



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

**CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVAVEIS**

RONALD ALVES FERREIRA

**APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS SALOBRAS SUBTERRÂNEAS DO SEMI-
ÁRIDO NORDESTINO UTILIZANDO AS TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO
COM OSMOSE REVERSA E ENERGIA FOTOVOLTÁICA**

Salvador

2018

RONALD ALVES FERREIRA

**APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS SALOBRAS SUBTERRÂNEAS DO SEMI-
ÁRIDO NORDESTINO UTILIZANDO AS TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO
COM OSMOSE REVERSA E ENERGIA FOTOVOLTÁICA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em ENERGIAS RENOVÁVEIS.

Orientador : Prof. Sérgio Oliveira Pitombo

Co-Orientador: Prof. Dr. Francisco Anderson Lima

Salvador

2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Centro Universitário SENAI CIMATEC

F383a Ferreira, Ronald Alves

Aproveitamento das águas salobras subterrâneas do semi-árido nordestino utilizando as tecnologias de dessalinização com osmose reversa e energia fotovoltaica / Ronald Alves Ferreira. – Salvador, 2018.

73 f. : il. color.

Orientador: Prof. MSc. Sérgio Oliveira Pitombo.
Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Anderson Lima.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2018.
Inclui referências.

1. Semi-árido. 2. Água salobra. 3. Osmose reversa. 4. Fotovoltaica. I. Centro Universitário SENAI CIMATEC. II. Pitombo, Sérgio Oliveira. III. Lima, Francisco Anderson. IV. Título.

CDD: 333.794

RONALD ALVES FERREIRA

**APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS SALOBRAS SUBTERRÂNEAS DO SEMI-
ÁRIDO NORDESTINO UTILIZANDO AS TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO
COM OSMOSE REVERSA E ENERGIA FOTOVOLTÁICA**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis no, Centro Universitário SENAI Cimatec.

Aprovada em 26 de julho de 2018.

Banca Examinadora

Orientador: _____

Prof. Doutorando Sérgio Oliveira Pitombo
Doutorando em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pela Faculdade SENAI Cimatec, Salvador, Bahia, Brasil

Co-orientador: _____

Prof. Dr. Francisco Anderson Lima
Doutor em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil

Membro da Banca: _____

Prof. Dr. Alex Álisson Bandeira Santos
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

AGRADECIMENTOS

Ao meu tio Fernando (in memória), aos meus filhos Marcos e Christiane pela expectativa de continuidade do conhecimento e a minha companheira Luciana pela paciência, sentimentos de carinho, coragem e amor.

Ao meu Orientador Sergio Pitombo e ao meu Co-Orientador Francisco Anderson, pelo exemplo de diplomacia e tranquilidade na condução das orientações.

Aos colegas da 1a. Turma do Curso de Especialização em Energias Renováveis do Senai Cimatec por compartilharem essa jornada de luta.

"Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor... Lembre-se. Se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo."

Albert Einstein

RESUMO

O Nordeste brasileiro, na região do semi-árido, nas últimas décadas, tem vivido uma situação de forte escassez de água, devido a secas prolongadas, com perspectivas piora deste cenário em função do próprio clima, agravado pelo aquecimento global. Este projeto, intitulado *Aproveitamento das águas salobras subterrâneas do semiárido nordestino utilizando as tecnologias de dessalinização com osmose reversa e energia fotovoltaica*, visa proporcionar alternativas para auxiliar na solução de problemas socioambientais, inspirado no Programa Água Doce, com o uso das tecnologias disponíveis, ou seja Osmose Reversa e Células Fotovoltaicas, bem como os recursos naturais existentes na região, em coerência com a premissa de sustentabilidade. Para atender este propósito, foi feito o estudo múltiplo de caso em dez poços artesianos, existentes em cinco estados nordestinos, com diferentes teores de sal dissolvidos, localizados nos Estados do Ceará, Paraíba, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco, sendo dois poços por Estado. O método de dessalinização adotado foi o processo de separação de sais, mediante membranas da estação de Osmose Reversa, que consiste em fazer a água contendo alta teor de sais dissolvidos passar através do meio filtrante, gerando duas correntes: uma livre do excesso de sais para consumo humano e outra rica em sais minerais, chamado de rejeito. Entretanto, este projeto se dedica apenas à primeira corrente, ou seja, o permeado. Para os cálculos da estação de Osmose Reversa foi utilizado o software do Rosa® da Dow Química e para os cálculos do sistema Fotovoltáico foi utilizado o método do Manual da Bluesol - Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltáica . O resultado da pesquisa demonstrou a viabilidade técnica, que poderá ser implementada *in loco*, ou seja, há possibilidade de bombeio e tratamento de água salobra, transformando-a em água potável.

Palavras-chave: Semi-árido, Água Salobra, Osmose Reversa, Fotovoltáica

ABSTRACT

The Brazilian Northeast, in the semi-arid region, in the last decades, has experienced a severe water shortage, due to prolonged droughts, with worse prospects of this scenario due to the climate itself, aggravated by global warming. This project, titled Utilization of the underground brackish waters of the northeastern semiarid region using desalination technologies with reverse osmosis and photovoltaic energy, aims to provide alternatives to assist in the solution of socio-environmental problems, inspired by the Água Doce Program, using the available technologies, ie Reverse Osmosis and Photovoltaic Cells, as well as the natural resources existing in the region, in line with the sustainability premise. In order to meet this purpose, a multiple case study was carried out in ten artesian wells in five northeastern states with different dissolved salt contents, located in the states of Ceará, Paraíba, Bahia, Rio Grande do Norte and Pernambuco, two wells by State. The desalination method adopted was the process of separation of salts, through membranes of the Reverse Osmosis station, which consists in making the water containing high dissolved salts pass through the filter medium, generating two streams: one free of excess salts for human consumption and another rich in mineral salts, called tailings. However, this project is dedicated only to the first stream, that is, the permeate. For the calculations of the Reverse Osmosis station the Dow Chemical's Rosa® software was used and for the calculations of the Photovoltaic system the method of the Blue-sun Manual - Introduction to Photovoltaic Solar Energy Systems was used. The result of the research demonstrated the technical feasibility, which can be implemented in loco, that is, there is possibility of pumping and treatment of brackish water, transforming it into drinking water.

Keywords: Semi-arid, Brackish Water, Reverse Osmosis, Photovoltaic

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Tabela de distribuição dos municípios pertencentes ao semi árido do Brasil..... | 25 |
| Tabela 2 - Disponibilidade hídrica per capita (m ³ /hab/ano)..... | 26 |
| Tabela 3 - Geração e Potência Instalada Solar no Mundo - 2014..... | 37 |
| Tabela 4 - Poços catalogados pelo SIAGAS no Brasil..... | 49 |
| Tabela 5 - Tabela das Análises Químicas de Água dos Poços dos estados BA, CE, PB..... | 50 |
| Tabela 6 - Tabela das Análises Químicas da Água dos Poços dos Estados de PE e RN..... | 50 |
| Tabela 7 - Poços Artesianos do SIAGAS..... | 53 |
| Tabela 8 - Especificações da Estação de Osmose Reversa..... | 53 |
| Tabela 9 - Bases de dados para simulação da Estação de OR..... | 53 |
| Tabela 10 - Lista de equipamentos Sistema de Tratamento de Águas..... | 54 |
| Tabela 11 - Cálculos hidráulicos da Estação de Tratamento de Água..... | 56 |
| Tabela 12 - Cargas do Sistema..... | 56 |
| Tabela 13 - Consumo Diário de Energia..... | 59 |
| Tabela 14 - Dados do Inversor..... | 60 |
| Tabela 15 - Dados da Bateria..... | 60 |
| Tabela 16 - Dados do Controlador de Carga..... | 62 |
| Tabela 17 - Dados do Módulo Solar..... | 63 |
| Tabela 18 - Lista de equipamentos do Sistema Fotovoltaico..... | 65 |
| Tabela 19 - Resultados da Simulação do Sistema de OR..... | 71 |
| Tabela 20- Tabela de dados de Irradiação nos locais dos poços artesianos..... | 72 |

