

Universidade de Passo Fundo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil e Ambiental

Taizi Miorando

POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA POR
ULTRAFILTRAÇÃO

Passo Fundo
2015

Taizi Miorando

POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA POR
ULTRAFILTRAÇÃO

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião.

Passo Fundo
2015

Taizi Miorando

POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA POR ULTRAFILTRAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Vandrê Barbosa Brião.

Data de aprovação: 10 de abril de 2015

Os membros componentes da banca examinadora aprovam a dissertação.

Banca Examinadora:

Prof^o. Vandrê Barbosa Brião, Doutor.
Orientador

Prof^o. Jeferson Stefanello Piccin, Doutor.
Universidade de Passo Fundo – UPF

Prof^o. Marcelo Hemkemeier, Doutor.
Universidade de Passo Fundo – UPF

Prof^a. Rosângela Bergamasco, Doutora.
Universidade Estadual do Maringá – UEM

Passo Fundo
2015

*“Agradecer é uma arte.
Só o faz, verdadeiramente, quem vê,
sente e vive a vida como um presente, uma possibilidade”.*
Obrigada a Deus por instruir o meu caminho.
Obrigada aos meus pais pela pelo amparo e apoio ao estudo.
Obrigada aos meus irmãos Carlen, Angelo Augusto e Bruna.
Obrigada ao Prof. Orientador Vandr e por contribuir constantemente para toda minha forma o.
Obrigada La sa pelos trabalhos realizados com grande empenho e dedica o.
Obrigada a colega e amiga Danubia pelo companheirismo e apoio.
Obrigada Augusto, Dini, Adriana, Vinicius, Ale, Jo o e Clarissa pelo aux lio.
A Fapergs pela bolsa concebida.

RESUMO

O esgotamento dos recursos hídricos vem ocorrendo em velocidade rápida e atinge fontes superficiais e subterrâneas, comprometendo o fornecimento de água de qualidade para o abastecimento público em muitos lugares. A água da chuva representa um recurso de fácil captação e uma alternativa promissora para esse problema, pois apresenta qualidade considerável, porém não atende os parâmetros estabelecidos para classificá-la como água potável, necessitando de tratamentos para alcançar a qualidade necessária. Os processos de separação com membranas são uma alternativa para melhorar a qualidade dessas águas. O objetivo do trabalho foi utilizar a ultrafiltração para o tratamento de água de chuva, ajustando seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos para a potabilidade. Para tal, duas membranas de UF foram testadas em duas pressões diferentes para tratar água de chuva coletada em um prédio da Universidade de Passo Fundo. A água de chuva apresentou uma moderada concentração de sólidos suspensos, cor, turbidez, matéria orgânica e contaminação por coliformes e uma baixa concentração de nitritos, nitratos e sulfatos. As duas membranas de UF utilizadas (com diâmetro de corte de 4 kDa e 50 kDa) permitiram o ajuste desses parâmetros à potabilidade, sendo que a membrana de 50 kDa de fibra oca apresentou fluxos superiores a $130 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ (a 2 bar). Logo, a captação de água de chuva e sua UF é uma promissora alternativa para um abastecimento descentralizado de água potável.

Palavras-chave: **Água da Chuva, Separação por Membranas, Água Potável.**

ABSTRACT

The depletion of water resources is occurring in fast speed and reaches surface and ground sources, compromising the quality of water supply for public supply in many places. Rainwater is an easily capture resource and a promising alternative for this problem, since it has considerable quality, but does not meet the parameters established to classify it as drinking water, requiring treatment to achieve the quality required. Separation processes with membranes are an alternative to improve water quality. The aim of the work was to use the ultrafiltration for the treatment of rainwater, adjusting their physicochemical and microbiological parameters for the drinking water quality. Two UF membranes were tested at two different pressures to treat the rainwater collected in a building of the University of Passo Fundo. Rainwater showed a moderate concentration of suspended solids, color, turbidity, organic matter and coliform contamination and a low concentration of nitrites, nitrates and sulfates. The two UF membranes used (with molecular weight cutoff of 4 kDa and 50 kDa) allowed the adjustment of these parameters to the potability, and the permeate flux of hollow fiber (50 kDa) membrane was above $130 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (at 2 bar). Therefore, rainwater harvesting and its UF is a promising alternative for a decentralized supply of drinking water.

Keywords: **Rainwater, Membrane Separation Process, Drinking Water.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Isoietas anuais no país, entre 1961 e 1990.....	15
Figura 2: Como pode ocorrer a contaminação da água da chuva durante a coleta.....	20
Figura 3: Membranas Isotrópicas simétricas.....	27
Figura 4: Membranas Isotrópicas assimétricas.	27
Figura 5: Esquema representativo dos processos de separação por membranas (PMS).	29
Figura 6: Exemplo da Configuração de Ultrafiltração	31
Figura 7: Fluxograma do desenvolvimento experimental.	36
Figura 8: Localização da Coleta.....	36
Figura 9: Coleta das amostras.	37
Figura 10: Diagrama do equipamento de filtração tangencial.....	40
Figura 11: Diagrama do equipamento de ultrafiltração submersa.....	41
Figura 12: Fluxo de permeado das filtrações tangenciais.	49
Figura 13: Aparência dos permeados obtidos através a filtração submersa.....	53
Figura 14: Fluxo de permeado em operação de longo período com membrana submersa.	54
Figura 15: Proposta de sistema de tratamento com membrana de fibra oca para água da chuva.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Caracterização das seis amostras de água de chuva coletadas.	42
Tabela 2: Comparativo de concentrações de nitrato e sulfato por outros autores.	44
Tabela 3: Rejeições dos testes com membranas de filtração tangencial.	45
Tabela 4: Concentrações físico-químicas e microbiológicas dos permeados de filtração tangencial. ...	47
Tabela 5: Fluxo permeado médio obtido com as membranas de fibra e tubular de UF às duas pressões testadas.	49
Tabela 6: Análise de variância para o fluxo de permeado.	50
Tabela 7: Rejeição de parâmetros críticos com membrana submersa de fibra oca e corte de 50 kDa. .	51
Tabela 8: Concentração dos permeados das filtrações com membrana submersa.	52

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	Água.....	12
2.1.1	Águas de Abastecimento Para Consumo Humano.....	12
2.1.2	Aproveitamento de Água de Chuva.....	13
2.1.3	Coleta de Água de Chuva no Brasil.....	13
2.1.4	Qualidade das Águas de Chuva.....	16
2.1.5	Interferências na Qualidade da Água de Chuva.....	19
2.1.6	Áreas de Captação.....	20
2.1.7	Legislação Para a Coleta e Aproveitamento de Águas de Chuva.....	22
2.1.8	Qualidade de Água para Consumo Humano.....	23
2.2	Processos de Separação por Membranas.....	24
2.2.2	Vantagens da Utilização de Membranas.....	29
2.2.3	Ultrafiltração.....	30
3.	METODOLOGIA.....	35
3.1	Estratégia da Pesquisa.....	35
3.2	Coleta e Caracterização da Água de Chuva.....	36
3.3	Caracterização das Amostras.....	37
3.4	Fluxo de Permeado e Rejeição das Membranas.....	38
3.5	Testes Preliminares com Ultrafiltração Tangencial.....	39
3.6	Ensaio de Longa Duração.....	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1	Caracterização da Água de Chuva.....	41
4.2	Qualidade dos Permeados com Membranas de Ultrafiltração Tangencial.....	45
4.3	Análise do Fluxo de Permeado das Filtrações Tangenciais Preliminares.....	48
4.4	Ensaio com Membrana de Ultrafiltração Submersa.....	50
4.5	Fluxo de Filtração Submersa.....	53
4.6	Proposta de Sistema de Tratamento de Ultrafiltração para Água de Chuva.....	55
5.	CONCLUSÃO.....	56

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento social e econômico do país depende da sustentabilidade e segurança hídrica. Os problemas com acesso a água atingem mais severamente a população de baixa renda e pequenos municípios, essa situação reflete a necessidade de continuar avançando no crescimento ambientalmente responsável. A sucessão de eventos críticos de secas e estiagens nos últimos tempos aumenta a gravidade desses problemas no Brasil.

A estratégia de gerenciamento do fornecimento de água não mais atende as demandas de sustentabilidade da sociedade. Captar águas superficiais ou subterrâneas e descartá-las contaminadas ao ambiente não corresponde a um uso adequado de uma sociedade que busca a sustentabilidade hídrica. Um modelo de gestão dos recursos hídricos moderno exige que, além do uso sustentável das fontes superficiais e subterrâneas, se busque também fontes alternativas para o abastecimento. Esta necessidade de fontes alternativas surge, pois a escassez física de água de qualidade, segundo Gonçalves (2006), é agravada quando se observam outros dois tipos de escassez: a econômica, que se refere à impossibilidade de se arcar com os custos de aquisição da água e a política, que corresponde às políticas públicas inexistentes ou inadequadas, que privam algum segmento da população do acesso à água.

Quando se fala em escassez econômica são levados em consideração os custos para aquisição da água em fontes comuns. As águas obtidas de fontes superficiais geram custos para o devido tratamento nas Estações de Tratamento de Águas (ETAS), sendo, em geral, aplicação de coagulantes e produtos químicos para os processos de tratamento. Além disso, há necessidade de várias etapas de tratamento, citadas na Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), que variam consoante a qualidade da água na origem. Essa resolução estipula normas de qualidade e sistemas exigidos para o tratamento, de forma a tornar as águas aptas para consumo humano. Esses procedimentos agregam um alto custo por metro cúbico de água potável produzida.

Com o crescimento da demanda de água potável, a captação de mananciais de águas superficial e subterrânea não mais supre o volume requerido para abastecer a população. As águas de fontes subterrâneas também possuem custos agregados com perfuração de poços, proteção fitossanitária, bombeamento e manutenção. Existem muitos tipos de contaminação de lençóis, um deles é devido à exposição dos antigos poços negros. Outro problema sério destas fontes é a contaminação dos aquíferos, não somente por poluentes, mas também pela água do mar quando os aquíferos são litorâneos. O excesso de uso e conseqüente rebaixamento do nível das águas subterrâneas podem levar à salinização por contaminação da

água do mar. É o que vem acontecendo na Tailândia e em diversas ilhas da Indonésia. A contaminação por água salgada é de difícil recuperação, em alguns casos, atinge todo o aquífero, afetando igualmente as cidades e consumidores localizados no interior, distantes do litoral.

A água segue um ciclo natural: a chuva cai proveniente das nuvens, regressa ao mar através das correntes dos rios de água doce, para voltar depois a evaporar-se e a formar nuvens. Este ciclo pode explicar o motivo pelo qual não se pode dizer que a água está acabando, mas as reservas disponíveis são, de fato, limitadas. O sistema hidrológico do planeta movimenta e transfere anualmente para o solo aproximadamente 44000 km³ de água, o equivalente a 6900 m³ por cada habitante do planeta. Uma grande parte desta água não corresponde a volumes de cheias incontrolláveis ou a água demasiado inacessível para poder ser utilizada pelo homem. A água proveniente da chuva logo é escoada pelos rios, deixando de estar disponível no local onde ocorreu (ANEEL, 2008).

O Brasil concentra parte dos recursos hídricos do planeta, contudo apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. As bacias localizadas em áreas que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos passam por situações de escassez e estresse hídrico, necessitando de intensas atividades de planejamento e gestão de recursos hídricos. A perspectiva de escassez da água fez com que ela passasse a ter valor econômico, incitando a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento regulatório. No caso brasileiro, o estabelecimento dos preços pelo uso da água está a cargo dos chamados "Comitês de Bacia", fóruns em que se debatem as questões de gerenciamento dos recursos hídricos. Fontes alternativas e seus devidos tratamentos podem surgir como opção estratégica para o abastecimento de água.

A água de chuva, escoada sobre edificações, geralmente apresenta qualidade que atende à maior parte dos padrões de potabilidade, estabelecida pela Portaria 2914 de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, condição que incentivam o esforço para transformar tal água para usos potáveis.

Portanto, uma fonte alternativa e promissora de água é o aproveitamento das águas de chuva, pois a captação e o armazenamento contribuem para a prevenção de cheias, pois esse procedimento evita que a água escoe para as redes de drenagem diminuindo o escoamento rápido que ocasiona enchentes nas cidades. A água da chuva, coletada em telhados, é, normalmente, usada para fins não potáveis, tais como descargas em bacias sanitárias ou rega de jardins e dessa forma contribui para a diminuição do consumo de água residencial.

Entretanto essa água detém grande potencial em função das maiores áreas de telhados e do grande consumo de água necessário para abastecimento público e os mais variados tipos de processos produtivos (FENDRICH, 2002).

Estas razões justificam a importância das pesquisas nessa área, mostrando a necessidade de se utilizar outras fontes para produção de água potável. A utilização de águas pluviais para o abastecimento urbano deve primar também pela qualidade da mesma, desde a captação até a entrega ao consumidor. Em virtude de a água ser uma potencial fonte de transmissão de doenças, oferecendo risco a saúde se estiver contaminada, uma atenção especial deve ser dispensada à garantia da sua qualidade, uma vez que doenças veiculadas a água podem incluir diarreia infecciosa, cólera, leptospirose, hepatite e esquistossomose, causadas por agentes físicos, químicos e biológicos (BRAGA e RIBEIRO, 2000).

No Brasil, vários trabalhos e projetos estão sendo elaborados por pesquisadores da área. No município de Curitiba, PR, a ideia da coleta e utilização das águas pluviais tem por objetivo economizar a água tratada do sistema de abastecimento público, que vem sendo usada no setor de lavagem de veículos e em postos de combustíveis (FENDRICH, 2002). No município de Santa Maria, RS, alguns pesquisadores têm elaborado projetos sobre o tema do aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis, entre eles, Tamiosso (2007), Trindade e Barroso (2008). Outros muitos trabalhos relacionados com a coleta e uso da água da chuva também têm sido realizados, porém com o intuito de aproveitamento para fins menos nobres como rega de jardins, lavagem de calçadas, bacias sanitárias etc.

Azevedo Neto (1991) concluiu que o aproveitamento de água de chuva para abastecimento público tem viabilidade razoável em locais com precipitação média anual entre 1000 e 1500 mm e excelente acima de 2000 mm. A partir desta perspectiva, o Rio Grande do Sul apresenta viabilidade potencial para abastecimento público através da água de chuva, já que a precipitação média é de 1721 mm anuais (FEPAM, 2010) necessitando um potencial de armazenamento que considere a variação da sazonalidade para o aproveitamento da água da chuva, junto a um processo eficiente de potabilização, permitindo a uma aplicação mais nobre dessa água como, por exemplo, o abastecimento.

Percebe-se a necessidade da criação de sistemas que possam incluir baixo custo e necessidade de manutenção e facilidade de operação para que se tornem atraentes. Os processos de separação por membranas que utilizam a pressão como força motriz surgem como interessantes alternativas para o tratamento da água de chuva. As membranas de microfiltração e ultrafiltração são meios porosos com grande potencial para o tratamento de águas, devido ao seu desempenho na remoção de patógenos e turbidez e ao decaimento do

custo nas últimas décadas. A microfiltração tem sido foco de estudos para o aproveitamento de água de chuva, e embora remova bactérias e fungos da água, o seu tamanho de poros não remove vírus com boa eficiência. A ultrafiltração, por outro lado, poderia ser uma promissora alternativa, pois seu tamanho de poros remove sólidos suspensos e coloidais das águas, turbidez e em tese atinge eficientes remoções de vírus. Porém, existe a necessidade de estudos e investigação para tornar os sistemas mais acessíveis.

Portanto, a aplicação de membranas de ultrafiltração pode representar um tratamento eficiente e de baixo custo para o tratamento da água de chuva, pois possuem características consideráveis de remoção de patógenos e outros contaminantes que diminuem a qualidade da água da chuva.

O objetivo do trabalho é a busca de uma alternativa para produção de água potável, utilizando água de chuva como fonte de abastecimento e os processos de separação por membranas como tecnologia de tratamento. A partir disso, os objetivos específicos foram caracterizar a água da chuva coletada diretamente do telhado de um prédio na Universidade de Passo Fundo, identificando e quantificando possíveis contaminantes na mesma; submeter a água da chuva ao processo de ultrafiltração para obter água potável; testar diferentes condições operacionais de filtração; testar diferentes membranas de ultrafiltração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Água

2.1.1 Águas de Abastecimento Para Consumo Humano

São consideradas fontes naturais de abastecimento de água: a água da chuva, as águas superficiais que compreendem os rios, arroios e lagos, e as águas subterrâneas que fazem parte dos aquíferos e mananciais.

