstico de água, onde, quanto maior o nível de renda, maior o consumo de água per capita. Apesar de cada residência apresentar padrões de usos-finais do consumo de água distintos, em geral, chuveiros, máquinas de lavar roupa, lavatórios e torneiras de cozinha apresentaram as maiores taxas de consumo interno de água. Os usos-finais do consumo externo de água em irrigação e lavagem de pisos representam 13% do consumo total. Os resultados indicam que o consumo de água em irrigação é inversamente proporcional à umidade relativa do ar, onde, quanto menor a umidade relativa do ar, maior é o consumo em irrigação.

Para a análise de viabilidade técnica, foi realizado um levantamento quantitativo e qualitativo em oito Regiões Administrativas do Distrito Federal para coleta de dados primários das principais características tipológicas de edificações residenciais de acordo com sua faixa de renda familiar. Com isso, foi possível identificar as principais configurações hidráulicas existentes e apresentar possíveis soluções para adaptação predial pela instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações existentes. Em geral, observou-se que a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas cinzas em novas edificações são facilmente executadas. Porém, considerando a adaptação predial das edificações residenciais existentes no Distrito Federal, verificou-se que sistemas isolados voltados ao aproveitamento de águas pluviais ou ao reúso de águas cinzas exigem pequenas modificações da rede hidráulica existente em pontos de uso externos. Em alguns casos, a adaptação predial para o aproveitamento de águas pluviais em descargas sanitárias não exige grandes reformas prediais. A adaptação predial para o reúso de águas cinzas já exige uma análise mais aprofundada, pois pode variar entre as diferentes composições hidráulicas existentes.

Os resultados também apontam soluções ótimas para cada bolso, segundo nível de renda familiar e tipologia residencial, demonstrando os benefícios gerados em R\$/m³ de água economizada. Para residências de renda alta, a melhor opção é o emprego de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, pela sua simplicidade e economias chegando a 229 m³/residência/ano (redução de 43% da demanda predial). Investimentos em sistemas com cisternas de 10m³ voltados ao aproveitamento de águas pluviais em irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas (Demanda 3) apresentam uma alta rentabilidade ao longo de sua vida útil estimada (R\$ 29.720,56) com benefícios econômicos chegando a 6,09 R\$/m³ de água economizada.

Em média, a área de cobertura dos prédios residenciais não é grande o suficiente para suprir a elevada demanda de água em descarga sanitária e lavagem de roupas. Contudo, a instalação de sistemas de tratamento de águas cinzas provou ser a melhor alternativa para prédios residenciais de renda média-

alta, com economias chegando a 65 m³/residência/ano, com um potencial de redução do consumo de água de 27%, rentabilidade equivalente a 9.858,69 R\$/residência ao longo do ano, e benefícios econômicos de 5,04 R\$/m³ de água economizada.

A única medida rentável para casas de renda média-baixa e baixa foi a prática do tonel e balde. Para residências de renda média-baixa, o potencial de redução foi de 6,9%. Já para residências de renda baixa, 6,8%. Benefícios econômicos chegaram a 5,41 R\$/m³ (renda média-baixa) e 4,65% R\$/m³(renda baixa), e rentabilidade de R\$ 3.130,43 e 2.188,34 ao longo de sua vida útil.

Referências Bibliográficas

ADASA. **Níveis dos reservatórios de Santa Maria e Descoberto**. Brasília: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: 10 novembro 2016.

CAESB. **Siágua 2014: Sinopse do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal**. Brasília: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 2014

_____. **Seca 2016: Informações sobre a crise hídrica no Distrito Federal**. Brasília: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível em: <https://Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em 07 dezembro 2016.

HERRINGTON, P.R. The economics of water demand management. In: D. BUTLER e F.A. MEMON (Ed.). **Water demand management**. London: IWA, 2006. The economics of water demand management, p.236-279