LISTAS DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável..... | 18 |
| Figura 2 - Ciclo Hidrológico da Água..... | 20 |
| Figura 3 - Distribuição da água na Terra..... | 21 |
| Figura 4 - Usos para a água no Mundo..... | 21 |
| Figura 5 - Moradores da Cidade do Cabo em busca de água..... | 23 |
| Figura 6 - Mapa do semi árido da Região Nordeste..... | 25 |
| Figura 7 - Bacias Hidrogeológicas do Nordeste | 28 |
| Figura 8 - Espectro da radiação solar com detalhamento da faixa visível humana...30 | |
| Figura 9 - Espectro eletromagnético da radiação solar | 31 |
| Figura 10 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em rendimento energético anual do Brasil | 32 |
| Figura 11 - Alexandre Edmond Becquerel | 33 |
| Figura 12 - Painéis fotovoltaicos da estação espacial internacional..... | 36 |
| Figura 13 - Fluxo Osmótico natural e Osmose Reversa..... | 40 |
| Figura 14 - Elemento Filtrante da Estação de OR..... | 42 |
| Figura 15 - Tecnologias de tratamento de água com membranas | 43 |
| Figura 16 - Arranjo esquemático da dessalinização para fontes de água bruta subterrânea | 45 |
| Figura 17 - Desenho esquemático da Estação OR - Rosa Dow®..... | 51 |
| Figura 18 - Diagrama do Sistema de Bombas Tratamento de Água..... | 52 |
| Figura 19 - Diagrama Simplificado da FV..... | 59 |
| Figura 20 - Ciclos de Carga x Profundidade da Descarga | 61 |
| Figura 21 - Arranjo do mês crítico | 64 |
| Figura 22 - Arranjo do melhor mês..... | 64 |
| Figura 23 - Diagrama do Sistema de Tratamento de Água com OR..... | 72 |

ÍNDICE REMISSIVO**AEC**

Antes da Era Cristã, **13, 34**

CPRM

Serviço Geológico do Brasil, 13, 27,
28, **49, 55**

CRESESB

Centro de Referência para as
Energias Solar e Eólica Sérgio de S.
Brito, **13, 48, 55**

FV

Energia Fotovoltaica, 13, **18, 35, 48,**
55, 57, 58

INMET

Instituto Nacional de Meteorologia,
13, 55

MPPT

Maximum Power Point Tracking, **13,**
61

NASA

Agência Espacial Americana, 36

ONU

Organização das Nações Unidas,
13, 16, 19, 20, 65

OR

Osmose Reversa, **13, 18, 29, 41, 42,**
44, 46, **48, 50, 51, 53, 54, 65**

Osmose Reversa, 52

PAD

Programa Água Doce, **13, 29, 30, 46**

SIAGAS

Sistema de Informações de Águas
Subterrâneas, 13, 48, 49, 53, 55

STD

Sólidos Totais Dissolvidos, **13, 41,**
49, 50, 54

SUDENE

Superintendência do
Desenvolvimento do Nordeste, 13,
27

SunData

Sistema de Coleta de Dados de
Irradiação do CRESESB, **13, 55**

LISTAS DE SIGLAS

| | |
|-----------------------|---|
| AEC | Antes da Era Cristã |
| CPRM | Serviço Geológico do Brasil |
| CRESESB | Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito |
| FV | Energia Fotovoltáica |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| MPPT | Maximum Power Point Tracking |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| OR | Osiose Reversa |
| PAD | Programa Água Doce |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| STD | Sólidos Totais Dissolvidos |
| SUDENE | Superintendência para do Desenvolvimento do Nordeste |
| SunData v. 3.0 | Sistema de Coleta de Dados de Irradiação do CRESESB |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| LISTAS DE FIGURAS | 10 |
| LISTAS DE SIGLAS | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 Definição do problema | 16 |
| 1.2 Objetivo..... | 17 |
| 1.3 Importância do estudo..... | 17 |
| 1.4 Motivação | 17 |
| 1.5 Limites e limitações | 17 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO TEMA | 18 |
| 2.1 Águas do semi-árido brasileiro..... | 24 |
| 2.2 Energia Fotovoltaica..... | 30 |
| 2.2.1 Recurso solar e suas características..... | 30 |
| 2.2.2 Breve história da evolução das células fotovoltaicas | 33 |
| 2.3 Osmose Reversa | 39 |
| 2.3.1 Fundamentos | 39 |
| 2.3.2 Osmose Reversa e a Tecnologia das Membranas | 43 |
| 2.3.3 Processos de Dessalinização | 44 |
| 2.3.4 Breve histórico da evolução da dessalinização no mundo | 45 |
| 3 METODOLOGIA DO ESTUDO..... | 48 |
| 4 APLICAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS..... | 49 |
| 4.1 Sistema de Tratamento de Água com OR..... | 50 |
| 4.2 Simulações da Estação de OR..... | 53 |
| 4.3 Sistema Fotovoltaico - FV | 57 |
| 4.3.1 Projeto da estação fotovoltaica | 58 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Cargas e energia | 59 |
| 4.3.3 | Cálculo do Inversor de Frequência | 59 |
| 4.3.4 | Cálculo do Banco de Baterias | 60 |
| 4.3.5 | Cálculo do controlador de cargas | 62 |
| 4.3.6 | Cálculo do número de módulos fotovoltaicos | 62 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 66 |
| | REFERÊNCIAS..... | 67 |
| | APÊNDICE..... | 71 |

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas ONU reuniu-se com os representantes dos países, em 2015, para tratar do plano de desenvolvimento sustentável, no intuito de melhorar a vida das pessoas no planeta, destacando as questões climáticas, ambientais e relativas aos recursos naturais.

Essa preocupação mundial concretizou-se em evento ocorrido na África do Sul, com relação aos recursos hídricos, tendo em vista que na Cidade do Cabo, a falta de água já é uma realidade. Estava previsto que, a partir do mês de abril de 2018, os habitantes iriam viver a falta total de água encanada. A solução encontrada pelo Governo africano para evitar a crise hídrica, foi um limite de até 50 litros por pessoa diariamente. Esta foi a primeira medida de emergência, relativa à disponibilidade de água para uma população pertencente a grandes centros urbanos do mundo.

No último Fórum Mundial da Água, que ocorreu em Brasília de 18 a 23 de março 2018, discutiu-se essa temática da água, onde foi ressaltada a carta que trata dos problemas dos reservatórios e da segurança hídrica. A disponibilidade hídrica natural não atende as demandas, necessitando para tal propósito a construção de reservatórios de acumulação de água, inclusive para o Brasil.