O ciclo da água mostra que esta encontra-se em contínuo movimento cíclico entre as fases líquida, sólida e gasosa. O ciclo representa a interdependência e o movimento contínuo da água nas suas diferentes fases. Os componentes do ciclo hidrológico são a precipitação, a evaporação, a infiltração, a percolação e a drenagem, e essas etapas diferem as fontes de abastecimento pela forma como estão disponíveis para captação. A forma como as fontes estão dispostas também define as formas de vulnerabilidade a contaminação e conseqüente escassez de água potável.

A água pode ser contaminada de várias maneiras, quando passa por escoamento superficial durante o período de chuva, é o fator que mais contribui para a mudança da qualidade microbiológica da água depois da precipitação (GELDREICH, 1998).

No meio rural, as principais fontes de abastecimento de água são os poços rasos e nascentes, também consideradas fontes bastante susceptíveis à contaminação (FEWTRELL et. al. 1998).

Como fontes alternativas a essas em esgotamento são consideradas as águas de reúso, água do mar e a água da chuva.

2.1.2 Aproveitamento de Água de Chuva

A coleta e o aproveitamento de águas da chuva, adicionada a água servida pelos sistemas de abastecimento, em um só sistema de reuso promovem benefícios na eficiência do sistema, que pode ser alimentado por água servida em épocas de estiagem. A desvantagem desse método é a mistura das águas, pois a água de chuva acaba por receber um tratamento que não condiz com a sua necessidade. As águas servidas geralmente apresentam maior contaminação e precisam ser tratadas com tecnologias mais avançadas, tornando o uso do sistema oneroso (DIXON; BUTLER, 1999).

As duas vantagens relacionadas ao aproveitamento da água da chuva são a redução do consumo de água potável (e do custo de fornecimento da mesma) e a melhor distribuição da carga de água da chuva no sistema de drenagem urbana, o que pode ajudar a controlar as cheias. A recolha de água da chuva não é apenas uma medida de conservação de água, é também uma medida de conservação de energia, pois a energia requerida para operar um sistema de água centralizado é reduzida. Além disso, diminui a erosão local e as inundações provocadas pelo escoamento superficial resultado de impermeabilizações, tais como telhados de habitações e pavimentos. Deste modo, o escoamento superficial, que regra geral concentra poluentes e degrada canais, transforma-se em água recolhida para satisfazer alguns consumos (BERTOLO, 2006).

2.1.3 Coleta de Água de Chuva no Brasil

No estado do Paraná a detenção de águas pluviais teve início em 1982, no estudo realizado no reservatório de águas pluviais de Planaltina no Paraná, sendo utilizado com a

finalidade de amortecer as vazões máximas de uma área de drenagem (FRENDRICH e OLIYNIK, 2002).

O aproveitamento de águas pluviais tem sido praticado em maior escala principalmente na região Nordeste, devido ao problema da escassez hídrica, característico de parte da região. Em julho de 2003, teve início o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi Árido: um Milhão de Cisternas Rurais - P1MC, com o objetivo beneficiar cerca de 5 milhões de pessoas na região semiárida, com água potável, através da construção de cisternas (HAGEMANN, 2009).

Outra tecnologia também utilizada no semiárido brasileiro é a cisterna de placas de cimento pré-moldadas. Alguns sistemas alternativos de coleta de águas pluviais vêm sendo utilizados em estados nordestinos do país e em Minas Gerais. No entanto, não há uma sistematização no uso dessas técnicas. Muitas dessas aplicações, não apresentam seus resultados monitorados (GNADLINGER, 2001).

Um sistema de reservatório de águas pluviais apresenta as diversas vantagens, entre elas: diminui o risco de inundações urbanas e favorece a economia de água potável na rega de jardins, lavagem de veículos, sistemas de combate a incêndios; lavagem de roupas e bacias sanitárias (MAY, 2009).

Um fator de grande preocupação é a proliferação de doenças ocasionadas pelo acúmulo de água sem tratamento em cisternas. Por ingestão as águas contaminadas podem ocasionar doenças como: cólera, febre, tifoide, gastroenterite e leptospirose. Por contato, as águas contaminadas podem ocasionar doenças como: escabiose, tracoma, esquistossomose, e por meio de insetos que se desenvolvem em águas paradas, doenças como: dengue, febre amarela, malária, entre outras (MAY, 2009).

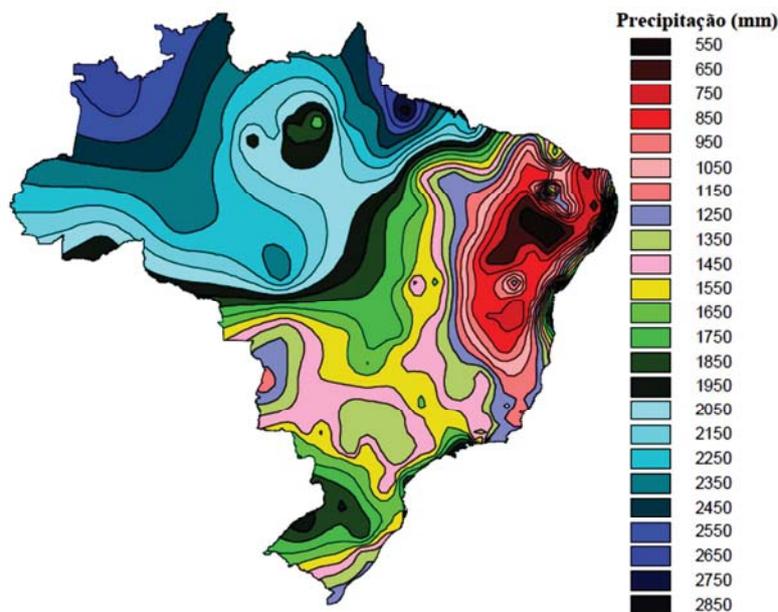
A captação de água de chuva para fins não potáveis é utilizada há muito tempo, mas a maioria dos estados brasileiros ainda não possui normas regulamentadoras para o aproveitamento dessas águas. Em 1934, foi instaurado o Código de Águas que traz alguns comentários sobre as águas pluviais. No que aborda o assunto a lei mais recente é a NBR 15527 (ABNT, 2007) sobre Água de Chuva - Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins não Potáveis - Requisitos. Essa Norma fornece os requisitos para o aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Trata ainda de assuntos como a concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva, calhas e condutores, reservatórios, instalações prediais, qualidade da água, bombeamento e manutenção (OURIQUES; BARROSO 2009).

Em regiões como o Nordeste brasileiro, onde água é de difícil acesso, seja para o uso doméstico ou para o consumo humano, a população se vê obrigada a usar e consumir água de qualidade duvidosa, que vem associada a uma série de doenças já citadas, tendo muitas vezes que andar quilômetros para conseguir água. Uma alternativa que resolve esse conflito é a captação de água da chuva, algo relativamente fácil de fazer e que com um tratamento adequado pode ser utilizada inclusive para o consumo humano (SOARES, 2004).

Embora o Rio Grande do Sul possua condições ambientais mais favoráveis em termos de disponibilidade hídrica, o Estado tem passado por épocas de estiagem como exemplo, o ocorrido em maio de 2012 onde vários municípios decretaram estado de emergência devido a seca. As chuvas nem sempre são bem distribuídas durante o ano no Estado, sendo possível verificar situações de enchentes e logo em um mês seguinte, uma situação de estiagem, ocasionando extremos de falta e sobra de água da chuva.

No Brasil a média de precipitação anual é de 1.707 mm, variando de 800 mm nas regiões semiáridas do nordeste ate mais de 2.500 mm na Amazônia, variações relacionadas na Figura 1.

Figura 1: Isoietas anuais no país, entre 1961 e 1990.



Fonte: Agencia Nacional de Águas, 2012.

Na região amazônica, as chuvas são abundantes e regulares e se concentram nos meses de novembro a maio. A distribuição das isoietas paralelas à linha do equador é influenciada pela zona de convergência intertropical. Já no nordeste do país, as chuvas ocorrem com maior

frequência no período de março a julho. No nordeste setentrional, a precipitação é mais intensa no período de março a maio.

A região Centro-Oeste passa por invernos secos durante o período de junho a agosto. Na região sudeste ocorre uma diminuição das chuvas durante o inverno, principalmente no período de junho e agosto, e o aumento das chuvas acontece no verão entre os meses de dezembro a fevereiro. Na região sul, geralmente as chuvas são bem distribuídas.

2.1.4 Qualidade das Águas de Chuva

Muitos fatores podem influenciar na qualidade da água da chuva, dentre eles pode-se citar a localização geográfica (proximidade do oceano), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (regime dos ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora. Em regiões próximas aos oceanos existe uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva, já em regiões com grandes áreas não pavimentadas, ou seja, com grandes áreas de terra, provavelmente, estarão presentes na água da chuva partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro (ANECCHINI, 2005).

Geralmente as águas da chuva apresentam boa qualidade devido ao seu processo de destilação natural que é ligado ao ciclo hidrológico e aos processos de evaporação e condensação. Entretanto a qualidade pode ser influenciada nas regiões próximas a grande centros urbanos ou industriais, por poder carregar poluentes que inviabilizam a sua utilização devido a altas concentrações de óxidos de enxofre e nitrogênio (CAMPOS, 2004).

Em muitos casos, a qualidade da água da chuva supera as das águas superficiais e subterrâneas, já que ela não entra em contato com solos e rochas, os quais dissolvem sais minerais, e não está sujeita a tantos poluentes como as águas superficiais, os quais podem contaminar as águas subterrâneas. Entretanto a qualidade da água da chuva pode ser influenciada pela qualidade do ar do local, dependendo do grau industrialização ali existente (GONÇALVES, 2006).

A qualidade da água de chuva, portanto é influenciada por vários fatores:

- a) Localização, regime de chuvas, condições climáticas da região, zona urbana ou rural;
- b) Características da bacia, densidade demográfica, área impermeabilizada, declividade, tipo de solo, área recoberta por vegetação e seu tipo;
- c) Tipo e intensidade de tráfego;
- d) Superfície drenada e tipo de material constituinte: concreto, asfalto, grama, etc;

- e) Lavagem da superfície drenada, frequência e qualidade da água de lavagem; (FIESP; CIESP, 2005),

Appan (1999) avaliou a possibilidade de aproveitamento das águas de chuvas, coletadas de telhados, para uso não-potável, para uma região urbana, onde a precipitação média anual é da ordem de 2.250 mm. Concluiu que a água detém qualidades aceitáveis, para usos não potáveis, é, portanto, recomendável a realização da elevação do pH e desinfecção.

Em uma investigação da qualidade das águas, coletadas de telhados, em regiões rurais na Nova Zelândia. Foram analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Os resultados demonstraram que 17,6% das amostras apresentavam valores, de um ou mais parâmetros químicos, superiores aos estabelecidos pelo padrão de potabilidade. Em relação aos aspectos microbiológicos, em 56% dos casos, os parâmetros excederam ao padrão de potabilidade (SIMMONS et al. 2001).

Outra característica de interferência na qualidade das águas da chuva é a acidez que baseia-se no equilíbrio entre água pura e dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. No estudo de Fornaro (1991), o valor de pH 5,6 foi considerado “fronteira natural” nessa caracterização. Porém, valores de pH de 5 encontrado ao redor da região de estudo consideradas regiões não poluídas, variaram consideravelmente em função da “limpeza atmosférica” pela água de chuva, assim como pelas condições geográficas dos ciclos de enxofre e nitrogênio ou emissões naturais de ácidos orgânicos. Desse modo, considera-se “chuva ácida” aquela que apresentar valor de pH < 5 e “chuva alcalina” aquela com pH > 6. Estudos sobre acidez em águas de chuva em regiões industrializadas mostraram valores de pH menores que 4,5 chegando a 2 para eventos isolados. Em eventos com predomínio de espécies alcalinas, ou potencialmente neutralizantes da acidez (por exemplo, amônia, carbonato ou hidróxido), o valor de pH pode ser superior a 7.

Pereira e Mueller (2001) estudaram a ocorrência de chuva ácida em duas localidades de Blumenau (SC), ao que obtiveram que a caracterização química das águas das chuvas revelou que os bairros Velha e Asilo possuem ocorrência de chuvas ácidas. Os resultados de pH das amostras coletadas no bairro Velha ficaram na faixa 4,62 a 5,50, e, no bairro Asilo, a acidez detectada foi maior com valores entre 4,47 a 5,15.

Para a caracterização química da precipitação atmosférica têm sido priorizadas as medida de pH e condutividade, por serem mais acessíveis; seguindo se de determinação de SO_4^{-2} e NO_3^- , sendo que pesquisas mais detalhadas abrangem em geral, Cl^- , NH_4^+ , Na^+ , e,

eventualmente metais pesados espécies orgânicos como ácidos carboxílicos (FORNARO e GUTZ, 2003).

Segundo Hagemann (2009), os parâmetros que determinam a qualidade da água são divididos em três classes: parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos. Os parâmetros físicos estão relacionados com a presença de sólidos e gases na água e dentre os principais destacam-se os sólidos totais, turbidez e temperatura. Nos parâmetros químicos destacam-se: oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), potencial Hidrogeniônico (pH), fósforo e nitrogênio. Os parâmetros biológicos indicam a presença de seres vivos na água e os mais comumente analisados são os Coliformes Totais e termotolerantes, a *Escherichia coli* é a bactéria mais representativa do grupo Coliformes Termotolerantes.

Quadro 1: Comparação de valores médios de algumas espécies iônicas presentes em águas de chuva para diferentes regiões do Brasil.

Local	Vila Parisi Cubatão (SP)	São Paulo (SP)	Amazônia Central (AM)	Rio de Janeiro (RJ)	Belo Horizonte (MG)	Piracicaba (SP)	São Paulo (SP)	Figueira (PR)	Candiota (RS)	Ilha Grande (RJ)
Data	4/1984-10/1985	10/1983 - 10/1985	10/1988 - 6/1990	9/1988-8/1989	10/1993 - 2/1994	8/1997-7/1998	7/2002-2/2003	6/1999-6/2000	1-6/2001	3-9/2002
pH	>5,5	5,0	4,7	4,77	5,15	4,5	4,99	5,0	5,33	5,05
Cl ⁻	172	16,6	4,6	66,6	-	6,0	6,54	16	7,57	178,2
NO ₃ ⁻	70,6	30,0	4,2	15,8	12,0	13,8	21,2	13	5,22	12,0
SO ₄ ²⁻	250	24,0	1,0	20,6	12,6	13,8	21,2	13	5,22	12,0
Na ⁺	84,8	10,0	2,4	62,6	-	2,1	15,0	35	5,27	142,2
Ca ²⁺	346	20,0	1,2	15,1	22,0	2,1	5,33	16	4,42	4,6
NH ₄ ⁺	93,5	37,8	3,0	18,8	18,1	11,6	37,6	30	5,81	9,9
Ref.	Moreira - Nordemann et al. 1986	Forti et al. 1990	Willims et al. 1997	Mello, 2001	Figueiredo, 1999	Lara et al., 2001	Leal et al. 2004	Flues et al. 2002	Migliavacca et al. 2005	Souza et al. 2006

Fonte: Fornaro, 2006.

Os valores das espécies iônicas são relativos e muito variáveis os componentes encontrados em água de chuva variando conforme as características de cada região, influenciados geralmente pelo nível e potencial industrial do mesmo.

Com relação ao padrão de potabilidade da Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde, a chuva coletada do telhado em Vitória no Espírito Sando, segundo Anechini (2005), atende com folga a muitos padrões, com exceção dos padrões microbiológicos. Porém diversos estudos identificaram a presença de agentes patogênicos específicos, os quais podem causar um risco potencial para a saúde.

2.1.5 Interferências na Qualidade da Água de Chuva

Em decorrência do rápido desenvolvimento das indústrias e centros urbanos ocorre um aumento significativo na poluição atmosférica relacionado à grande emissão proveniente de veículos e processos industriais. Dentre os principais poluentes podem-se citar compostos de enxofre, carbono e nitrogênio, geralmente agregados ao material particulado atmosférico na forma de aerossóis ou de precipitação úmida e seca. Porém, em regiões em que haja indústrias, podem-se ainda encontrar outros poluentes, produtos da queima incompleta de combustíveis fósseis e emissões industriais típicas, como CO_2 , NH_3 , H_2SO_4 , SO_2 , NO_x , metais tóxicos e óxidos de metais. Tais substâncias podem se dissolver na água da chuva e se incorporarem nos ciclos elementares ocasionando mudanças permanentes nos processos geoquímicos dos ecossistemas locais (MIGLIAVACCA et al., 2005).