O nosso país dispõe de grandes volumes de águas superficiais, porém estão mal distribuídas em relação aos centros populacionais, tendo em vista que os maiores mananciais estão na região amazônica, com baixa densidade demográfica e industrial, enquanto que a região nordeste e centro sul carecem desse recurso.

O semi-árido brasileiro, que envolve nove Estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe), encontra-se em região de intensa escassez de água, devido a secas prolongadas e freqüentes, além da sua formação geológica ser composta por rochas cristalinas, com predominância de águas subterrâneas com alto teor de sal.

O governo do Brasil vem demonstrando interesse em apresentar soluções, mediante a construção de reservatórios e barreiros, a fim de promover a contenção da água de chuva e poços artesianos com bombeio de água subterrânea. Entretanto, essas medidas dependem de uma infra-estrutura, a saber: a) transporte e distribuição via caminhão pipa, dependendo para isso da disponibilidade de

estradas e b) existência de rede de energia elétrica para bombeio e/ou captação para distribuição da água via adutora.

Em pesquisa realizada anteriormente, foram feitos levantamentos de poços artesianos, situados na Paraíba com objetivo de verificar o estado de conservação, bem como a situação dos sistemas quanto à operação, manutenção, eficiência e destinação dos rejeitos, produzidos por estes equipamentos, segundo (Amorim, Porto, Matos, & da Silva, 2004).

Foram pesquisados 21 poços e os resultados apontam que 62% estão em bom estado de conservação. Os problemas mais comuns são com o sistema de membranas (21%), problemas com moto-bomba (53%) e problemas com moto bomba e membranas (26%). Outra abordagem é quanto à dificuldade de manutenção e operação, assim como tempo de inoperância por questões de manutenção e reposição de equipamentos.

Outro ponto a se observar, é a destinação do rejeito salino, de forma inapropriada, diretamente no solo, que podem causar degradação do terreno, pela salinização e agravar a situação do semi-árido.

A solução da problemática da escassez de recursos hídricos passa por considerar todos os aspectos envolvidos, no momento do projeto e o impacto que a solução terá no futuro da região.

Pensando nesse problema recorrente, que assola o semi-árido brasileiro, o presente trabalho propõe uma alternativa, para poços pertencentes aos Estados do Ceará, Paraíba, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco, com diversas características, tais como: irradiação solar e teor de sais na água.

1.1 Definição do problema

As águas existentes no subsolo nordestino são geralmente salobras, impróprias para consumo humano, ensejando o tratamento para a retirada do excesso de sais dissolvidos. O procedimento convencional das ETA's - Estações de Tratamento de Água não se aplica ao abrandamento de águas, daí vem a necessidade de uma modalidade de tratamento não convencional, por meio de filtração para retenção das moléculas de sais dissolvidos.

Dessa forma, a questão desta pesquisa envolve responder como aproveitar as águas salobras subterrâneas do semi-árido nordestino.

1.2 Objetivo

Propor um estudo conceitual com detalhamento de uma estação de produção de água potável, a partir da conjugação de duas tecnologias: filtração com utilização de Osmose Reversa (OR) e energização com uso da tecnologia fotovoltaica (FV).

1.3 Importância do estudo

A relevância desse estudo, dentre outros aspectos, consiste em utilizar os recursos naturais existentes na região do objeto de análise, em coerência com a premissa de sustentabilidade, para proporcionar alternativas de solução dos problemas sociais e ambientais, principalmente nas regiões mais carentes do Brasil.

1.4 Motivação

Utilizar os conhecimentos de engenharia e das novas tecnologias, à serviço de soluções de problemas sociais.

1.5 Limites e limitações

A presente pesquisa se atem a uma proposta teórica, utilizando dados reais, como base de cálculos do sistema de obtenção de água, oriunda de poços artesianos. Não será aprofundado o estudo de descarte de rejeitos, havendo apenas sugestões para novos trabalhos que queiram tratar deste tema com profundidade.

O presente trabalho não contempla análise financeira. Este tema é relevante, já que existe progresso contínuo envolvendo todos os equipamentos tanto em relação ao aumento da eficiência assim como o declínio dos preços, que poderá ser utilizado para outros estudos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO TEMA

Em reunião ocorrida em setembro de 2015 na sede da ONU - Organização das Nações Unidas, líderes mundiais se reuniram e definiram um plano de ação com o objetivo de erradicar a pobreza, proteger o planeta e permitir que as populações alcancem paz e prosperidade, denominado: "Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável". Esta possui um conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, destacando ações em relação a adaptação às mudanças climáticas, gestão eficaz de recursos naturais e resiliência a desastres. (Sagaz & Reis, 2018)



Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Fonte: (ONUBR, 1945)

Segundo (Silveira, Degasperi, Nuvolari, & Firsoff, 2015), de uma maneira geral pode-se constatar que, ao longo da história recente da humanidade, os recursos naturais foram utilizados de uma maneira no mínimo irresponsável. A civilização humana tem adotado diferentes posturas, tecnologias e políticas de crescimento pouco comprometidas com a conservação do meio ambiente. Dentre os motivos podemos citar:

- Ganância e preocupação apenas com os lucros a serem obtidos de suas atividades;
- Falta de conhecimento e comprometimento de grande parte da população preocupada apenas com a sobrevivência;
- Falta de sensibilidade da área governamental conjugada com a falta de recursos, que dificulta ou impede a fiscalização para cumprimento das leis.

Existe outro fator que agravante que é a distribuição do recurso no planeta. No caso do Brasil a maior disponibilidade de águas superficiais encontra-se em regiões em que existe pequeno adensamento populacional com é o caso da região amazônica enquanto que em outras regiões densamente habitadas, a Região Metropolitana de São Paulo, que já encontra grandes dificuldade quanto a captação de água bruta facilmente tratável um vez que parte dos mananciais estão poluídos pelo lançamento indiscriminado de esgotamento sanitário e industrial nos corpos d'água. (Terra - Deutsche Welle, 2018)

A água é de fundamental importância para a vida de todas as espécies. Aproximadamente 80% do organismo humano é composto por água. O Dia Mundial da Água foi instituído pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1992 sendo comemorado no dia 22 de março.

O ciclo da água também conhecido como ciclo hidrológico, é um processo dinâmico de diferentes estados da água.

O vapor resultante da evaporação das águas superficiais, principalmente do mar, é transportado pelo movimento das massas de ar para o continente. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando nuvens, que podem resultar em precipitação na forma de chuva, neve ou granizo, conforme mostrado na Figura 2. A maior parte fica retida temporariamente no solo, próxima do local onde caiu, outra parte escoar até lagos, rios e o mar voltando a evaporar. Parte da água resultante da infiltração é absorvida pelas plantas outra parte infiltra profundamente indo abastecer o lençol freático. (Cerqueira & Francisco, 2002)