Um importante processo de remoção de espécies inorgânicas e orgânicas da atmosfera é a precipitação atmosférica, úmida ou seca. Ao analisá-la, é possível determinar a presença de espécies inorgânicas, proveniente de fontes naturais e antrópicas em uma determinada região. O processo de formação dos poluentes atmosféricos pode ocorrer de duas formas: primários quando os poluentes são emitidos à atmosfera diretamente pelas fontes emissoras; e secundários, quando formados através de reações dos poluentes primários na atmosfera. Estes são constituídos principalmente pelas reações de oxidação de NO_x ou SO_2 emitidos à atmosfera. Em geral, para a caracterização química da deposição úmida atmosférica são priorizadas as medidas de pH, condutividade, SO_4^{2-} e NO_3^- . Podem ainda, ser depositados na superfície terrestre através de formas úmidas e secas. Portanto, são esses dois processos, primários e secundários, os principais contribuintes na formação da precipitação ácida (WELLBURN, 1988).

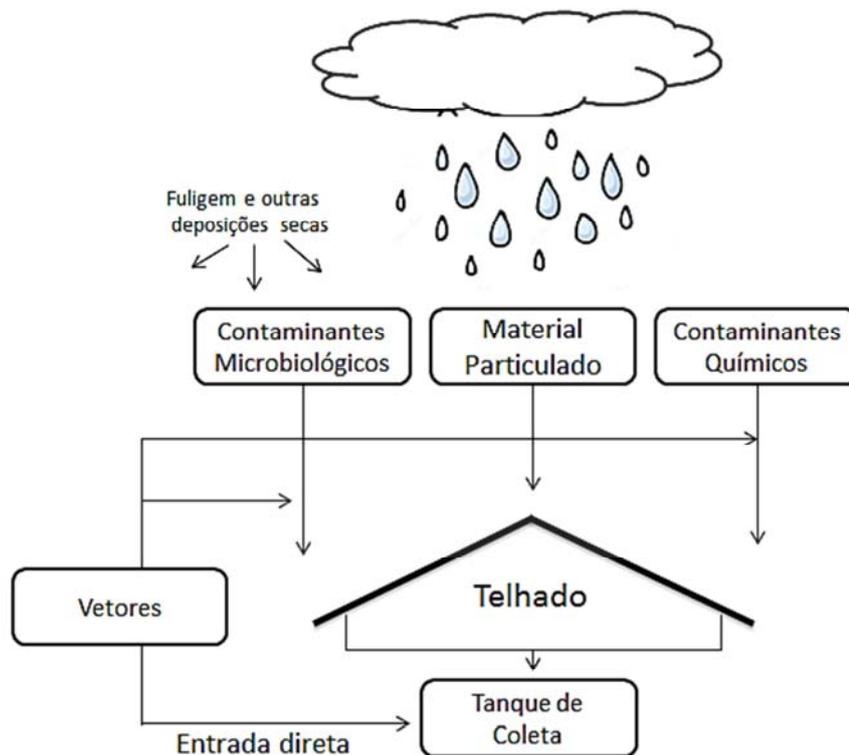
No estado de São Paulo poluentes considerados chave para avaliação da qualidade do ar (partículas totais e inaláveis, fumaça, SO_2 , NO , NO_2 , CO e O_3) são monitorados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). No entanto, o mesmo não acontece com a precipitação, cujo conhecimento também é relevante, uma vez que a eficiência da remoção úmida de muitos poluentes resulta em impacto negativo nos mananciais, na biota e sobre os materiais expostos a essa deposição (LEAL et al., 2004).

Outros fatores que influenciam a qualidade da água da chuva colhida incluem: geometria do telhado (tamanho, exposição e inclinação), material do telhado (características químicas, aspereza, revestimento de superfície, idade e tempo capacidade), localização do telhado (proximidade das fontes de poluição), a manutenção história do telhado, eventos de

precipitação (velocidade do vento, intensidade e concentração de poluentes), outros meteorológicos fatores (estações, características climáticas, e período seco antecedente), e concentração de substâncias na atmosfera (transporte, emissão, meia-vida, e distribuição de fase) (ABBASI; ABBASI, 2011).

A Figura 2 exemplifica as principais formas de contaminação da água de chuva através da coleta realizada em telhados.

Figura 2: Como pode ocorrer a contaminação da água da chuva durante a coleta.



Fonte: Adaptado de Kwaadsteniet et al., (2013).

2.1.6 Áreas de Captação

As áreas de captação da água da chuva são geralmente telhados ou áreas impermeáveis sobre a superfície do solo como estacionamentos, calçadas e pátios e possuem influência sobre a qualidade da água. É mais comum a captação da água dos telhados, por apresentar melhor qualidade, visto que áreas sobre a superfície do solo geralmente sofrem a influência direta do tráfego de pessoas e veículos. A captação em telhados também possibilita que na

maioria dos casos a água atinja o reservatório de armazenamento por gravidade, o que facilita o projeto.

Os telhados podem ser constituídos de diversos materiais como telha cerâmica, fibrocimento, zinco, aço galvanizado, plástico, entre outros. O material do qual é constituído o telhado é importante para a definição do coeficiente de escoamento superficial, que determina quanto da água precipitada se transforma em escoamento. Além disso, conhecer a composição do material do telhado é importante para evitar a contaminação da água da chuva devido a componentes tóxicos, que possam ser lixiviados no decorrer da precipitação (HAGEMAN 2009).

Segundo Campos (2004), além de interferir na capacidade de captar a água, o tipo de revestimento pode contribuir para a qualidade da água captada, por exemplo, as folhas de ferro galvanizado em determinados dias devido a alta temperatura da superfície que ajuda a esterilizar a água. As telhas de cerâmica se vitrificadas apresentam melhor qualidade e ao contrário podem apresentar mofo e contaminação nas junções de telhas. Telhas de amianto podem atribuir boa qualidade a água, não existe nenhuma evidência de efeito cancerígeno pela ingestão de água que passa por elas.

O UNEP (2002) recomenda alguns cuidados que devem ser tomados com a área de captação, incluindo a limpeza frequente e remoção de materiais que possam ficar depositados sobre o telhado tais como poeira, folhas, galhos e fezes de animais, a fim de minimizar a contaminação e manter a qualidade da água coletada. Preferencialmente, os telhados devem ser protegidos de árvores para evitar a queda de folhas e galhos além de danos causados por pássaros e outros animais.

O sistema de coleta de água da chuva deve ser composto por um sistema de peneiras para evitar entupimentos nos condutores, e também evitar a entrada de folhas, galhos e outros materiais grosseiros no interior do reservatório de armazenamento, porque podem se decompor prejudicando a qualidade da água. Esse procedimento pode ser feito com a instalação de telhas ou grades nas calhas na entrada ou na entrada dos reservatórios (GONÇALVES, 2006).

A chuva inicial, ou os primeiros milímetros de chuva é considerada a mais poluída, por lavar a atmosfera e a superfície de captação. Durante os períodos secos, as áreas de captação da água de chuva interceptam e acumulam resíduos, como folhas, poeira, pequenos animais mortos, fezes de animais, poluentes do tráfego e industriais, entre outros. A primeira parte da chuva tende carregar consigo os poluentes presentes nestes dois ambientes (HAGEMANN, 2009).

2.1.7 Legislação Para a Coleta e Aproveitamento de Águas de Chuva

Apesar do sistema de coleta e aproveitamento de águas de chuva ser utilizado há anos em algumas regiões do Brasil, somente em setembro de 2007 entrou em vigor a NBR 15527/2007 - “Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis”. Esta Norma fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

Esta Norma se aplica a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

A norma define termos como:

- a) Água de chuva: água resultante de precipitações atmosféricas coletadas em coberturas, telhados onde não haja circulação de pessoas, veículos e animais;
- b) Água não potável: água que não atente à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (Atualizada: 2914/11);
- c) Área de captação: área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada;
- d) Coeficiente de escoamento superficial: coeficiente que representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e ao volume total precipitado variando conforme a superfície;
- e) Demanda: consumo médio (mensal ou diário) a ser atendido para fins não potáveis;
- f) Escoamento inicial: água suficiente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas galhos e detritos;
- g) Suprimento: fonte alternativa de água para complementar o reservatório de água de chuva.

A NBR 15527/2007 aborda ainda as condições gerais sobre: concepção do sistema de aproveitamento de águas pluviais, calhas e condutores, reservatórios de descarte (reservatório utilizado para coletar a água de escoamento inicial) e reservatório de águas pluviais (reservatório utilizado para a acumulação das águas pluviais), instalações prediais, qualidade da água, bombeamento e manutenção do sistema.

2.1.8 Qualidade de Água para Consumo Humano

A portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2014).

Art. 2º Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.

Quanto à aplicabilidade:

Art. 3º Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Art. 4º Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Algumas definições:

VI - sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição;

VII - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição;

VIII - solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares;

XV - controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição;

XVI - vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a esta Portaria, considerados os aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana.

A PORTARIA n°2914/11 também estabelece limites de vários parâmetros, que afetam a qualidade microbiológica da água e os limites para algumas substâncias químicas que representam riscos à saúde. Alguns desses limites são apresentados abaixo:

- a) Cloro Residual Livre - As concentrações ideais de cloro residual livre para que a água seja considerada potável, conforme a Portaria MS n°2914/11 deve ser no mínimo de 0,2 mg/L e no máximo de 2,0 mg/L.
- b) Turbidez - A portaria MS n°. N°2914/11 estabelece como padrão de turbidez para a potabilidade o limite máximo de 5,0 UT para qualquer amostra pontual.
- c) Coliformes Totais e presença de *Escherichia coli* - Em relação aos coliformes totais
- d) Coliformes Termotolerantes (*Escherichia Coli*), a portaria MS N°2914/11, para caracterizar a potabilidade da água, determina a ausência dessas bactérias em 100 mL da amostra.

Além da PORTARIA n°2914/11, também é considerada uma boa fonte de parâmetros e pode ser usada como complemento no estudo da potabilidade da água a Diretiva Europeia n° 98/83/CE do Conselho de 03 de novembro de 1998. A diretiva diz respeito à qualidade da água destinada ao consumo humano, e tem o objetivo de proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação da água destinada ao consumo humano assegurando a sua salubridade e limpeza.

2.2 Processos de Separação por Membranas

2.2.1 Aspectos Gerais

Os processos de separação por membranas (PSM) e suas aplicações industriais são consideravelmente recentes. A partir de uma simples ferramenta de laboratório para processos industriais que representam uma considerável técnica de impacto comercial.

A tecnologia de membranas é emergente e tornou-se cada vez mais importante. O avanço significativo para aplicações industriais de membranas sintéticas começou na década de 1960. Com quase 50 anos de rápido desenvolvimento, hoje em dia, os processos de membrana diferentes têm encontrado inúmeras aplicações industriais que abrangem tratamento de águas residuais de laticínios, tratamento de água do mar e dessalinização de água salobra, recuperação de águas residuais, produção de alimentos e bebidas, separação de gás e vapor, conversão e armazenamento de energia, controle de poluição do ar e tratamento

de resíduos industriais perigosos, hemodiálise, proteínas e separação de microrganismos, etc. (MUNIR, 2006).

Segundo Strathmann (1990), Em muitos casos, os processos de membrana são mais rápido, mais eficientes e mais econômicos do que as técnicas convencionais de separação. Com membranas, a separação normalmente é realizada à temperatura ambiente, permitindo assim soluções sensíveis à temperatura a ser tratados sem os componentes serem danificados ou alterados quimicamente.

Uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases (HABERT et al., 2006).

No sentido mais geral, uma membrana sintética é uma barreira que separa as duas fases e limita o transporte de uma variedade de produtos químicos ou espécies de uma maneira bastante específica (STRATHMANN, 1990).

A tecnologia de membranas é largamente aceita como um meio de obtenção de diversas características potáveis a partir de águas de superfícies água de poço, água salobra e água do mar. Além de serem usadas em processos industriais e na indústria de tratamento de águas, essa tecnologia tem se deslocado também para áreas de tratamento secundário e terciário de águas residuais municipais por exemplo (WAGNER, 2001).

O uso de membranas para o tratamento de água potável se expandiu rapidamente na América do Norte, devido à crescente preocupação com subprodutos da desinfecção e com microrganismos específicos, além do aumento do número de parâmetros e restrições das normas sobre a qualidade da água para abastecimento (JACANGELO et al., 1997).

“As membranas são utilizadas em larga escala para a produção de água potável a partir da água do mar por osmose reversa, para tratar efluentes industriais e recuperar componentes de interesse por eletrodialise, a macromolecular, fracionar soluções na indústria de alimentos e medicamentos por ultrafiltração, para remover ureia e outras toxinas do sangue através de diálise em um rim artificial, e liberar drogas tais como escopolamina, nitroglicerina, entre outras, a uma velocidade pré-determinada em tratamentos médicos. Embora os processos de membrana possuam muitas diferenças nos seus modos de funcionamento, nas estruturas utilizadas como barreiras de separação, e na condução forçada utilizados para o transporte dos diferentes componentes químicos, elas têm também várias características em comum que as tornam atrativas como uma ferramenta de separação” (STRATHMANN, 1990).

Em alguns casos, um processo de membrana é seguido por outro com a finalidade de aumentar a produção de água pura e de qualidade para diversos fins. Um tipo de membrana pode, assim, melhorar a função de outro tratamento para cumprir as metas que podem ser até mesmo a eliminação de águas residuais para a produção de água potável a partir de fontes alternativas. Dessa forma, a tecnologia de membrana oferece a possibilidade de administrar os recursos hídricos de uma região, que é de interesse especial em áreas geográficas onde os recursos naturais de água são escassos (NICOLAISEN, 2002).

Membranas representam um novo e importante conjunto de processos de tratamento de água potável. Apresentam potenciais resultados como recursos de tratamento universal e custo competitivo. Existem poucos contaminantes da água que não podem ser removidas devido a viabilidade econômica por processos de membrana e várias possibilidades de aplicação foram descrito em livros de texto sobre o tratamento da água. Os processos de membrana com a maior aplicação imediata ao potável tratamento de água são de osmose reversa (RO), nanofiltração (NF), eletrodialise (ED), a ultrafiltração (UF) e de microfiltração (MF) (TAYLOR, 2000).

Há muitas maneiras de classificar as membranas sintéticas. Eles podem ser classificados pela natureza do material da membrana, a morfologia da membrana, geometria, métodos de preparação, regime e processos, etc. Por exemplo, a separação, as membranas sintéticas podem ser orgânicos (polimérico) ou inorgânico (cerâmica / metal), sólido ou líquido, ou com carga elétrica neutra, elas podem ser homogêneos ou heterogêneos, simétricos ou assimétricos na sua estrutura (FANE et al., 2011).

As membranas sintéticas comerciais, em sua grande maioria são produzidas a partir de materiais poliméricos com as mais variadas características físicas e químicas. Em função as aplicações a que se destinam, as membranas apresentam diferentes morfologias. De modo geral são classificadas em duas categorias: densas e porosas. As características da superfície da membrana que estão em contato com a solução a ser separada é que vão definir a membrana a ser utilizada. A seguir nas Figuras 3 e 4 são citadas as morfologias da seção transversal das membranas sintéticas mais comuns identificadas nas membranas comerciais:

Figura 3: Membranas Isotrópicas simétricas.

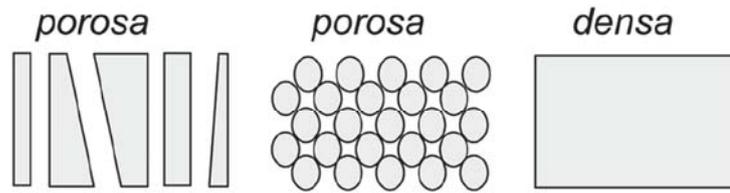
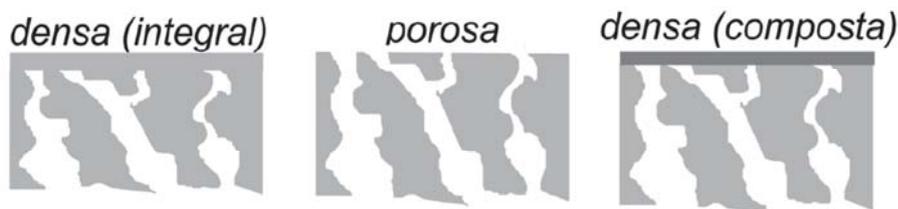


Figura 4: Membranas Isotrópicas assimétricas.



Fonte: Habert et al., (2006)

Atualmente as membranas filtrantes constituem a principal inovação tecnológica nos processos de tratamento de água e esgoto, sendo a primeira grande inovação, desde o desenvolvimento das tecnologias convencionais de tratamento, porém esta tecnologia ainda não está difundida nas estações de tratamento de água no Brasil. Atualmente, os impostos sobre produtos tecnológicos importados estão elevados, dificultando a aquisição da membrana e a expansão desta tecnologia no país. No entanto, acompanhando as novas regulamentações norte-americanas, europeias e da Organização Mundial da Saúde (OMS), o Ministério da Saúde editou a Portaria 2914/2011, incluindo recomendações restritas para vários parâmetros. Estas novas restrições, adotadas como normas, levarão à adoção de novas tecnologias no tratamento de água, sendo uma possibilidade atraente, a separação por membranas filtrantes (SCHNEIDER; TSUTYA, 2001).

A osmose inversa é usada principalmente para remover os sais da água salobra ou água do mar, embora também seja capaz de muito alta rejeição de compostos orgânicos sintéticos (SOC). A nanofiltração, o processo de membrana, mais recentemente desenvolvido, é usado para suavizar águas frescas e remover subprodutos da desinfecção (PAD) precursores. Eletrodialise é usado para desmineralizar água salobra e água do mar e para suavizar água doce. A ultrafiltração e microfiltração são usados para remover a turbidez, agentes patogênicos, e partículas de águas doces. No sentido mais amplo, uma membrana, o elemento

comum de todos estes processos podem ser definidas como qualquer barreira ao fluxo de suspensão coloidal, ou a espécie dissolvida em qualquer solvente. O tamanho aplicável intervalos para processos de membrana são apresentados no Quadro 2 a seguir (FANE et al, 2011).

Quadro 2: Principais processos de separação por membranas comerciais.

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material que Permeia	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5-2atm)	Material em suspensão, bactérias. Massa molar >500kDa (0,01 μ m)	Água e sólidos dissolvidos.	Esterilização bacteriana; clarificação de vinhos e cervejas; concentração de células; oxigenação de sangue.
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1-7atm)	Coloides, macromoléculas. Massa molar. >5000Da	Água (solventes) sais solúveis de baixa massa molar.	Fracionamento/Concentração de proteínas, recuperação de pigmentos/óleos.
Nanofiltração (NF)	ΔP (5-25 atm)	Moléculas de massa molar. Média: 500<MM<2.000Da	Água, sais, moléculas de baixa massa molar.	Purificação de enzimas, biorreatores a membrana.
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15-80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão.	Água (solvente)	Dessalinização de águas; concentração de suco de frutas, desmineralização de águas.

Fonte: Yoshida, 2005.

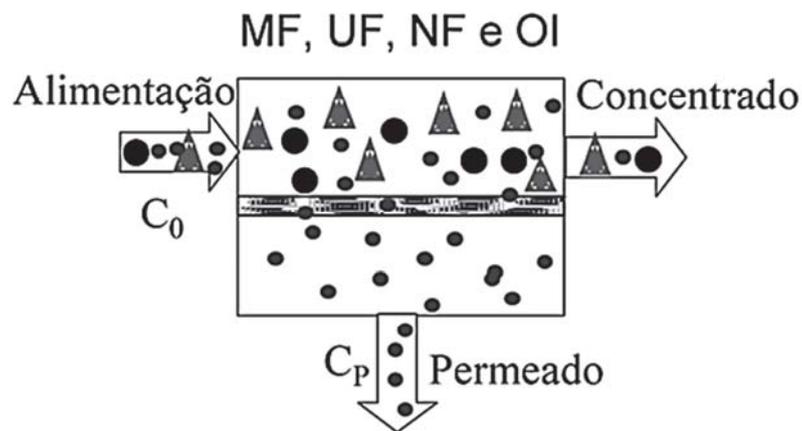
Os processos de separação por membranas podem ser entendidos como uma extensão da filtração convencional, utilizados para separar um solvente (H₂O) dos sólidos dissolvidos de uma solução. Entre eles se destacam a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF) e a osmose inversa (OI) que utilizam a pressão hidráulica como força motriz para separar a água dos contaminantes. Os mesmos foram desenvolvidos para aplicações em várias áreas, como a separação, purificação e recuperação seletiva de soluções, e entre elas o tratamento de águas (SCOTT; HUGHES, 1996).

As maiorias dos processos de membrana dependem de pressão como a força motriz para o transporte de fluido em toda a membrana. Elas podem ser classificadas pelos tipos de materiais que elas rejeitam e os mecanismos pelos quais a rejeição ocorrer a progressão da microfiltração para ultrafiltração, nanofiltração para a osmose inversa, corresponde a uma

diferença mínima diminuindo tamanho dos componentes rejeitadas pelas membranas, bem como o aumento das pressões necessárias para o transporte de fluidos através das membranas e diminuindo as recuperações (TAYLOR, 2000).

Os PSM se diferenciam por diferentes modos de operação, diversos tipos de força motriz são empregados para o transporte dos permeantes, com características comuns que os tornam atrativos. São considerados mais rápidos, eficientes e econômicos quando comparados aos processos convencionais de separação. É chamado de alimentação o material a ser filtrados, e de permeado a corrente que permeia através da membrana conforme esquema apresentado na Figura 5 (PEISINO, 2009).

Figura 5: Esquema representativo dos processos de separação por membranas (PMS).



Fonte: Pesino (2009).

Para que ocorra o transporte de uma espécie através de uma membrana é necessária a existência de uma força motriz agindo sobre a mesma. O PSM utilizam como força motriz o gradiente de potencial químico, associado ou não com o gradiente de potencial elétrico. Em geral, o gradiente de potencial químico pode ser expresso em termos de gradiente de pressão e de concentração. Processos cuja Força Motriz é o Gradiente de Pressão:

- a) Microfiltração
- b) Ultrafiltração
- c) Nanofiltração
- d) Osmose Inversa

2.2.2 Vantagens da Utilização de Membranas

Todos os processos de membrana podem rejeitar contaminantes tais como turbidez ou patógenos, mas UF e MF são os processos mais rentáveis para o controle de partículas grandes. Menores contaminantes são removidos através de exclusão de tamanho, repulsão de carga, ou difusão de mecanismos nos processos de membrana, deixando algum residual. Embora tal residual pode estar abaixo do nível de detecção, do que realmente está presente (WANG et al., 2011).

Contaminantes maiores do que o tamanho máximo do poro da membrana são completamente removidos por peneiração em um processo de difusão controlada. A rejeição de contaminantes se dá por meio de processos de membrana através de difusão controlada que aumenta à medida que as espécies de carga e tamanho aumentam (TAYLOR, 2000).

Segundo Habert et al., (2006), as principais vantagens dos processos de separação com membranas são:

- a) Economia de energia: promovem a separação sem que ocorra a mudança de fase, o que representa processos energeticamente favoráveis;
- b) Seletividade: característica importante, e em alguns casos esses processos representam a única alternativa técnica de separação, entretanto podem ser aplicados em conjunto com outros processos, resultando em economia e vantajosa eficiência;
- c) Separação de compostos Termolábeis: operam a temperaturas ambientes, podendo ser aplicados em misturas termosensíveis, ampliando o campo de aplicação em indústria alimentícia e farmacêutica e mais recentemente na recuperação de produtos e recuperação de células em biotecnologias;
- d) Simplicidade de operação e escalonamento: são extremamente simples do ponto de vista operacional e não intensiva em mão de obra, e em termos de escalonamento permite que os dados obtidos em um sistema piloto sejam utilizados para o dimensionamento de uma planta em escala industrial;

É importante ressaltar que membranas são sistemas de separação de materiais, ou seja, não ocorre transformação química ou biológica de componentes durante a filtração. A seletividade de membranas é variada por meio de modificação do tamanho dos poros ou pela alteração das propriedades físico-químicas dos polímeros componentes da membrana, principalmente daqueles localizados na superfície (SILVA, 2008).

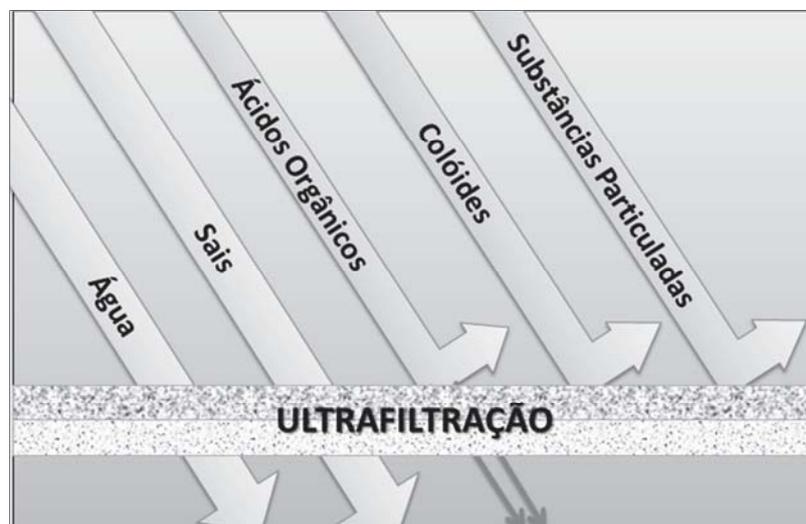
2.2.3 Ultrafiltração

Os primórdios da ultrafiltração (UF) são coincidentes com a de osmose reversa (RO) por volta de 1960. Apesar do fato de o termo "ultrafiltração" primeiro apareceu na literatura colóide no final do século passado e Bechhold, em 1906 produziu membranas colóidio com tamanhos de poros abaixo de $0,01\mu\text{m}$, essas membranas não passavam de curiosidades de laboratório. A permeabilidade hidráulica era baixa e os poros eram facilmente conectados. (PORTER, 1990).

As características comuns de diferentes aplicações de ultrafiltração são resumidas sob os títulos: Concentração, Fracionamento, “matando dois coelhos com uma só pedra”, tratamento de águas residuais, uma combinação de processos de separação e Sistemas integrados de processos. As aplicações em geral, são: a produção de água ultrapura, fabricação de queijos, soro de leite e recuperação da proteína de batata, do ovo e processamento de sangue, a clarificação de suco, vinho, vinagre e soluções de gelatina, o processamento de tratamento a jusante, e em biorreatores, recuperação de tintas de eletrodeposição, tratamento de óleo e emulsões de látex aplicações na indústria de papel e celulose, como o tratamento de efluentes da unidade de branqueamento, a recuperação de compostos de lignina licores de polpa (JONSON, 1990).

Ultrafiltração é um processo de separação seletiva (Figura 6), utilizado para concentrar e purificar componentes de peso molecular médio a alto, tais como: proteínas lácteas, carboidratos e enzimas. Áreas comuns de aplicação são concentração de proteínas de soro de leite, desmineralização e concentração de gelatinas e clarificação de sucos de frutas. A ultrafiltração permite a passagem apenas de água, sais e uma pequena parcela de ácidos orgânicos.

Figura 6: Exemplo da Configuração de Ultrafiltração



Fonte: Próprio Autor.

A ultrafiltração é um processo de separação por membranas utilizado quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de ultrafiltração apresentam poros na faixa entre 1 e 100 nm, portanto mais fechadas do que as membranas de microfiltração. Soluções contendo solutos numa ampla faixa de peso molecular (10^3 a 10^6 Daltons) podem ser tratadas por este processo. Como os poros das membranas de ultrafiltração são menores, é necessário uma maior força motriz para se obter fluxos permeados elevados o suficiente para que o processo possa ser utilizado industrialmente. Por esse motivo as diferenças de pressão transmembrana variam na faixa de 2 a 10 bar (MOTTA, 2005).

O Coeficiente de rejeição, R , de uma membrana para um dado soluto é definido pela relação:

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_o}$$

Onde C_p e C_o representam o concentração do soluto no permeado e na alimentação, respectivamente.

O processo de ultrafiltração oferece inúmeras possibilidades de separação. Aplicações comerciais de ultrafiltração são numerosas e são encontrados em muitos diferentes campos. é utilizada para a recuperação do produto e no controlo da poluição na química, eletrônica, bem como, as indústrias de alimentos e biotecnológica (JONSON, 1990).

Estudos relatam que em escala de bancada, todas as membranas testadas (três MF e três UF), exceto uma membrana MF (para o qual o anel de vedação da membrana verificou-se ser defeituoso) e *Cryptosporidium* e *Giardia* foram removidos e identificados abaixo do limite de detecção (JACANGELO et al., 1995).

A ultrafiltração é largamente aplicada clarificação, concentração e fracionamento de solutos, e também largamente utilizada na indústria de alimentos, bebidas e laticínios. Alguns exemplos são a recuperação de tintas coloidais utilizadas na pintura de veículos, recuperação de proteínas do soro de queijo, produção de queijo, recuperação da goma na indústria têxtil, recuperação de óleos, etc. (MOTTA, 2005).

A escolha do processo de separação para uma aplicação específica é influenciada por vários fatores como: a natureza dos solutos, o grau de separação exigida e o volume da solução a ser tratada, por exemplo. Nesta competição entre os processos, as vantagens mais importantes de ultrafiltração são a sua capacidade de fracionamento, o baixo consumo de energia e a flexibilidade na as temperaturas de funcionamento (JONSON, 1990).

2.2.4 Ultrafiltração para Tratamento de Água de Chuva

Guedes (2012) testou a microfiltração para tratamento de água da chuva, com descarte inicial. A partir das análises físico-químicas (pH, alcalinidade total, dureza, cor e turbidez) e bacteriológicas (coliformes totais e termotolerantes) da água de chuva coletada do telhado foi possível verificar a eficiência do sistema na remoção das impurezas presentes. O sistema de microfiltração apresentou um bom desempenho no tratamento da água de chuva, removendo parâmetros de interesse na pesquisa.

Mierwza et al., (2008) utilizou membrana de ultrafiltração para tratamento de água captada de mananciais. Com estes resultados sobre a qualidade do permeado produzido evidenciaram o potencial de utilização de tecnologias de separação por membranas no tratamento de água para abastecimento público, principalmente em regiões que apresentam problemas de contaminação de seus mananciais.

Kim et al. (2007) buscou novas tecnologias para reutilizar águas cinzas e pluviais em edifícios de escritórios através de experiências em escala laboratorial. O meio filtrante de fibra foi útil para controlar a primeira descarga de água da chuva, mas não foi suficiente para produzir água para uso não potável nos edifícios. As membranas de metal testadas rejeitaram eficientemente partículas em águas cinzas e águas pluviais. Membranas com maior tamanho de poro resultam em rejeição mais lenta, mas inferior a incrustação. Concluiu também que o tratamento da água da chuva custa muito menos do que a água cinza.

Varbanets et al., (2008) estudou vários sistemas que utilizam membranas para obtenção de água potável, os custos da maioria das soluções incluindo membranas podem ser considerados adequados para as famílias de renda média. Os fatores que limitam a sua aplicação em áreas remotas são a manutenção anual e o nível de ensino necessário para operar os sistemas corretamente. Uma consideração feita é que geralmente esses sistemas necessitam de energia externa (eletricidade), que em alguns casos pode não estar disponível no em áreas mais isoladas e restritas. Para contornar o problema, há alguns sistemas propostos a funcionar com pressão gravitacional.

Sistemas de ultrafiltração instalados em ponto de entrada, testados com pré-tratamento de carvão ativado em águas subterrâneas tiveram custos de investimento do sistema de 2700–3000\$ para sistemas movidos a eletricidade para operar em países em transição, os países industrializados e países desenvolvidos. Já um sistema de pequena escala com capacidade de produção de 60000l/dia pode ser implantado a um custo de investimento de 141000\$ (VARBANETS et al., 2009).

Sistemas de água potável descentralizadas são elementos importantes no processo de alcançar os objetivos de desenvolvimento do milênio, como sistemas centralizados são muitas vezes deficientes ou inexistentes em países em desenvolvimento e em transição. Embora alguns sistemas de baixo custo já estejam disponíveis, a sua aplicação é limitada pela operação e a manutenção diária demorada. Outros sistemas são muito caros para as populações pobres dos países em desenvolvimento e em transição. Sistemas implantados no ponto-de-uso, com base em membranas estão comercialmente disponíveis e são projetados para operar sobre a pressão da torneira ou gravidade. Os sistemas de membrana são atraentes, a ultrafiltração, por exemplo, fornece uma barreira absoluta para patógenos, além de remover cor e turbidez, aumentando assim a qualidade da água. Os custos da membrana diminuíram rapidamente nas últimas décadas e, portanto, passaram a ficar dentro do alcance para aplicação em aplicações de baixo custo em nos países em desenvolvimento e em transição. Essa nova realidade que possibilita a aplicação de membranas como forma garantida de qualidade de água para consumo, confirma o potencial da ultrafiltração para a potabilização da água da chuva (VARBANETS, 2008).

Em comparação com o tratamento de água convencional, a vantagens principais de processos de membrana que são em princípio: a água que pode ser tratada de uma fase sem produtos químicos ou serviços públicos, enquanto o tempo de tratamento é relativamente pequeno. Os desenvolvimentos no campo da tecnologia de membrana durante as últimas décadas resultaram em uma diminuição significativa dos custos de membrana e as necessidades energéticas (CHURCHHOUSE, 2000).