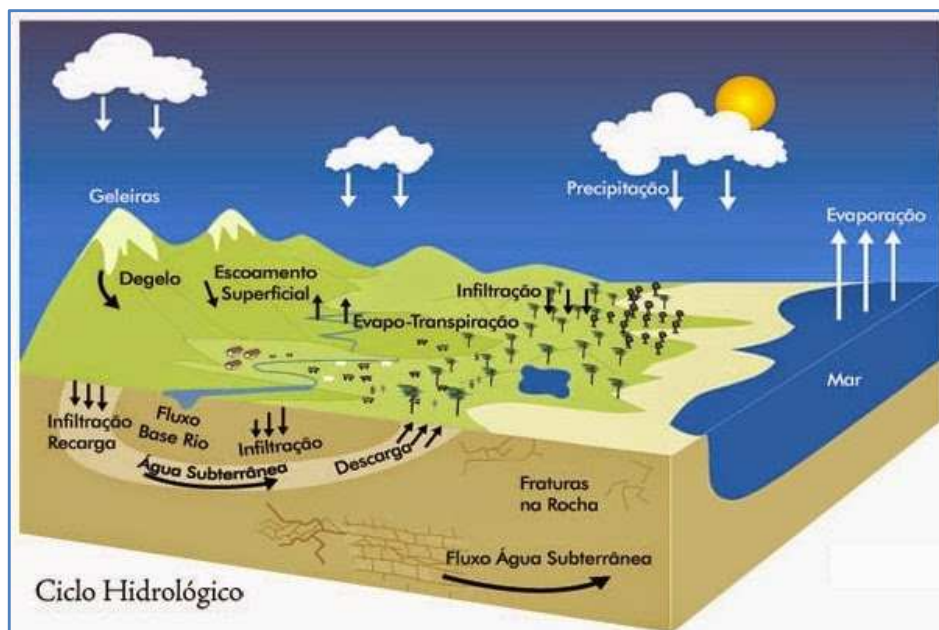


Figura 2 - Ciclo Hidrológico da Água

Fonte: (MMA, 1985)

O Brasil é um país privilegiado em relação a disponibilidade de água pois detém 53 % do manancial de água doce disponível na América do Sul e possui o maior rio do planeta em volume de águas, o rio Amazonas.

A água é uma substância composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio formando a molécula H_2O . É uma das substâncias mais abundantes em nosso planeta e pode ser encontrada em três estados físicos: gasoso (vapor de água na atmosfera), líquido (nos lagos, rios e oceanos) e sólido (geleiras das calotas polares).

Pelo menos 70% da superfície do nosso planeta encontra-se coberto por água. Apesar de abundante, menos de 3% deste volume é de água doce e encontra-se distribuída conforme Figura 3.

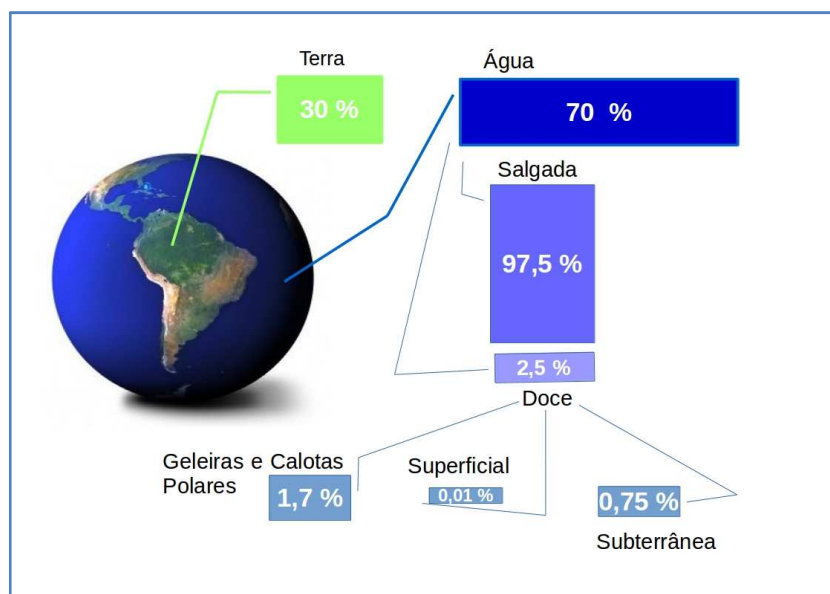


Figura 3 - Distribuição da água na Terra

Fonte: (ANA, 2000)

Apenas 0,05% da águas superficiais são disponíveis em mananciais superficiais (rios e lagos) disponíveis para tratamento e uso.

A água doce disponível no território brasileiro está irregularmente distribuída. Aproximadamente 72% dos mananciais estão na região amazônica, região esta que possui baixa densidade populacional e industrial, 27% na região Centro-Sul e apenas 1% na região Nordeste, conforme (Cerqueira & Francisco, 2002).

A água disponível para aproveitamento é destinada para atividades domésticas e industriais e se distribui conforme o estágio de desenvolvimento das sociedades e dos países de acordo com a Figura 4:

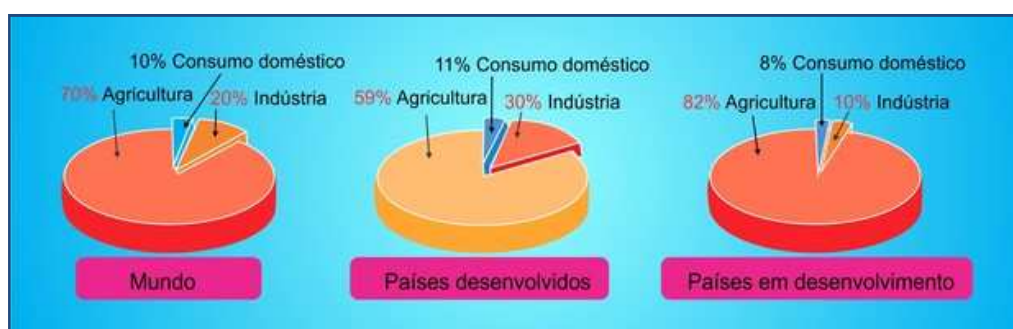


Figura 4 - Usos para a água no Mundo

(Gobbi, 2018)

Devido a industrialização, agricultura, a necessidade do aumento da produção de alimentos, para atender demanda do crescimento vegetativo da população e a escassez decorrente do fenômeno do aquecimento global, impõe um cenário de

demanda crescente e disponibilidade decrescente, resultando em problemas relativos a distribuição deste recurso.

Durante 2º Fórum Mundial da Água em 2000 aconteceu um pronunciamento intergovernamental com uma Declaração Interministerial onde foi dito que a segurança hídrica:

"significa garantir que ecossistemas de água doce, costeira e outros relacionados sejam protegidos e melhorados; que o desenvolvimento sustentável e a estabilidade política sejam promovidos; que cada pessoa tenha acesso à água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida saudável e produtiva, e que a população vulnerável seja protegida contra os riscos relacionados à água." (Sagaz & Reis, 2018)

A Declaração Ministerial também listou sete desafios a consecução da segurança hídrica :

1. Satisfação das necessidades básicas;
2. Garantia do abastecimento de alimentos;
3. Proteção aos ecossistemas;
4. Compartilhamento de recursos hídricos;
5. Gerenciamento de riscos;
6. Valorização da água;
7. Controle racional da água

É necessário levar em consideração a importância do uso múltiplo da água, considerando as necessidades de todos os setores que a utilizam, sua importância para o meio ambiente e levando em conta as prioridades do uso que são abastecimento humano e dessedentação de animais. Outra utilidade de fundamental importância é a geração de energia elétrica a partir das usinas hidroelétricas, que é uma peculiaridade do Brasil.

O documento alerta que o planeta está próximo a chegar num ponto crítico em relação ao uso de recursos hídricos e é necessário garantir os princípios de equidade, boa gestão e sustentabilidade (Sagaz & Reis, 2018).

Alerta também, quanto ao fato dos reservatórios estarem sob pressão, atendendo demandas superiores a capacidade que foram projetados, acarretando

déficit econômico, fragilizando políticas setoriais, além do impacto na qualidade de vida da população e dos biomas.