Estudos feitos com planta de ultrafiltração manual, concluíram que esta pode fornecer água para o consumo direto de até 300 pessoas, quando trabalhando com eficiência máxima. A planta projetada para funcionar manualmente não requer qualquer combustível ou adicional fonte de energia, facilitando, assim, a sua aplicação, e tem um design compacto para assegurar fácil manuseio e transporte, o que pode ser alternativa em situações de emergência (ARNAL et al., 2001).

Uma unidade de tratamento de emergência com resposta rápida tem sido desenvolvida também na Universidade de Kassel. O Módulo de membrana microfiltração é impulsionado pela gravidade, livre de produto químico, e pode ser operado por pessoas não treinadas. Ele destina-se a tratar altamente água poluída para 200-500 pessoas durante os primeiros dez dias após um desastre. A principal ideia por trás deste sistema é fornecer simples tratamento de água para cobrir a diferença de tempo do desastre até que as equipas de socorro sejam capazes

de fornecer, instalar ou reparar em longo prazo sistemas de abastecimento de água potável (FRECHEN, 2007).

Varbanets et al., (2008) mostraram que os processos de separação por membranas têm grande potencial para utilização em sistemas descentralizados para fornecimento de água. A UF foi tratada pelo autor como um método seguro para abastecimento de residências ou pequenos centros comerciais ou comunidades, mas que pode necessitar de energia elétrica ou mesmo de manutenções periódicas, o que dificulta uma maior aplicação social ou mesmo inserção em países pobres ou em desenvolvimento. Além disso, a água de chuva foi considerada uma fonte em potencial para abastecimento de sistemas descentralizados, embora o autor não traga informações sobre a UF aplicada para tratamento de água de chuva.

3. METODOLOGIA

3.1 Estratégia da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida através de etapas como pode ser visto na Figura 7.

A descrição das etapas são as seguintes:

- a) Coleta e caracterização da água da chuva, para verificação dos possíveis contaminantes;
- b) Ultrafiltração tangencial em duas pressões de operação e dois tipos de membrana, para verificar a interferência das condições experimentais na qualidade final do permeado;
- c) Experimentos de longa duração com a membrana de melhor desempenho na etapa anterior para avaliação da estabilidade da qualidade da água e do fluxo permeado ao longo do tempo.

Figura 7: Fluxograma do desenvolvimento experimental.



Fonte: Próprio autor.

3.2 Coleta e Caracterização da Água de Chuva

As amostras de água de chuva foram obtidas junto ao prédio CETEC (Centro Tecnológico) da Universidade de Passo Fundo, localizado em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil (coordenadas: 28°13'38.52"S e 52°23'11.74"O), a Figura 8 demonstra o entorno do prédio, e o local da coleta.

Figura 8: Localização da Coleta.

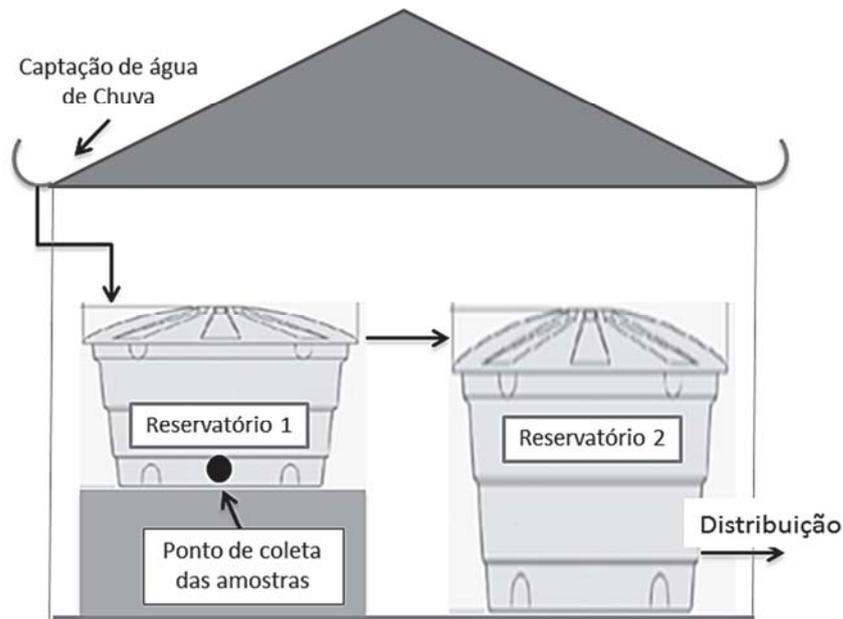


Fonte: Google Earth, 2015.

A captação da água da chuva foi realizada em uma parte do telhado de fibrocimento com 50 m² de área. O direcionamento da água é realizado pelas calhas e conduzido a dois reservatórios de armazenamento (2500 L e 5000 L de capacidade, em polipropileno) dispostos

em série. A coleta foi realizada no primeiro tanque sem o descarte de primeira chuva, como na Figura 9. Em seguida as amostras foram acondicionadas em recipientes de polietileno e transportadas até o laboratório.

Figura 9: Coleta das amostras.



Fonte: Próprio autor.

As coletas seguidas dos ensaios ocorreram durante o período de 25 de março até 9 de outubro de 2014. Foram realizadas 6 coletas de água de chuva em diferentes datas, e a partir de cada coleta dois ensaios, um com cada membrana totalizando 12 ensaios. Todos os ensaios foram realizados duas vezes com cada condição experimental, variando pressão e membrana.

3.3 Caracterização das Amostras

As amostras foram caracterizadas quanto às características químico-físicas e microbiológicas descritas no Quadro 3 seguir:

Quadro 3: Métodos das análises físico-químicas e microbiológicas.

Parâmetro	Princípio do Método	Referência
Alcalinidade	Método Titulométrico com Indicadores Laranja de Metila e Fenolftaleína	NBR 9896/1993
Dureza Total	Método Titulométrico com do EDTA Sódico	NBR 12621/Set 1992

Sulfato	Método Turbidimétrico	APHA, 2000
Nitrogênio Amoniacal	Método do Fenato	NBR 9896/1993
pH	Método Eletrométrico	APHA, 2005
Condutividade Elétrica	Resistência Elétrica	APHA, 2005
Matéria Orgânica	Método do permanganato de potássio	ABNT/ NBR 10739 – Set/1989
Coliformes Totais	Petriefilm EC	Ministério da Agricultura
<i>E. Coli</i>	Petriefilm EC	Ministério da Agricultura
Turbidez	Espectrofotométrico	APHA, 2005
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Micrométrico através da digestão em refluxo fechado e quantificação fotométrica.	APHA, 2005
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Gravimétrico	APHA, 2005
Sólidos Totais (ST)	Gravimétrico	APHA, 2005
Nitrogênio Kjeldahl	Digestão ácida da amostra, destilação e titulação.	APHA, 2005
Nitratos	Colorimétrico	APHA, 2005
Nitritos	Colorimétrico	APHA, 2005
Ácidos Húmicos	Absorbância a 254 nm	-
Fósforo Total	Digestão Ácida	APHA, 2005
Cor	Espectrofotométrico	APHA, 2005

Fonte: Próprio autor

3.4 Fluxo de Permeado e Rejeição das Membranas

O fluxo e a seletividade da membrana são as variáveis de maior importância econômica nos processos de separação por membranas. Os dados de fluxo e rejeição obtidos no conjunto-piloto são utilizados para a ampliação de escala para o tratamento de água da chuva em maior escala. O fluxo de permeado foi monitorado com o auxílio de um rotâmetro durante os ensaios e atribuído em gráficos para avaliação do comportamento.

3.5 Testes Preliminares com Ultrafiltração Tangencial

Para essa etapa foi utilizado um equipamento piloto de bancada tangencial conforme ilustrado na Figura 6.

Para os ensaios foram utilizadas duas membranas com diferentes características de material e tamanho de poro, descritas no Quadro 4.

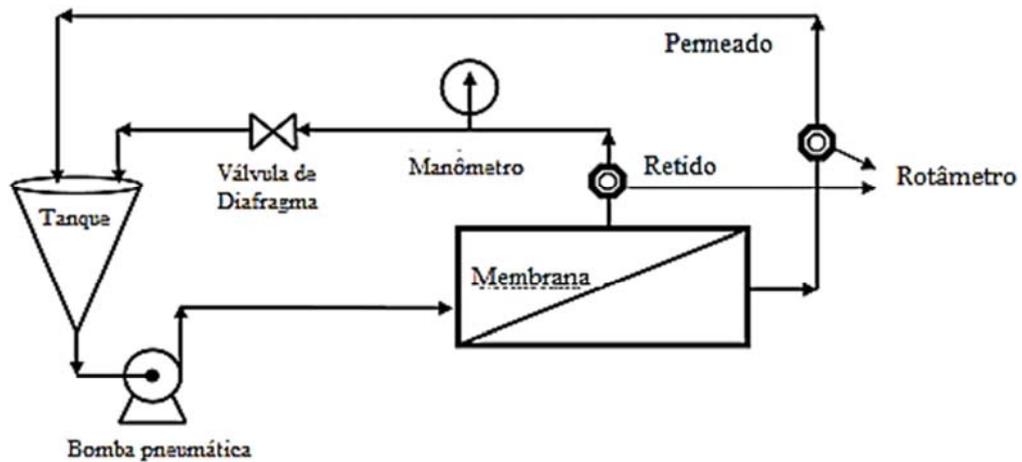
Quadro 4: Características das membranas utilizadas.

Membrana	Material	Diâmetro de corte (Dalton)	Área Filtrante	Configuração
1	Polietersulfona	50000 Da	0,32 m ²	Fibra oca
2	Cerâmica (Óxido de Zircônia)	4000 Da	0,1 m ²	Tubular

As membranas passaram por limpeza química antes de cada experimento. Esta foi realizada com solução alcalina (pH 10,5) de hidróxido de sódio, e sanitização utilizando-se uma solução de hipoclorito de sódio (concentração de 500 mg/L). Esses procedimentos também foram realizados após as filtrações.

O equipamento é composto por um reservatório de aço inoxidável de 10 l de capacidade e uma bomba pneumática para alimentação da água na carcaça da membrana como representado na Figura 10. A água da chuva foi alimentada no tanque e impulsionada pela bomba através da membrana, separando o permeado (água tratada) e o rejeito (amostra que não passou pela membrana). A corrente do rejeito foi recirculada para o tanque de alimentação mantendo o volume do tanque constante durante o tempo de operação. Com o auxílio de uma válvula de diafragma era ajustada a pressão de operação e as vazões de retido e permeado lidas em rotâmetros instalados nestas linhas. As filtrações foram realizadas com amostras a temperatura ambiente.

Figura 10: Diagrama do equipamento de filtração tangencial.



Todos os experimentos foram realizados duas vezes. Ao final da filtração tangencial, foram coletadas amostras do permeado e conduzidas análises físico-químicas e microbiológicas, realizadas em triplicatas, para averiguar a eficiência do processo e a influência das diferentes condições experimentais.

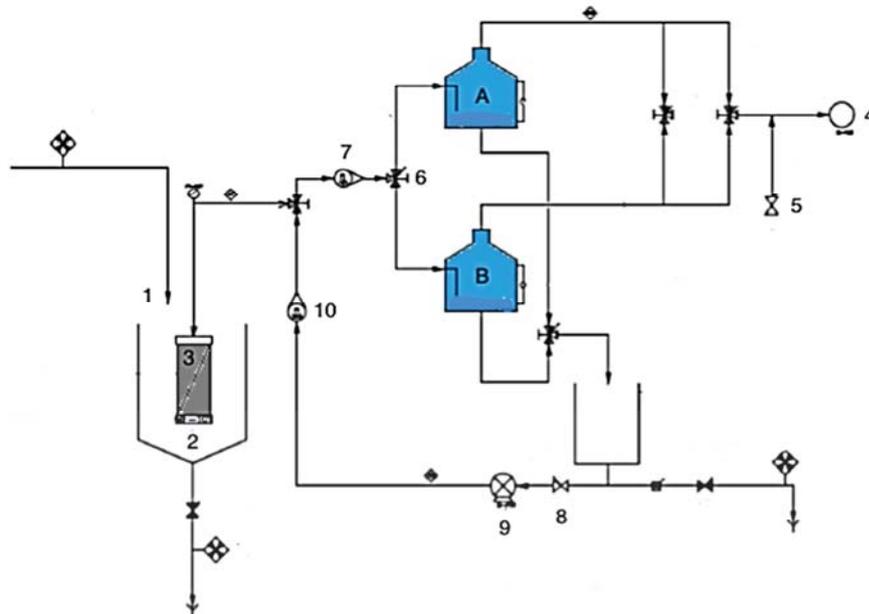
3.6 Ensaio de Longa Duração

A estabilidade do fluxo permeado e da qualidade do mesmo é essencial para que tenha possível aplicação da UF da água de chuva. Logo, é necessário a realização de experimentos em maiores tempos de operação. Para esta etapa, passou a ser testada a membrana de melhor desempenho da etapa anterior e filtrando a água de chuva durante longo período.

A membrana utilizada possui peso molecular de corte de 50000 Da (de polietersulfona em configuração de fibra oca e área filtrante de 0,22 m²). O procedimento é realizado com o auxílio de uma bomba de vácuo, filtrando da parte externa para o interior da membrana.

O equipamento utilizado nessa etapa é composto de um tanque de alimentação, tanque de polipropileno, membrana submersa, bomba de vácuo, válvula agulha, válvula três vias, rotâmetro, válvula, bomba centrífuga, hidrômetro, e tanques de vácuo, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Diagrama do equipamento de ultrafiltração submersa.



Fonte: Bonamingo, 2014.

Sendo: 1 – tanque de alimentação; 2 – tanque de polipropileno 3 - membrana submersa; 4 – bomba de vácuo; 5 – válvula agulha; 6 – válvula três vias; 7 – rotâmetro; 8 – válvula 9 – bomba centrífuga; 10 – hidrômetro; A e B – tanques de vácuo.

A água da chuva foi alimentada no tanque onde está instalada a membrana. Uma bomba de vácuo (4) é responsável por aplicar pressão negativa no sistema, forçando o permeado a passar para interior da membrana e direcionada para os tanques A ou B. A vazão de permeado é acompanhada pelo rotâmetro. O experimento foi realizado com vácuo de 0,4 bar (pressão máxima alcançada pelo equipamento).

Os testes foram realizados durante 8 h. Após o fluxo decair cerca de 50% do valor inicial (o que ocorria em cerca de 120 minutos) foi realizada a retrolavagem, abrindo-se a válvula 8 e acionando-se a bomba 9. A retrolavagem foi realizada durante 2 minutos e promovendo assim a remoção do material aderido na superfície da membrana. Após a retrolavagem, foi reiniciada a filtração. O volume total de permeados foi coletado e caracterizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da Água de Chuva

Ao longo deste capítulo, o resultado dos ensaios será discutido em termos de fluxos e qualidade do permeado. Os ensaios e análises foram realizados em seguida das coletas para garantir a validade das amostras e os resultados estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização das seis amostras de água de chuva coletadas.

Parâmetro	1	2	3	4	5	6	Legislação
Cor (Hz)	3	16	24	16	19	30	15
Turbidez (NTU)	0,7	4,96	38	22	25,3	65	5
pH	7,59	7,42	6,91	6,82	6,67	7,15	6,0-9,5
Cond. Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	12,3	39,5	31	33	10,25	20,01	2000*
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	9,33	16,66	40	8	18	15	NA
Dureza (mg.L ⁻¹ de CaCO ₃)	7,1	11,8	10,1	9	3,7	<2,09	500
Matéria Orgânica (mg.L ⁻¹ de O ₂)	1,13	5,5	11,6	11,3	10,44	8,64	5m/L*
Ácidos Húmicos (absorbância a 254 nm)	NR	NR	0,03	0,03	0,04	0,04	NA
Nitratos (mg.L ⁻¹)	0,16	0,39	<2,39	<2,39	<2,39	<2,39	10
Nitritos (mg.L ⁻¹)	ND	0,1	0,25	ND	2,4	3,9	1
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	7,9	8,1	13,2	21,1	15,9	5,6	250
Sólidos Totais(mg/l)	290	130	351	73	68,5	501	1000
Sólidos Sedimentáveis (mg.L ⁻¹)	0,9	0,5	1	0,4	0,95	2	NA
<i>E. Coli</i> (NFC/mL)	4	53	6	8	5	2	Ausência em 100 mL
Coliformes Totais (NFC/mL)	271	210	245	315	266	247	Ausência em 100 mL

NR: Não Realizado

ND: Não Detectável

Os valores da Tabela 1 mostram que a água de chuva não apresentou valores elevados ou problemáticos para que esta água seja destinada ao consumo humano, tais como pH, alcalinidade, dureza, nitratos, nitritos, sulfatos e sólidos totais. No entanto, as médias apresentadas na Tabela 1 mostram valores moderados de cor, turbidez, matéria orgânica, sólidos suspensos e sedimentáveis. Além disso, todas as amostras apresentaram contaminação por Coliformes Totais e *Escherichia Coli*. Estes parâmetros excedem a qualidade sugerida para consumo humano constante nas prerrogativas da Portaria 2914 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011) e das Diretrizes da Comunidade Europeia (CEE, 1998). Nota-se, contudo, que ocorreu grande variação na maioria dos parâmetros, demonstrando que a qualidade da água de chuva é variável, e nem sempre atende os requisitos para potabilidade. Logo, um processo

eficiente deve ser instalado para garantir o ajuste da qualidade desta água antes do consumo humano.