Diante desta situação o enfrentamento da crise hídrica trás consigo a necessidade da prática de gestão compartilhada, com decisões democráticas com o auxílio dos Comitês de Bacia para dirimir dúvidas e mediar conflitos.

Em março de 2018 os habitantes da Cidade do Cabo da África do Sul viveram momentos dramáticos quando, segundo as previsões dos órgãos governamentais, haveria uma data no mês de abril para a falta total de água encanada que ficou conhecida como "dia zero". Para evitar o colapso as autoridades impuseram um limite de até 50 litros diários por pessoa, como severas penalidades financeiras em caso de uso em excesso. Tal situação não estava prevista de ocorrer dada a política ambiental rigorosa incluindo a gestão cuidadosa da água. Mas, após uma estiagem de três anos, a pior do século, a Cidade do Cabo corria o risco de ser palco para a primeira emergência hídrica da população em grande centro urbano no mundo (Onishi & Sengupta, 2018).

Com as medidas a situação de caos apenas foi adiada e as autoridades correm contra o tempo para viabilizar um projeto de construção de mais poços artesianos e estações de dessalinização de água como alternativa de solução para o problema. A Figura 5 ilustra a situação dos moradores da Cidade do Cabo.

Existem três aquíferos subterrâneos, Cape Flats, Atlantis e Table Mountain, que segundo estimativas, poderiam fornecer até 150 milhões de litros, 20% da água potável da Cidade do Cabo.

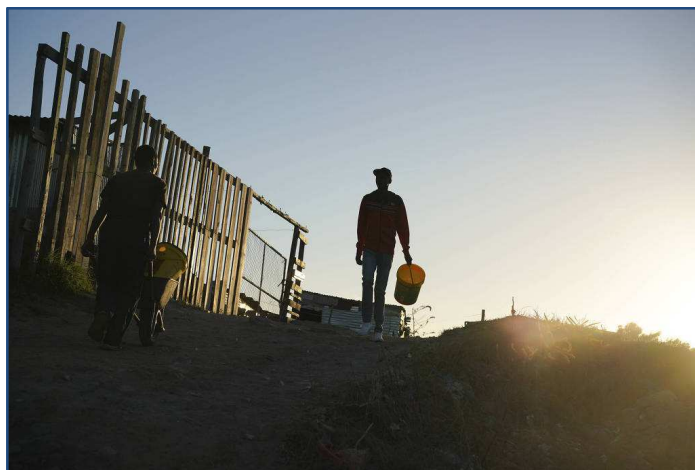


Figura 5 - Moradores da Cidade do Cabo em busca de água

Fonte : (Terra - Deutsche Welle, 2018)

Olhando para o futuro, os modelos climáticos indicam que será ainda mais seco, e as chuvas serão mais imprevisíveis nas próximas décadas.

As autoridades compreendem que haverá necessidade de reforçar a reserva de água, melhorar a gestão do uso da água e investir fortemente em novas tecnologias para extração e uso de águas subterrâneas e dessalinização. (Onishi & Sengupta, 2018).

2.1 Águas do semi-árido brasileiro

No Brasil o semi-árido é caracterizado como regiões aonde ocorrem precipitações pluviométricas medias anuais entre 250 ate 500 mm com vegetação composta por arbustos que se desfolham nos meses mais secos e pastagens que secam na época de estiagem conforme Figura 6. Estas regiões são denominadas caatingas presente apenas no Nordeste Brasileiro (Cirilo, 2008).

A Região do Nordeste do Brasil está na posição norte oriental do país cuja área é de 1.219.000 km², que equivale a um quinto da superfície do Brasil, abrange nove estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe) em consonância com o mapa apresentado na Figura 6. A região do semi-árido com delimitação em vigor desde 2005, ocupa 981.000 km², engloba 1.135 municípios e abriga próximo a 12% da população brasileira, cerca de 10 milhões de pessoas estão nas zonas rurais. (Grupo de trabalho - Delimitação do semi-árido Portaria n. 196, de 27 de maio de 2014). Em relação a águas subterrâneas, o território nordestino é em mais de 80% constituído por rochas cristalinas, com predominância de águas com alto teor de sais quando são captadas de poços artesianos de baixa vazão de cerca de 1,0 m³/h. (Cirilo, 2008).

Em junho de 2017, os dados foram atualizados pelo Grupo de Trabalho para Delimitação do Semi-árido do Ministério da Integração Nacional e foram resumidos na Tabela 1:

| UF | Semi-árido 2005 | Semi-árido 2017 | | | Total |
|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| | | Indicação de exclusão | Indicação de inserção | Já constam 2005 | |
| AL | 38 | 5 | | 33 | 33 |
| BA | 266 | 12 | 3 | 254 | 257 |
| CE | 150 | 10 | 15 | 140 | 155 |
| MG | 85 | 50 | | 35 | 35 |
| PB | 170 | 10 | | 160 | 160 |
| PE | 122 | 7 | | 115 | 115 |
| PI | 128 | 4 | 36 | 124 | 160 |
| RN | 147 | 6 | | 141 | 141 |
| SE | 29 | 18 | | 11 | 11 |
| Totais | 1.135 | 122 | 54 | 1.013 | 1.067 |

Tabela 1 - Tabela de distribuição dos municípios pertencentes ao semi árido do Brasil

Fonte: (Ramos, Cambraia, Júnior, & Castro, 2014)

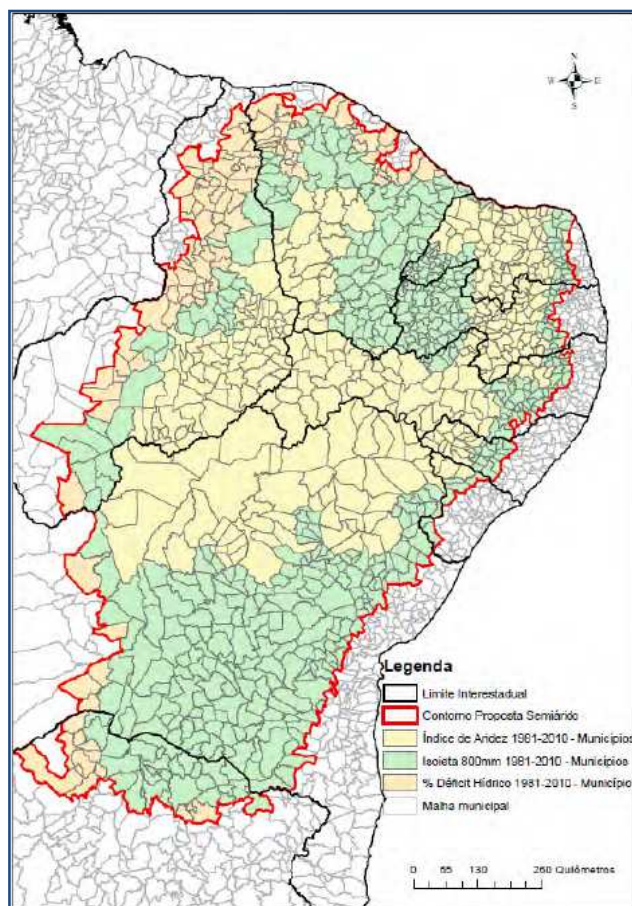


Figura 6 - Mapa do semi árido da Região Nordeste

Fonte: (Ramos, Cambraia, Júnior, & Castro, 2014)

| Disponibilidade hídrica per capita (m ³ /hab/ano) | Estados | Situação |
|--|---|-------------------|
| > 20.000 | AC, AM, AP, GO, MS, MT, PA, RO, RR, RS E TO | Riquíssimo |
| > 10.000 | MA MG, SC e PR | Muito Rico |
| > 5.000 | ES e PI | Rico |
| > 2.500 | BA e SP | Situação Adequada |
| < 2.500 | CE, RJ, RN, DF, AL e SE | Pobres |
| < 1.500 | PB e PE | Situação Crítica |

Tabela 2 - Disponibilidade hídrica per capita (m³/hab/ano)

Fonte: (Brasil Escola, 2002)

O povo nordestino tem enfrentado nas últimas décadas uma situação de forte escassez de água, devido a secas prolongadas com perspectivas de piora deste cenário, devido a fenômeno do aquecimento global. A Tabela 2 mostra as diferenças de disponibilidade de água, nos diferentes Estados do Brasil.

O governo tem apresentado alternativas de solução através da construção de açudes, barreiros, poços artesianos com bombeio, dependendo da existência de rede de abastecimento de energia elétrica, captação em fontes distantes do consumo através de adutoras e em muitos casos através de uso de caminhões pipa. Todas estas soluções ainda tem sido insuficientes e não contemplam condições extremas aonde não existe fonte de água superficial próxima, ausência de rede de energia elétrica e possibilidade de acesso fácil para caminhões pipa.

No entretanto, nestes locais existe a presença de moradores, que não tendo opções financeiras para uma retirada e com sentimento de pertencimento a terra aonde nasceram insistem em viver numa condição de sobrevivência extremamente severa quanto a obtenção deste recurso básico e fundamental que é a água.

Segundo a CPRM - Serviço Geológico do Brasil, a partir da década de 1960 após a criação da SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste, a água subterrânea no Brasil passou a ser tratada como ciência. A SUDENE promoveu um reconhecimento hidrogeológico pioneiro na região Nordeste, que resultou no inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste. Estes estudos deram visibilidade da potencialidade hidrogeológica da região. A partir deste evento a utilização da água subterrânea aumentou significativamente principalmente nos locais de maior potencialidade devido a necessidade de uma fonte de água para a região imposta pelas condições climáticas. O resultado foi o uso da água

subterrânea em parcelas crescentes, para o abastecimento público como para usos diversos. Em se tratando de uma região semi-árida a água subterrânea torna-se um recurso estratégico para o desenvolvimento.

Em 2001 o Ministério de Minas e Energia através do CPRM implantou o Programa de Água Subterrânea para o Semi Árido Brasileiro.

O Nordeste do Brasil em função de suas características geológicas e similaridade da ocorrência de água subterrânea em quatro bacias hidrogeológicas, apresentadas na Figura 7 :

- **Escudo Oriental Nordeste** - Constituído por rochas cristalinas apresentando potencial hidrogeológico fraco;
- **São Francisco** - Predominam aquíferos restritos a zonas fraturadas em quartzitos, metagrauvacas, metaconglomerados, calcários e dolomitos com potencialidade entre baixa e média;
- **Parnaíba** - Bacia sedimentar e constitui o maior potencial de água subterrânea do Nordeste;
- **Costeira** - Localizada na extensa faixa litorânea do país, estendendo-se desde o Amapá até o Rio Grande do Sul tendo bons índices de produtividade sendo aproveitado em diversas áreas para o abastecimento populacional (Feitosa & Vidal, 2004).

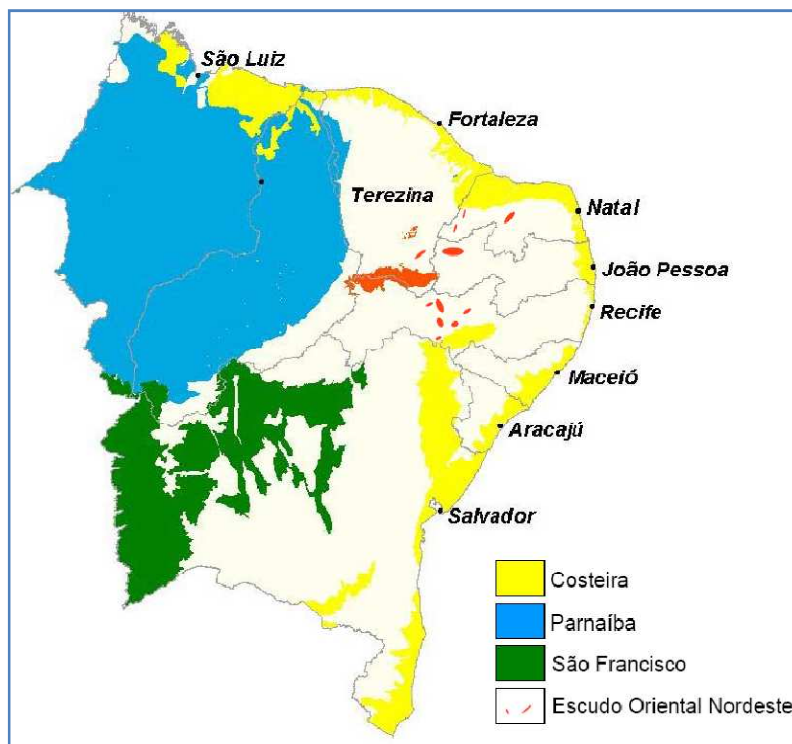


Figura 7 - Bacias Hidrogeológicas do Nordeste

Fonte: (Ramos, Cambraia, Júnior, & Castro, 2014)

Em 2012 o Governo Federal através do Ministério do Meio Ambiente em parceria com diversas instituições federais, estaduais, municipais e a sociedade civil formulou o Programa Água Doce (PAD), que visa estabelecer uma política pública permanente de acesso a água de qualidade própria para consumo humano por meio do aproveitamento sustentável de águas subterrâneas agregando cuidados ambientais e sociais na gestão de sistemas de dessalinização. O objetivo do programa é atender 25% da população rural do semi-árido, aproximadamente 2,5 milhões de pessoas até 2019. (Ferreira, 2012).

A água subterrânea é normalmente salobra, necessitando de tratamento para se tornar potável, e o método de dessalinização escolhido foi o processo de separação de sais por meio de membranas (Osmose Reversa - OR). Esse processo consiste em fazer a água passar através do meio filtrante, gerando duas correntes: uma livre do excesso de sais e própria para consumo humano, o permeado e a outra rica em sais minerais, o rejeito.

Visando dar sustentabilidade ambiental ao programa, a segunda corrente, o rejeito, será aproveitada para abastecer reservatórios para criação de espécies de peixes adaptadas a ambiente salino assim como a irrigação de variedade de vegetal, a (*atriplex nummularia*) conhecida como Erva-Sal, adaptada a irrigação com água

contendo elevado conteúdo de sais.

O Programa Água Doce - PAD visa atender comunidades rurais que possuam disponibilidade de energia elétrica servida das concessionárias locais. Existe uma peculiaridade nas regiões do Semi-Árido que é a abundância de uma fonte de energia inesgotável limpa e gratuita vinda do sol. O atual estágio evolutivo da ciência já nos permite aproveitar parte deste potencial, através da conversão desta energia luminosa em energia elétrica, utilizando a tecnologia de coletores fotovoltaicos.