Observa-se valores de cor oscilam entre 1 e 30 Hz nas amostras coletas. O parâmetro cor é determinado por uma alteração na aparência da água provocada pelos sólidos dissolvidos como ocorre, por exemplo, quando existe a decomposição da matéria orgânica no meio líquido. Quanto ao parâmetro turbidez, pela presença de sólidos em suspensão e coloidais, confere a aparência turva da água (REBELLO, 2004). Possivelmente devido a estes fatos, obtivemos alguns valores mais altos de cor e turbidez. Note-se que a turbidez elevada não somente é preocupante pela presença dos sólidos suspensos e coloidais, mas também pela aparência da água e possível aceitação do consumidor.

As amostras da Tabela 1 demonstraram baixa concentração de ácidos húmicos totais, sendo este fato positivo quando objetiva-se utilizar a água da chuva para fins potáveis. Baixos valores foram encontrados mesmo em águas de rios, com absorvâncias menores que 0,08 (MIERZWA et al., 2007). As substâncias húmicas são uma fração da matéria orgânica, e, em geral a sua origem é a decomposição microbiológica dos tecidos vegetais e animais (GUTMAN et al., 2011, ZHAO et al., 2013). Foi verificado um baixo valor residual de ácidos húmicos ao realizar a leitura de absorvância a 254 nm, embora não tenha sido identificado limites para esse parâmetro na legislação revisada na literatura. Contudo, a presença de ácidos húmicos muitas vezes é relacionada com um mero problema de cor, mas quando em contato com o cloro utilizado pra desinfecção e para evitar o crescimento de bactérias nos sistemas de distribuição de água, podem produzir produtos como trihalometanos e ácidos haloacéticos, considerados potenciais carcinogênicos e, portanto prejudiciais á saúde humana (CHELLAM e KRASNER, 2001; ROJAS et at., 2011, apud ZHAO et al., 2013). A remoção de ácidos húmicos de águas de abastecimento que serão adicionadas de cloro é então uma garantia à saúde pública, uma vez que evitar-se-á a formação destes compostos.

O pH das amostras da Tabela 1 foi próximo da neutralidade. O pH natural da água de chuva é levemente ácido devido ao equilíbrio com o gás carbônico atmosférico, mas o pH das chuvas pode ser alterado pelas características da região onde ela ocorre e pela área de coleta, a presença de gases nitrosos e sulfurosos presentes em áreas com maior concentração de indústrias pode torná-la ácida.

Jaques (2005) analisou água da chuva em Santa Catarina e atribuiu o aumento do pH pelos telhados à presença de partículas depositadas na superfície dos mesmos. O autor verificou que pH da água coletada em um telhado de cimento amianto foi de 7,35. Do mesmo modo, Guedes (2012) encontrou valores de pH na faixa de 6,0 e 7,5. Esses valores, assim

como valores os encontrados neste trabalho se encontram dentro da faixa estabelecida para água potável ($6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$).

Em amostras de água de chuva do Departamento de Química da Universidade de Analítica (Turim - Itália) foram encontrados valores de pH foram na faixa de 4,4 e 6,6, também consistente com aqueles encontrados na literatura. Valores de condutividade variaram de 4,5 a 63,5 $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ (ALBINET et al., 2009). Ou seja, também, grandes variações, como ocorreu nesta pesquisa.

A quantidade de matéria orgânica muitas vezes não é adotada nas pesquisas sobre qualidade de água da chuva, mas é um importante indicador que avalia a capacidade uma água tem para consumir oxidantes químicos. Os valores encontrados não são considerados altos, porém tornam a água imprópria para uso potável segundo a Diretiva Europeia 98/83/EC. A remoção da matéria orgânica também tem importância para reduzir a potencial formação de trihalometanos, se submetida a tratamento com cloro (VARBANETS et al., 2008).

O material microbiológico detectado na água de chuva é incorporado à água da chuva quando ela escoar pelo telhado, devido a lavagem do telhado pela chuva em contato com fezes de animais e aves ali depositadas, o que justifica a presença destes em todas as amostras de água da chuva caracterizadas nesta pesquisa. Anecchini (2005) também avaliou a microbiologia da água da chuva. O valor médio obtido nas análises de *E. coli* para a chuva coletada do telhado foi da ordem de 101 NMP/100 ml e para coliformes totais o valor máximo obtido nas análises da água da chuva do telhado foi de $1,46 \times 10^2$ NMP/100 ml.

Nitritos, nitratos e sulfatos estão presentes devido à contaminação atmosférica em regiões de intensa urbanização ou industrializadas. Outras pesquisas que abordaram as concentrações de nitrito, nitrato e sulfato são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Comparativo de concentrações de nitrato e sulfato por outros autores.

Parâmetro	Belo Horizonte (MG)	São Paulo (SP)	Candiota (RS)	Ilha Grande (RJ)
NO_3^-	12,0	21,2	5,22	12,0
SO_4^{2-}	12,6	12,6	5,22	12,0
Fonte:	Figueiredo, 1999	Leal et al., 2004	Migliavaca et al., 2005	Souza et al., 2006

Fonte: Fornaro, 2006.

Segundo Uyger et al., (2010), a poluição do ar, que pode ter um impacto sobre a água da qualidade da água da chuva nem sempre é restringida a poluição local fontes, complicando assim o controlo da sua aplicação. Porém assim como em outras pesquisas com água da chuva, as concentrações de nitrito, nitrato e sulfato são baixas, indicando que no local da coleta a água da chuva não sofre influência das condições atmosféricas sobre sua qualidade. A região da cidade de Passo Fundo não é intensamente industrializada, portanto sem níveis elevados de nitrito, nitratos e sulfatos ocasionados por indústrias ou grandes fluxos de veículos. O município também possui um entorno exclusivamente agrícola o que contribui para uma chuva com qualidade razoável sem características ácidas e/ou de degradação.

4.2 Qualidade dos Permeados com Membranas de Ultrafiltração Tangencial

Na Tabela 3 apresenta-se os resultados dos ensaios obtidos no equipamento de ultrafiltração tangencial realizado com as membranas de configuração fibra oca e tubular, com pressões de 1Bar e 2 Bar. Para estes testes foram utilizadas as amostras 1, 2, 3 e 4 da Tabela 1.

Tabela 3: Rejeições dos testes com membranas de filtração tangencial.

Parâmetro/membrana	Fibra Oca 1 bar	Fibra Oca 2 bar	Tubular 1 bar	Tubular 2 bar
Cor	87,5±17,68%	87,5±0%	100±0%	94,79±1,47%
Turbidez	89,92±14,26%	99,74±0,15%	100±0%	99,78±0,13%
Matéria Orgânica	66,94±40,85%	75,61±6,96%	57,19±5,78%	57,43±22,40%
Ácidos Húmicos	NR	96,67±4,71%	NR	96,67±4,71%
Sólidos Suspensos	100±0%	100±0%	100±0%	100±0%
Sólidos Sedimentáveis	100±0%	100±0%	100±0%	100±0%
<i>E. Coli</i>	100±0%	100±0%	100±0%	100±0%
Coliformes totais	100±%	100±0%	100±0%	100±0%

NR: Não realizado.

Quanto aos aspectos físicos de cor, turbidez e sólidos, foram obtidas rejeições acima de 87,5% chegando até 100%. Quanto aos aspectos químicos que excediam os limites de potabilidade ou de interesse no abastecimento de águas (matéria orgânica e ácidos húmicos), foram removidos na ordem de 57,19% até 96,67%. Essas porcentagens foram calculadas baseadas na detecção do método: quando o parâmetro não é detectado pelo método, foi considerado igual a zero.

Lisboa (2001) ao testar ultrafiltração com água da ETA de Alcantarilha, coletada à entrada da ETA (água bruta) e observou através da absorção UV a 254nm, que a rejeição de ácidos húmicos aumenta ligeiramente com a taxa de recuperação, atribuindo essa rejeição a material que se deposita na membrana, diminuindo o tamanho dos poros.

Miewrza et al., (2011) também utilizou ultrafiltração para tratamento de água de mananciais e encontrou valores de absorção de 0,02 até 0,08 nos permeados. As concentrações de ácidos húmicos encontradas nesse trabalho com água da chuva são ainda mais baixas que as pesquisas citadas como pode ser visto na Tabela 4. Do mesmo modo, Madaeni et al. (2006) ultrafiltrou soluções aquosas de ácidos húmicos em membranas de UF de 50 kDa e as rejeições oscilaram entre 45%-65%.

Muitos estudos procuram identificar as características das membranas em remover matéria orgânica, isso devido as incertezas quanto ao caráter dos compostos orgânicos presentes em algumas águas que será posteriormente usada para abastecimento devido principalmente a preocupação do risco de ocorrência de trihalometanos. Drewes et al., (2003) estudou o desempenho existentes na rejeição orgânicos durante o tratamento com membranas. Com base nos resultados de cromatografia de exclusão de tamanho, de carbono orgânico total nos permeados de nanofiltração e osmose inversa ainda permeia substâncias de características húmicas, indicando que essas partículas são muito pequenas e de difícil retenção.

Lisboa (2001), ao analisar permeados do experimento com água da ETA observou que a água bruta resultou em maiores rejeições do que as obtidas com água decantada. Na água bruta, as rejeições à turvação, foram praticamente constantes e próximas de 100%, diminuindo ligeiramente na água decantada. O mesmo ocorreu com outros parâmetros como de UV 254nm (ácidos húmicos) e COT (carbono orgânico total). Resultados semelhantes foram obtidos por Jacangelo et al., (1995), Kaiya et al., (1996); Panglisch et al., (1998), Reiss et al., (1999), entre outros. O fato das rejeições à turvação serem maiores que as rejeições de UV 254 nm e estas superiores ao COT, foi atribuído ao tamanho/peso molecular dos constituintes da turvação, UV 254nm e COT. Assim, tendo a membrana em estudo um *cut-off* molecular aparente de 47000 Da, os constituintes da turvação terão um peso molecular e tamanho superior a 47 kDa e os constituintes de UV 254nm de tamanho superior aos restantes do COT (dominantes face à fração húmica, UV254nm). Considerando as membranas usadas nesse trabalho que possuem tamanho de corte de 4000 Da e 50000 Da, espera-se rejeições semelhantes para a membrana de maior tamanho de poro.

Areerachakul et al., (2009) estudou a qualidade da água da chuva recolhida telhados em vários locais na Tailândia foi examinada. Filtração com carvão ativado foi usada como um pré-tratamento de microfiltração (MF) de fibra oca com tamanho de poro de 0,1 para remover a matéria orgânica dissolvida e patógenos na água da chuva. A microfiltração sozinha removeu apenas 10% de matéria orgânica da água da chuva, e com a utilização de pré-tratamento a remoção matéria orgânica aumentada para 45-50%. No entanto a ultrafiltração remove apenas em um processo de tratamento todo excedente de matéria orgânica, dispensando a necessidade de pré-tratamento, e resultando em concentrações toleráveis de material orgânico.

Drewes et al., (2003) estudou o desempenho de rejeição de compostos orgânicos com membranas. O autor observou permeação até mesmo em membranas de nanofiltração e osmose inversa, indicando que esses compostos possuem tamanho pequeno, e portanto, de difícil remoção. Porém, as remoções destes compostos da água da chuva com a ultrafiltração foi maior que 90%, ajustando sua qualidade para o uso potável.

A Tabela 4 mostra a caracterização da água após o tratamento (permeado) pelas diferentes membranas de UF nas duas pressões testadas. Observa-se uma rejeição total dos parâmetros microbiológicos, confirmando o potencial de remoção de patógenos pela ultrafiltração.

Tabela 4: Concentrações físico-químicas e microbiológicas dos permeados de filtração tangencial.

Parâmetro	Fibra Oca 1 Bar	Tubular 1 Bar	Fibra Oca 2 Bar	Tubular 2 Bar	Limites
Cor (Hz)	2	0	2,5	1	15
Turbidez (NTU)	0,5	0	0,07	0,06	5
Matéria Orgânica (mg/L)	0,465	1,33	2,8	4,85	5m/L*
Ácidos Húmicos (Abs. 254 nm)	NR	NR	0,001	0,001	NA
Sólidos Suspensos (mg/L)	ND	ND	ND	ND	NA
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	ND	ND	ND	ND	NA
<i>E. Coli</i> (NMP/100 ml)	ND	ND	ND	ND	Aus. em 100 ml
Coliformes totais (NMP/100 ml)	ND	ND	ND	ND	Aus. em 100 ml

*Diretiva Européia 98/83/EC
NR: Não Realizado

NA: Não Aplicável

ND: Não detectável pelo método analítico

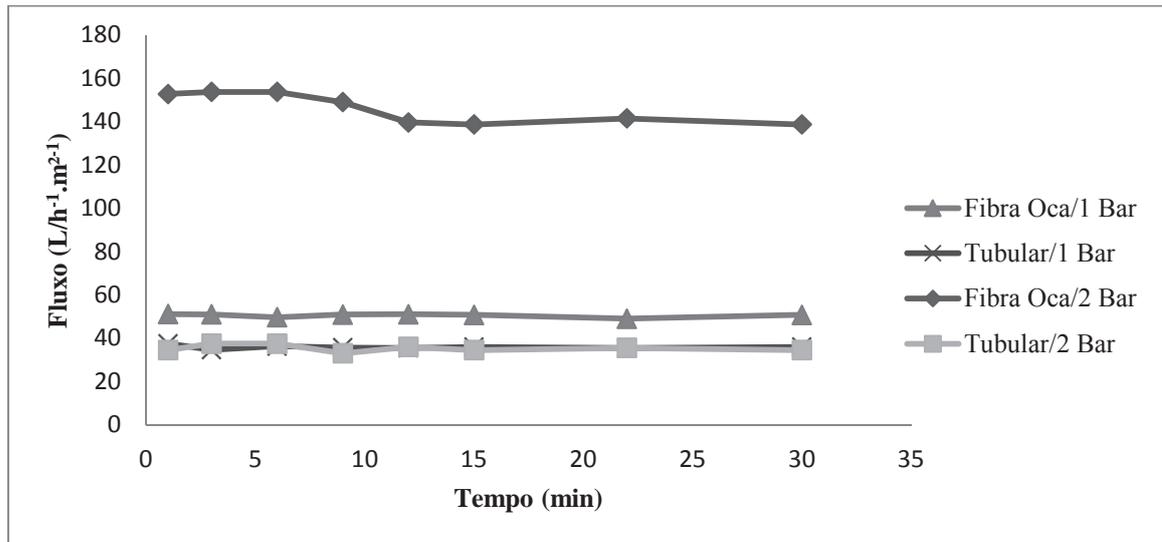
Todos os parâmetros que excediam a legislação para água potável foram removidos com rejeições superiores a 57% (enquadrando os mesmos nos limites de potabilidade exigidos pelas duas normativas já citadas), evidenciando o potencial das membranas de ultrafiltração para o tratamento da água da chuva. A análise da Tabela 4 mostra que a ultrafiltração permitiu fazer os ajustes dos aspectos físico-químicos e microbiológicos que excediam os limites de potabilidade abordados nas legislações brasileira (Portaria 2914/2005 do Ministério da Saúde) e da comunidade Europeia (Diretiva 98/83/EC).

As membranas tiveram comportamentos semelhantes de rejeição, de modo que o tipo de membrana ou a pressão não demonstraram interferir nas características do permeado final. Logo, utilizando a rejeição da membrana ou a pressão como resposta, qualquer condição experimental poderia ser utilizada. As características de fluxo serão discutidas quantitativamente na Tabela 5.

4.3 Análise do Fluxo de Permeado das Filtrações Tangenciais Preliminares

A Figura 12 mostra o comportamento do fluxo permeado durante as filtrações. Duas observações podem ser retiradas dessa Figura: o comportamento ao longo do tempo e o valor final de fluxo (após 30 min). Após 30 min, observa-se dois patamares de valores de fluxo: um primeiro, na faixa de 40-50 L.h⁻¹.m⁻², e um segundo, na ordem de 140 L.h⁻¹.m⁻². Note-se que a elevação da pressão não aumentou o fluxo da membrana tubular, enquanto este valor foi quase triplicado na membrana de fibra oca quando se duplicou a pressão de 1 bar para 2 bar. Evidencia-se, que devido a membrana de configuração fibra oca possuir maior tamanho de poros, apresentam maior fluxo de permeado. Estes resultados serão discutidos estatisticamente na Tabela 6.

Figura 12: Fluxo de permeado das filtrações tangenciais.



Fonte: Próprio autor.

O comportamento do fluxo permite observar se houve acúmulo de material na membrana ao longo do tempo. O tempo de experimento foi de 30 minutos para todas as condições, e neste tempo de operação, os fluxos se mantiveram constantes evidenciando que não aconteceu acúmulo significativo de material na membrana.

Experimentos de curto período fornecem características sobre a qualidade do permeado, já experimentos de maiores períodos permitem conhecer o comportamento de filtração ao longo do tempo, prevendo a necessidade de manutenção do equipamento, limpezas químicas ou mesmo substituição das membranas.

A Tabela 5 apresenta a média do fluxo permeado durante o tempo de experimento para cada pressão e membrana estudados.

Tabela 5: Fluxo permeado médio obtido com as membranas de fibra e tubular de UF às duas pressões testadas.

Membrana	Pressão	Fluxo permeado (L.h ⁻¹ .m ⁻²)
Fibra Oca	1	50,81 ^(c)
Fibra Oca	2	138,38 ^(b)
Tubular	1	36,00 ^(a)
Tubular	2	34,50 ^(a)

*Diferentes índices indicam valores estatisticamente diferentes com significância de 5%.

A mudança de pressão não resultou em diferença significativa no fluxo com membrana de configuração tubular, os resultados de média de fluxo obtido são iguais (Tabela 5). No entanto, a membrana de configuração fibra oca apresentou uma elevação no fluxo ao aumentar a pressão de filtração, sendo essa condição experimental permitiu obter o maior fluxo, devido ao tamanho dos poros dessa membrana.

A Tabela 6 mostra a Análise de Variância para o fluxo permeado em confronto com o tipo de membrana e pressão como variáveis independentes.

Tabela 6: Análise de variância para o fluxo de permeado.

Efeito	SS	MS	F	P
Membrana	7043,06	7043,06	5804,58	0,000000
Pressão	3703,59	3703,59	3052,34	0,000000
Membrana x Pressão	3966,29	3966,29	3268,84	0,000001
Erro	4,85	1,21		0,000001

SS: Soma dos Quadrados

MS: Quadrado médio

F: Estatística de Fisher

P: valor p

Observa-se que a pressão apresentou efeito significativo, no entanto, isto é verdade somente quando utilizada a membrana de fibra oca, conforme discutido na análise da Figura 12. No entanto, para uma melhor observação da estabilidade do processo o de filtração ao longo do tempo para futuras aplicações da UF para tratamento de água de chuva foram realizados experimentos por períodos mais prolongados com a membrana de fibra oca (50 kDa), pois a mesma apresentou rejeições semelhantes à membrana de tubular (4 kDa), mas obteve um maior fluxo permeado. Deve-se ressaltar que o fluxo permeado é a resposta de importância econômica, pois a ampliação de escala é baseada em cima desta variável.

4.4 Ensaios com Membrana de Ultrafiltração Submersa

Na sequência foram realizados ensaios de longa duração com membrana de fibra oca. Uma vez que a pressão não interfere nas características finais da água tratada (Tabela 6), foi utilizada a membrana de configuração fibra oca que pode operar submersa no tanque de água de chuva a ser tratada. Essa alternativa de configuração de membrana representa fácil

aplicação em maior escala, pois permite que membrana seja introduzida nos próprios tanques de armazenamento, possibilitando também a retrolavagem para a recuperação do fluxo.

As amostras utilizadas para estes experimentos são, a 5 e 6 da Tabela 1, respectivamente para os ensaios 1 e 2. A rejeição da membrana nos ensaios de longa duração frente aos parâmetros que excediam os limites para potabilidade é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Rejeição de parâmetros críticos com membrana submersa de fibra oca e corte de 50 kDa.

Parâmetro	Ensaio 1	Ensaio 2
Cor	89,47%	93,33%
Turbidez	99,84%	99,91%
Matéria Orgânica	65,90%	58,80%
Ácidos Húmicos	92,5%	92,5%
Sólidos Suspensos	100%	100%
Sólidos Sedimentáveis	100%	100%
<i>E. Colli</i>	100%	100%
Coliformes	100%	100%

Todos os parâmetros considerados críticos foram removidos de forma semelhante aos experimentos de curta duração. A rejeição foi de 100% para sólidos suspensos e sedimentáveis, promovendo com isso uma remoção também da turbidez da água a valores quase nulos. O material húmico da água de chuva coletada para estes experimentos também foi baixo, e a UF promoveu uma redução na ordem de 50% do seu valor inicial. Além disso, houve uma remoção total de contaminação microbiológica (considerando o limite de detecção dos métodos), demonstrando que o processo de UF pode ser uma técnica eficiente e segura para a obtenção de água potável a partir de água de chuva. As rejeições permitiram ajustar a qualidade da água para valores inferiores aos limites para consumo humano, enquadrando-se como potável (Tabela 8).

Tabela 8: Concentração dos permeados das filtrações com membrana submersa.

Parâmetro	Ensaio	Ensaio	Limites
	1	2	
Cor (Hz)	2	2	15
Turbidez (NTU)	0,04	0,06	5
Matéria Orgânica (mg/L)	3,56	3,56	5m/L*
Ácidos Húmicos (Abs. 254 nm)	0,003	0,003	NA
Sólidos Suspensos (mg/L)	ND	ND	NA
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	ND	ND	NA
<i>E. Coli</i> (NFC/100 ml)	ND	ND	Aus. em 100 ml
Coliformes totais (NFC/100 ml)	ND	ND	Aus. em 100 ml

NA: Não Aplicável.

*Normativa Europeia

ND: não detectável pelo método

As rejeições de matéria orgânica foram na ordem de 58%, mas este valor foi suficiente para reduzir este o parâmetro para patamares inferiores a 5 mg/L, considerado o limite para potabilidade pela Diretiva Europeia. Conhecendo os limites de potabilidade abordados, e as concentrações obtidas com os permeados de ultrafiltração submersa, é possível observar que, além da fácil aplicação essas membranas possuem grande potencial de produção de água potável.

Na Figura 13 é apresentada uma fotografia, dos dois experimentos realizados com membrana de fibra oca em ensaios de longa duração.

Figura 13: Aparência dos permeados obtidos através a filtração submersa.

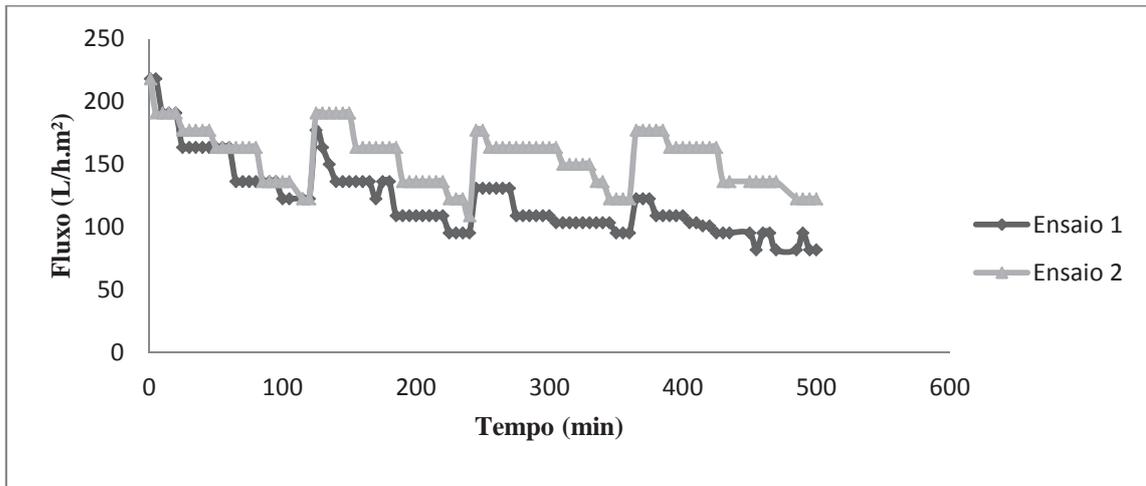


É importante considerar os aspectos como a aparência podem fazer com que o consumidor troque uma água segura por outra de qualidade duvidosa, porém, com melhores características de aceitabilidade. Portanto, a prioridade não é apenas a provisão de água segura do ponto de vista de saúde, mas aceitável também em termos estéticos (WHO, 2011).

4.5 Fluxo de Filtração Submersa

O comportamento do fluxo ao longo do tempo de filtração (Figura 14) mostrou que ocorre certo acúmulo de material na membrana, mas que as retrolavagens recuperam boa parte deste, e que neste tempo de teste a membrana opera de forma satisfatória e permite a obtenção de uma água tratada com elevado nível de qualidade, demonstrando o elevado potencial do uso desta tecnologia pra produção de água potável.

Figura 14: Fluxo de permeado em operação de longo período com membrana submersa.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 14 mostra uma queda acentuada do fluxo permeado, em tese pelo acúmulo de material suspenso e sedimentável na superfície da membrana. Ambos os ensaios apresentaram comportamento semelhante, com uma queda de fluxo na ordem de 40% a 50% após 8 h de operação. Essa pequena diferença possivelmente aconteceu devido a diferença de concentração de sólidos suspensos nas duas amostras utilizadas. Uma alternativa para uma eficiente retrolavagem seria realização de purga dos sólidos no fundo do tanque quando decantados. Em testes feitos com membranas de microfiltração para tratamento de água de chuva, Guedes (2012) observou redução de fluxo permeado superior a 70% após 40 min. Logo, além de ajustar a qualidade da água de chuva para padrões de potabilidade, a ultrafiltração apresenta menor redução de fluxo, e, conseqüentemente, maiores taxas de produção que membranas de microfiltração.

O volume permeado obtido ao final de 8 h foi de 56 L e foram realizadas quatro retrolavagens de 2 L (somando 8 L nas retrolavagens). Logo, um volume líquido de água produzida seria de 48 L. O volume utilizado nas retrolavagens foi de 14%. Contudo, essa água de retrolavagens retorna ao tanque, não havendo descargas externas ao sistema. No entanto, uma purga no fundo do tanque deveria ser utilizada para o descarte desta massa de material suspenso/sedimentável/coloidal que promove a redução de fluxo. Poderia ser instalada uma caixa de sedimentação a montante do reservatório no qual é inserida a membrana de ultrafiltração, mas isto demandaria mais um equipamento a ser instalado.

Lisboa (2011) verificou que os efeitos da colmatação são mais significativos para a água bruta do que a água decantada, devido à sua pior qualidade, mais turva e maior quantidade em ácidos húmicos. Os resultados de Lisboa (2011) apontam para a necessidade

de um pré-tratamento à UF, podendo-se realizar uma sedimentação a montante da mesma. No entanto, deve ser destacado que nossos experimentos foram realizados com a água do primeiro tanque de coleta da água de chuva, não havendo o descarte dos primeiros milímetros de chuva. Isto foi realizado para um melhor aproveitamento da água de chuva, pois mesmo que um pequeno volume de chuva precipite, pode-se aproveitar o mesmo tratando-o por ultrafiltração, não havendo a necessidade de pré-tratamento e atingindo-se todos os limites para consumo humano desta água.

O tratamento de águas superficiais (utilizando coagulação/floculação) em ETAS torna-se viável a partir de um maior volume de água tratada, pois há a necessidade de adição de produtos químicos, tanques para sedimentação e filtros de areia. A ultrafiltração pode ser uma opção para abastecimento descentralizado de águas, uma vez que áreas de telhado de médio porte (tais como armazéns, shoppings, prédios, condomínios, entre outros) possam ser utilizadas para captação da água de chuva. Associada a este fato, a inserção das membranas de UF em modo submerso diretamente no reservatório de água de chuva coletada permite uma fácil instalação das mesmas, sendo um promissor método para a potabilização de água de chuva. Além disso, os desenvolvimentos das tecnologias de produção de membranas durante as últimas décadas resultaram em uma diminuição significativa dos custos da membrana e as necessidades energéticas (CHURCHHOUSE, 2000) de modo que esse seja um competitivo método de tratamento de águas.

O processo de retrolavagem permite verificar o tempo necessário para paradas de limpeza seja prolongado. Kim et al. (2005) testou membranas de ultrafiltração de metal para tratamento de água de chuva a pressão de 0,06 Bar para determinar o tempo de operação mínima, e concluiu que as retrolavagens regulares permitem maior aproveitamento e economia no tratamento do que permitir apenas o fluxo contínuo, e isso se confirma também na filtração submersa, foi recuperado até 80% de fluxo com as retrolavagens.

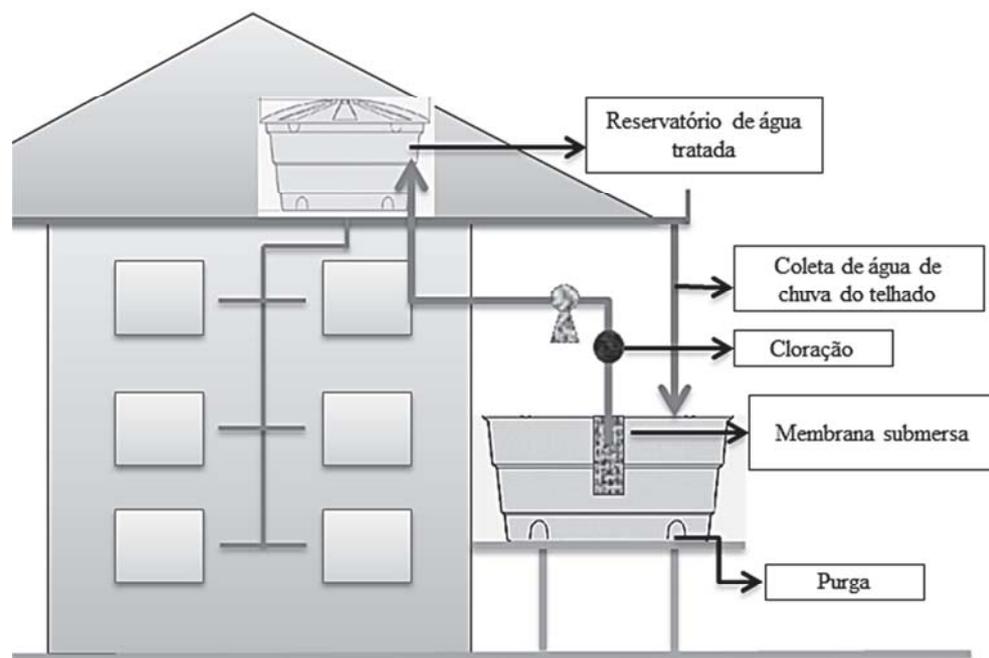
4.6 Proposta de Sistema de Tratamento de Ultrafiltração para Água de Chuva

Sistemas de ultrafiltração já testados para purificação de águas para países em desenvolvimento e em transição, que utilizam sistema de retrolavagens como forma de manutenção, foram considerados de boa aceitação social, entre outros motivos porque o sistema de retrolavagens permite um maior tempo de uso das mesmas, representando maior sustentabilidade e também por representarem garantia de remoção de todos os agentes patogênicos. Em contrapartida alguns sistemas de microfiltração foram considerados

razoavelmente aceitos, por que em sua maioria precisam de reposição de membranas, gerando resíduos e por não garantirem a remoção de vírus (LIFESTRAW, 2008).

A Figura 15 mostra um esquema de um possível sistema de tratamento utilizando membranas de fibra oca para tratar água de chuva. Os altos fluxos permeados permitem um sistema com uma pequena área de filtração, reduzindo o tamanho do sistema. As membranas de fibra oca poderiam ser inseridas na própria cisterna de captação e, portanto, não haveria a necessidade de maiores investimentos com grandes tanques e reservatórios. Com isso, sistemas existentes de captação de água de chuva (para fins não potáveis) poderiam ser adaptados para tornar esta água potável, ampliando assim a utilização da água de chuva como fonte de abastecimento.

Figura 15: Proposta de sistema de tratamento com membrana de fibra oca para água da chuva.



Fonte: Próprio autor.

5. CONCLUSÃO

A água de chuva tratada por ultrafiltração apresentou qualidade que atende as prerrogativas da Portaria Brasileira e da Diretiva Europeia que abordam a qualidade de água para consumo humano. A UF com membranas de 4 kDa e 50 kDa apresentou bons fluxos permeados e ótimo desempenho em relação à qualidade da água produzida sem a necessidade de realização do primeiro descarte de água da chuva.