2.2 Energia Fotovoltaica

2.2.1 Recurso solar e suas características

O sol é a principal fonte de energia para o planeta Terra, além de ser o responsável pela vida. A radiação solar é uma inesgotável fonte energética levando em consideração a escala de tempo de vida no planeta. Esse potencial energético poderá ser aproveitado por meio de captação e de conversão em outra forma de energia, como a térmica e a elétrica, sendo esta última modalidade abordada no presente estudo.

A energia irradiada pelo Sol cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético, conforme ilustra a Figura 8 e a Figura 9. Cerca de 81% da energia que chega ao Sistema Terra/Atmosfera está em uma faixa de comprimentos de onda que vai do visível ao infravermelho próximo. Essa energia alimenta todos os processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificialmente desenvolvidos, com aplicação do conhecimento científico e tecnológico produzido pela sociedade. Dentre os processos naturais, a fotossíntese (produção de biomassa), o ciclo hidrológico (evaporação/ precipitação), a dinâmica da atmosfera e oceanos (ventos e correntes oceânicas) são exemplos com os quais estamos interagindo de forma rotineira.

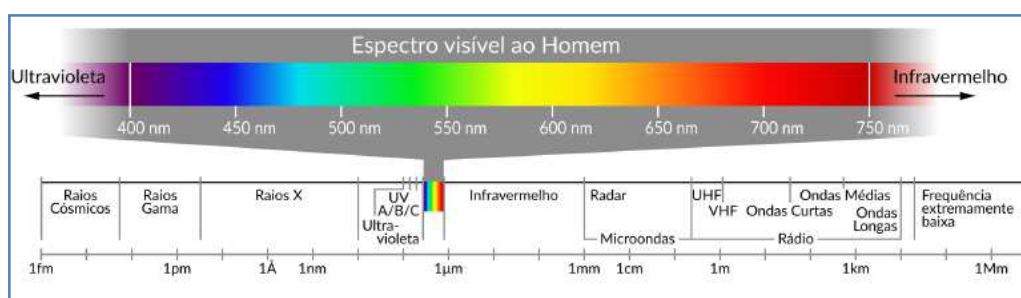


Figura 8 - Espectro da radiação solar com detalhamento da faixa visível humana

Fonte: (Pereira, et al., 2017)

O aquecimento solar, a geração de eletricidade, a climatização de ambientes são processos e tecnologias produzidos pelo desenvolvimento científico e tecnológico. Através de pesquisas um avanço significativo foi alcançado nas últimas décadas tanto no aproveitamento térmico para atendimento de demandas residenciais ou processos industriais, quanto para conversão em eletricidade. A tecnologia fotovoltaica, conhecida como geração fotovoltaica de eletricidade, também apresentou um intenso desenvolvimento que está resultando em um

crescimento significativo da participação da energia solar na matriz energética mundial.

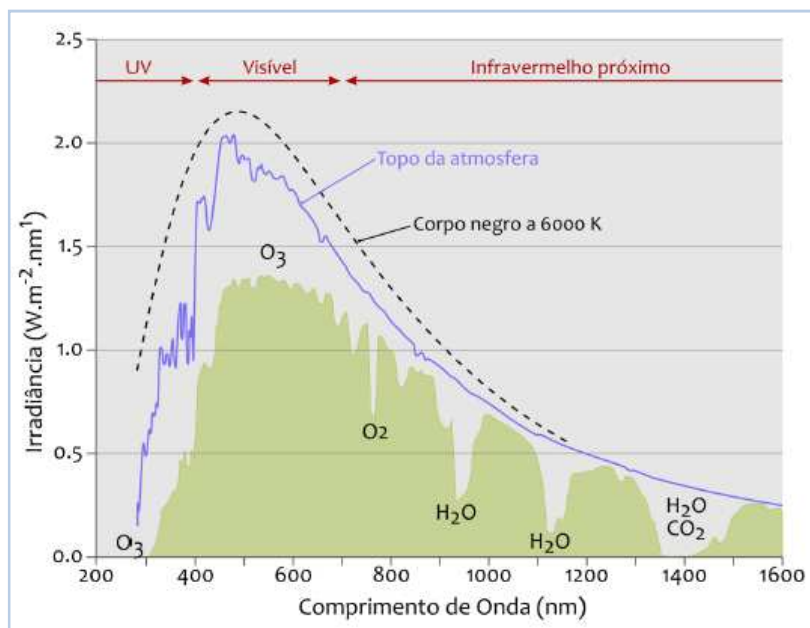


Figura 9 - Espectro eletromagnético da radiação solar

Fonte: (Pereira, et al., 2017)

O Brasil, por possuir uma área territorial com extensão continental abrangendo regiões de baixas e médias latitudes apresenta disponibilidade e variabilidade do recurso energético solar associado às condições região, clima e tempo. Isso ocorre porque sistemas meteorológicos provocam alterações na nebulosidade e nas concentrações dos gases e aerossóis que afetam os processos radiativos que podem atenuar a radiação solar ao longo do seu percurso na atmosfera.

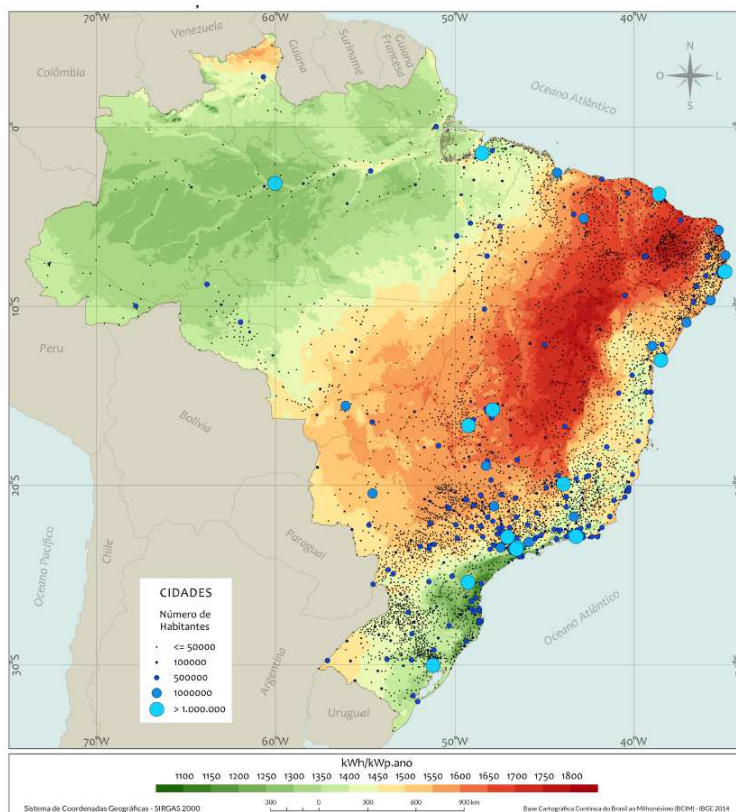


Figura 10 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em rendimento energético anual do Brasil

Fonte: (Pereira, et al., 2017)

Imaginando uma superposição entre a Figura 6 - Mapa do semi árido da Região Nordeste e a Figura 10 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em rendimento energético anual do Brasil, é possível visualizar a maioria dos locais que são objeto do presente estudo.