As membranas de UF de 4 kDa e 50 kDa removeram de forma satisfatória os parâmetros que tornam a água da chuva imprópria para consumo humano. Mesmo com diferentes características de material, tamanho de poro e configuração, as duas membranas testadas demonstraram resultados semelhantes quanto à qualidade da água produzida, atingindo padrões de potabilidade. Quanto ao fluxo permeado, as membranas de 50 kDa, por possuírem maior tamanho de poro apresentam maior capacidade de produção, e em consequência, teriam maior capacidade de produção, podendo ser utilizada para a potabilização de água de chuva.

Os resultados apresentados mostram o potencial da UF para o uso da água de chuva para abastecimento, uma vez que a prática atual de captação de águas e descarte de efluentes não mais atende as necessidades de uma sociedade sustentável. A água de chuva representa uma fonte de fácil captação e de razoável qualidade, e que apenas o processo de UF seria suficiente para torna-la potável.

Os processos de separação por membranas ainda se tratam de uma tecnologia limitada, e pouco difundida do Brasil, por isso a importância desses estudos que comprovam eficácia e chamam atenção para as vantagens de aplicabilidade desses sistemas, que nesse caso representa uma forma promissora de produção de água potável.

Perspectivas de continuidade:

- a) Testar operação de forma contínua monitorando qualidade da água;
- b) Viabilidade econômica detalhada;
- c) Testar outras membranas com objetivo de otimização de processo.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T. ABBASI, S. A. Sources of pollution in roof top rainwater harvesting systems and their control. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, **41**. 2011.
- ALBUQUERQUE, Marcela C. **Qualidade de água coletada em diferentes tipos de telhado**. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal Sul de Minas Gerais, Inconfidentes, 2010.
- ALBINET, A.; MINERO C.; VIONE, Davide. Photochemical generation of reactive species upon irradiation of rainwater: Negligible photoactivity of dissolved organic matter. **Science of the Total Environment** **408**. 2010.
- ANA, Agencia Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos do brasil**. Informe 2002.
- ANDREA E, M. O.; TALBOT, R. W.; BERRESHEIM, H. & BEECHER, K. M. "Precipitation Chemistry in Central Amazonia". **Journal Geophysical Research**.1990.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.
- APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: American Public Health Association, Water Environmental Federation; 2005.
- AREERACHAKUL, N. KITIPHATMONTREE, M. KANDASAMY, J. KUS, B. Duangduen C. PIVSA-ART S. & VIGNESWARAN S. Submerged Membrane System with Biofilter as a Treatment to Rainwater. **Water Air Soil Pollut: Focus. Springer Science**. 2009.
- ARNAL, J.M.A., Fernandez, M.S., Verdu, G.M., Garcia, J.L. Design of a membrane facility for water potabilization and its application to Third World countries. **Desalination** **137**. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de Chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas**. NBR 15.527. Rio de Janeiro, 2007.
- ATLAS, Brasil. **Panorama Nacional**. Volume 1. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília-DF. 2010.
- AZEVEDO NETO, J.M., Aproveitamento de Águas de chuva para Abastecimento. **BIO**. Ano III, No. 2, , ABES, Rio de Janeiro, 1991.
- BARBANTI, Nelson R., PARENTE, Katia S. Águas subterrâneas: alternativa para abastecimento. **XXVIII Congresso Interamericano de Igeneria Sanitaria y Ambiental**. Cancun, México, 2002.
- BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento da água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BACKES E., MIGLIAVACCA, D. M., ROCHA L. Avaliação da precipitação atmosférica na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. **IV. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Salvador/BA IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Bahia, 2013.

BAKER, Richard W. **Membrane technology and applications Second edition**. Membrane Technology and Research, Inc. Menlo Park, California. 2002.

BELÓ, A., QUINÁIA, S. P., OLIVEIRA, N. K. de., WATZLAWICK, L. F. Caracterização de metais em precipitação atmosférica em uma floresta ombrófila mista. Universidade de Taubaté, Brasil, 2009.

BERTOLO, Elisabete;. **Aproveitamento da agua da chuva em edificações** . Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2006.

BRAGA, Cybelle F.C. RIBEIRO, Márcia M. R. Experiências em gerenciamento da demanda urbana de água. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2000.

BRANCO, Otavio E.A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade**, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2011.

CAMPOS, Maria. VIEL Fabíola. BENDO, Anderson. **Métodos de baixo custo para purificação de reagentes e controle da contaminação para a determinação de metais traços em águas naturais**. *Quim. Nova*, Vol. 25. Florianópolis, SC, 2002

CIPRIANO, R.F.P. **Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso**. 2004. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, SC, 2004.

CHIRANJIB B. Siddhartha D. Analysis of polarized layer resistance during ultrafiltration of PEG-6000: an approach based on filtration theory. **Elsevier**. Department of Chemical Engineering, Jadavpur University, Calcutta, India. 2002.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N°357 de 17 de março de 2005**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>, acesso em 30 de setembro de 2013.

CHELLAM, S.,KRASNER,S.W.Disinfection by product relationships and speciation in chlorinated nanofiltered waters. *Environ. Sci.* 2001.

COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. **Official Journal of the European Communities 5.12.98**. November 1998.

CUNLIFFE, D. A. Guidance on the use of rainwater tanks. **National Environmental Health Forum**. Water Series N°3. 1998.

CZAPSKI, Silvia. Escassez de água é um dos maiores problemas do século. **Jornal Valor Econômico** - CAD B – EMPRESAS. São Paulo, 2004.

CHURCHHOUSE, S. Membrane bioreactors hit the big time – from lab to full scale application. In: Rautenbach, R., Melin, T., Dohmann, M. (Eds.), *Membrantechnik*, 3. Aachener Tagung, **Aachen** 2000.

DETONI, Terezinha L. DONDONI, Paulo C. PADILHA, Eder a. A escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Foz do Iguaçu**, PR, Brasil, 2007.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using grey water and rainwater in combination. **Water Science and Technology**, 1999.

DREWES, J. E., Reinhard, M., & Fox, P. Comparing microfiltration-reverse osmosis and soil-aquifer treatment for indirect potable reuse of water. **Water Research** **37**, 3612-3621. 2003.

EUROPE, Council Directive 98/83/EC, of 03 November 1998. **Official Journal of the European Communities**, Europe: 05 December 1998.

KWAADSTENIET, M. DOBROWSKY, P. H. DEVENTER, A. KHAN, W. CLOETE, T. E. Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems. **Water Air Soil Pollut.** Junho, 2013.

FEWTRELL L, Kay D, Godfree A. **The microbiological qualite of private water supplies.** J Ciwen 1998:98-100.

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>>. Acesso em: 15 de novembro de 2013.

FORNARO, A. **A chuva ácida em São Paulo: Caracterização química de amostras integradas e sequenciais de deposição úmida.** Dissertação (Mestrado em Química Fundamental). Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

FRENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização de águas pluviais: 100 maneiras práticas.** 1. ed. Curitiba: Livraria do Chain, 2002. 190 p.

FRECHEN, F.-B., University of Kassel, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Kassel, Germany, personal communication. 2007.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo Metropolis, Brazil: Part 2 – contribution of formic and acetic acids. **Atmospheric Environment.** V. 37. 2003.

GELDREICH EE. The bacteriology of water. In: *Microbiology and microbial infections.* 9th ed. London: Arnold; 1998.

GEA Filtration. **Filtração por membranas**. Hudson, Wisconsin 54016, USA. E-MAIL info@geafiltration.com.

GNADLINGER, João. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semiárido brasileiro. **6º Simpósio Brasileiro de captação e manejo de água da chuva**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2007.

GONÇALVEZ, Ana I. **Avaliação da Reutilização de Água Residual Tratada para Consumo Humano por Processos de Separação por Membranas. Dissertação**. (Mestrado em Engenharia do Ambiente) Universidade de Nova Lisboa. Outubro de 2011

GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

GUEDES, Tiago Lemos. **Tratamento de água de chuva através de microfiltração tangencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2012.

GUTERRES, Albino Moura. **Caracterização das fontes de água e da geração de efluentes em uma instituição federal de ensino tecnológico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2012.

HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas**. Escola Piloto em Engenharia Química – COPPE/UFRJ. E-papers Serviços Editoriais. 2006. 180p.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HARTMANN, Philipp. **A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental**. Associação dos ex-bolsistas na Alemanha-RS, Porto Alegre. 2010.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**. v. 1, 1999.

HABERT, Albetro C. BORGES, Cristiano P. NOBREGA, Ronaldo. **Processos de Separação por Membranas**. 2006.

JACANGELO, J.G., S. S.Adham, and J.-M. Laine. "Cryptosporidium, giardia and MS2 virus removal by MF and UF." **Jour.AWWA**, 87(9), 1995: 107–121.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005, 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

JONSSON, Ann-S. Ultrafiltration Applications. **Desalination**, 77 (1990) 135-179. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam - Printed in The Netherlands. 1990.

- KIM, R., LEE S., KIM J. Application of a metal membrane for rainwater utilization: filtration characteristics and membrane fouling. **Desalination** **177**. 2005.
- KIM, R., LEE, S.,a, JEONG, J., LEE J., KIM Y. Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. **Desalination** **202**. 2007.
- LEAL, Tatiana F. M., FONTENELE Anna P. G. e PEDROTTI Jairo J. Composição Iônica Majoritária de Águas De Chuva no Centro da Cidade de São Paulo. **Química Nova Vol. 27**, 2004.
- LISBOA, M. M. R. T. Ultrafiltração no tratamento de águas para consumo humano. Universidade nova de lisboa. Faculdade de Ciências e tecnologia. departamento de Ciências e do Ambiente. *Dissertação de Mestrado*. 2001.
- LI, X.Y., Chu, H.P., 2003. Membrane bioreactor for the drinking water treatment of polluted surface water supplies. **Water Research** **37**, 4781–4791.
- LIFESTRAW, 2008. Vestergaard Frandsen. <http://www.vestergaardfrandsen.com/lifestraw.htm> (acesso em novembro de 2014).
- MADAENI S. S., S. NAGHDI Sedeh, M. DE Nobili. **Transport in Porous Media**. 2006.
- MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.
- MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- MARTINS, R. F. **Avaliação da qualidade das águas de chuva de Florianópolis, Tubarão, Criciúma e São Martinho, com ênfase na caracterização das influências marinhas e continentais simuladas utilizando o modelo HYSPLIT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.
- MIERZWA, J. C., HESPANHOL I., SILVA, C., RODRIGUES L. Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**. 2007.
- MIGNANI, M. Nosenzo, G. Gualdi, A. Innovative ultrafiltration for wastewater reuse. **Elsevier, Desalination**. Italia. 1999.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria N° 2914 de 12 de Dezembro de 2011**. Disponível em: 96 http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf. Acessado em: 10 de setembro de 2013.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MOTTA, Maurício. **Introdução aos processos de separação por membrana**. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências Departamento de Engenharia Química. 2005.

MROWIEC, M. Potentials of rainwater harvesting and utilization in Polish households. 11th **International Conference on Urban Drainage**, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

MUNIR, Ahsan. **Dead End Membrane Filtration**. Laboratory Feasibility Studies in Environmental Engineering . Spring. 2006.

NETO, Andrade. C O de. **Proteção Sanitária das Cisternas Rurais**. In: XI simpósio luso-barsileiro de engenharia sanitária e ambiental. Natal, Brasil. Natal: ABES/APESB/APRH. 2004.

NICOLAISEN, Bjarne. Developments in membrane technology for water treatment. **Desalination. USA**. April 2002.

OLIVEIRA, Nancy Nunes. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos**. 2008. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (curso de Engenharia Civil) – Universidade Guarulhos. Guarulhos, 2008.

OLIVEIRA, Sulayre M. **Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Junho, 2005.

ONU. Organização nas Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <http://www.onu.org.br/>. Acesso em 28 de setembro de 2013.

OURIQUES, Rafael Z. BARROSO, Lidiane B. Águas pluviais: uma alternativa para o futuro das cidades. **Disc. Scientia**. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 10, 2009.

PALMIER, L.R. **A necessidade de bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semi-árida do Brasil**. In: 3º simpósio brasileiro de captação de água de chuva no semi-árido. Paraíba, 2001.

PEREIRA José S. Júnior. Recursos hídricos – conceituação, disponibilidade e usos. **Consultor Legislativo da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental**, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Câmara dos Deputados. 2004.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PERSSON, Kenneth M. Study of membrane compaction and its influence on ultrafiltration water permeability. Lund University. **Desalination**. 1994.

PHILLIPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da água de chuva. In: Gonçalves, R. F. (coord.). **Uso Racional da água em edificações**. Vitória: ABES, 2006.

PINHEIRO, A. Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água da chuva. In: Congresso De Engenharia Sanitária E Ambiental. Campo Grande. Campo Grande: ABES, 2005.

PNUMA - Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente. Informativo do comitê brasileiro do programa das nações unidas para o meio ambiente. Disponível em: <http://www.unilivre.org.br/>. Acesso em: 26 de outubro. 2014.

POULIOT Y., M.C. WIJERS, S.F. GAUTHIER, L. NADEAU. Fractionation of whey protein hydrolysates using charged UF/NF membranes. **Journal of Membrane Science**. Canada, 1998.

PORTARIA n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília. 2011.

POTER, M.C. **Handbook of Industrial Membrane Technology**. New Jersey: Noyes Publications, 1990.

RANATUNGA, N. U. K. **First Flush Systems and Filters in Rainwater Harvesting Systems**. Lanka Rainwater Harvesting Forum. 1999. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/rainwaterharvesting/index.html>>. Acesso em: 1 junho 2014.

REBOUÇAS, A. C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez**. Bahia Análise & Dados. Vol. 13. 2003.

SANTOS Geogr. Elaine Regina Oliveira. **Relatório anual sobre a situação Dos recursos hídricos no estado do rio grande do sul**. Porto Alegre. 2013.

SIQUEIRA H. M. **Tratamento De Água De Chuva Natural E Sintética Através De Microfiltração**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Centro de CiênciasTecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau - FURB. 2008.

SILVA, Álisson B. **Avaliação do emprego da ultrafiltração em membrana na remoção de células de Cianobactérias e microcistina para águas de abastecimento**. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Belo horizonte, 2008.

SONG, Lianfa. New model for the calculation of the limiting flux in ultrafiltration. **Journal of Membrane Science** **144**. Kowloon, Hong Kong. 1998.

SOTÉRIO, Patrícia W. PEDROLLO, Márcia C. ANDRIOTTI, José L. **Mapa de isoietas do rio grande do sul**. Porto Alegre. 2002.

STRATHMANN, Heiner. **Handbook of industrial membrane technology**. Consultant Pleasanton, California. Reprint Edition. NOYES PUBLICATIONS Copyright. 1990.

TAYLOR J. S., Ph.D., P.E. WIESNER Mark, Ph.D. **Membranes**. Capítulo 11. 2000.

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

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo, 2009.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O.M.C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2000.

UYGER, N., Karaca, F., & Alagha, O. Prediction of sources of metal pollution in rainwater in Istanbul, Turkey using factor analysis and long-range transport models. **Atmospheric Research**, **95**. 2010.

VARBANETS P. M.; ZURBRU C.; SWARTZ. C.; PRONK W. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. **Water Research** **43**. 2009.

YOSHIDA, R. O. **Reutilização das membranas de osmose inversa no tratamento de efluentes industriais**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

WAGNER, Jorge. Sc. **Membrane Filtration Handbook, Practical Tips and Hints**. Second Edition, Revision. November, 2001.

WANG, Lawrence K. CHEN, Jiaping P. HUNG Yung-T. SHAMMAS, Nazih K. Membrane and Desalination Technologies. Handbook Of Environmental Engineering. Volume 13. **Springer Science - Business Media**, LLC 2011.

WATERFALL, P. H. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>. Acesso em 13 de setembro 2014.

WELLBURN, A. **Air pollution and acid rain: the biological impact**. New York, 274 p. 1988

WHO guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.

World Economic Forum. **The International Organization for Public-Private Cooperation**. Disponível em: <http://www.weforum.org>. Acesso em 20 de dezembro de 2014.

ZHAO, Y.; ZHOU, S.; LI, M.; XUE, A. Y. Z., WANG, J.; Weihong Xing. Humic acid removal and easy-cleanability using temperature responsive ZrO₂ tubular membranes grafted with poly (N-isopropyl acrylamide) brush chains. **Water Research** **47**. 2013.

3M. Petrifilm: Placas para contagem de Escherichia coli. **Instrução de uso.** 3M do Brasil Ltda. Microbiologia. St. Paul, MN 55144-1000.