2.2.2 Breve história da evolução das células fotovoltaicas

O texto sobre tecnologia fotovoltaica do livro *Solar Energy - The Physics and Engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*, foi traduzido pelo autor desta pesquisa como um breve sumário da história da energia solar.

Desde em 7.000 anos Antes da Era Cristã - AEC, humanos já usavam vidros para aumentar a concentração da luz solar e conseqüentemente fazer fogo. Mais tarde antigos Gregos e Romanos usavam espelhos o concentradores com o mesmo propósito. (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015)

No século XVIII, o físico suíço Horace Bénédict de Saussure, mostrado na Figura 11, inventou um aquecedor um tipo de estufa. Ele construiu caixas quentes concêntricas, que consistia numa caixa de vidro com outra caixa de vidro maior, com um número total de cinco caixas. Quando expostas diretamente a luz solar, a temperatura no interior da caixa podia aumentar acima de 108 °C aquecendo o suficiente para ebulição da água e cozinhar comida. Estas caixas podem ser consideradas os primeiros coletores solares do mundo.

Em 1839 o físico francês Alexandre Edmond Becquerel, ilustrado na Figura 11, descobriu o efeito fotovoltaico com a idade de 19 anos. Ele observou o efeito de uma célula eletrolítica, que foi fabricada com dois eletrodos de platina colocados em um eletrólito. Um eletrólito é uma solução eletricamente condutora, Becquerel usou cloreto de prata (AgCl_2) dissolvido em solução ácida. Ele observou que a corrente da célula aumentada quando seu experimento era irradiado ou iluminado com a luz solar.

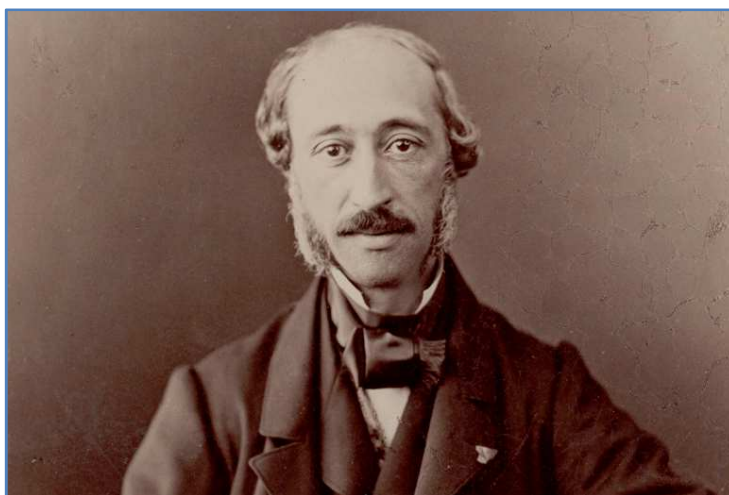


Figura 11 - Alexandre Edmond Becquerel

Fonte : (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015)

Entre as décadas de 1860 e 1870 o inventor Francês Augustin Mouchot desenvolveu o aquecedor solar de máquinas a vapor usando o primeiro coletor solar tipo calha parabólica no mundo. Mouchot foi motivado pela crença que as reservas de carvão eram limitadas. Na época o carvão era a fonte de energia que movia as máquinas a vapor. Entretanto o carvão tornou-se barato e o governo Francês decidiu que a energia solar era muito custosa e interrompeu a fundação de pesquisa de Mouchot.

Em 1876, o filósofo Inglês Willian Grylls Adms juntamente com estudante Richard Evans Day demonstraram que o efeito fotovoltaico baseado na junção entre a platina (Pt) e o semicondutor selênio (Se) mas com um rendimento muito baixo.

Sete anos mais tarde, o inventor Americano Charles Fritts iniciou o processo de produção do dispositivo FV baseado na junção ouro (Au) selênio (Se). A eficiência de conversão de energia foi de 1% (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015).

Em 1887 o físico Alemão Heinrich Hertz descobriu o efeito fotoelétrico. Neste efeito elétrons emitidos a partir de material que absorveu a luz com uma frequência de limiar dependente do material. Em 1905 Albert Einstein publicou um artigo no qual ele explorava o efeito fotoelétrico assumindo que a energia luminosa era carregada nos pacote quânticos de energia, que atualmente chamamos de fótons.

Em 1918 o químico Polonês Jan Czochralski inventou um método de agregar alta qualidade a materiais cristalinos. Atualmente esta técnica é muito importante para o uso crescente de silício mono cristalino em células de alta qualidade. O desenvolvimento da tecnologia Si-C iniciada na segunda metade do século XX.

Em 1953 o químico Americano Dan Trivich foi o primeiro a realizar o cálculo teórico do comportamento da célula solar para materiais com diferentes larguras de banda (bandgap).

O real desenvolvimento da atualidade começou nos Laboratórios Bell nos Estados Unidos. Em 1945 seus cientistas Darly M. Chapin, Calvin S. Fuller e Gerald L. Pearson, fabricaram o silício (Si) base das células solares com eficiência de aproximadamente 6%. No mesmo ano D. C. Reynolds e outros noticiaram o efeito fotovoltaico para o sulfeto de cádmio (CdS), um semi-condutor II-VI da tabela periódica dos elementos químicos.

Entre o meio e final da década de 1950 várias empresas e laboratórios iniciaram o desenvolvimento de células solares baseadas em silício com a meta de energizar os satélites que orbitavam a Terra. Entre estes estavam RCA Corporation, Hoffaman Eletronics Corporation mas também United States Army Signal Corps. Na época, a pesquisa da tecnologia fotovoltaica era principalmente dirigida para suprimento de energia para aplicações espaciais. O satélite Americano denominado Vanguard I o qual foi enviado pela US Navy em 1958, era provido de energia por células solares da Hoffman Eletronics. Ele foi o quarto satélite artificial da Terra e o primeiro suprido por células solares. Esteve operando até 1964 e ainda orbita a Terra. Em 1962 Bell Telephone Laboratories enviou o primeiro satélite de telecomunicações provido a energia solar e em 1966 a NASA enviou o primeiro observatório Astronômico Orbital o qual suprido por um painel solar de 1 kW. (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015)

Em 1968 o cientista Italiano Giovanni Francia construiu a primeira planta com concentradores de energia solar perto de Genoa na Itália. A planta projetada para produzir 1 MW com vapor superaquecido a temperatura de 500 °C e a pressão de 100 bar.

Em 1970 o físico Soviético Zhores Alferov desenvolveu células solares na hetero-junção gálio-arsênio (Ga-As). Esta foi a primeira célula solar baseada em material semi-condutor III-V. Em 1976, Dave E. Carlson e Chris R. Wronski desenvolveram o primeiro dispositivo fotovoltaico baseado em filme fino com silício amorfo no RCA Laboratories .

Em 1978 a companhia Japonesa Sharp e Tokyo Eletronics Aplicacion Laboratory trouxe a primeira calculadora a energia solar para o mercado.

Devido a crise do petróleo nos anos 70, quando ocorreu um aumento significativo nos preços do petróleo, o público se interessou por aplicações da tecnologia fotovoltaica na Terra nesta década. Neste momento a tecnologia fotovoltaica saiu de um nicho de mercado para aplicações espaciais para aplicações desenvolvimento de módulos fotovoltaicos e sistemas para aplicações terrestres. Células solares são ainda muito importantes para aplicações espaciais tal como visto na Figura 12 a qual mostra um painel solar na Estação Espacial Internacional (ISS).

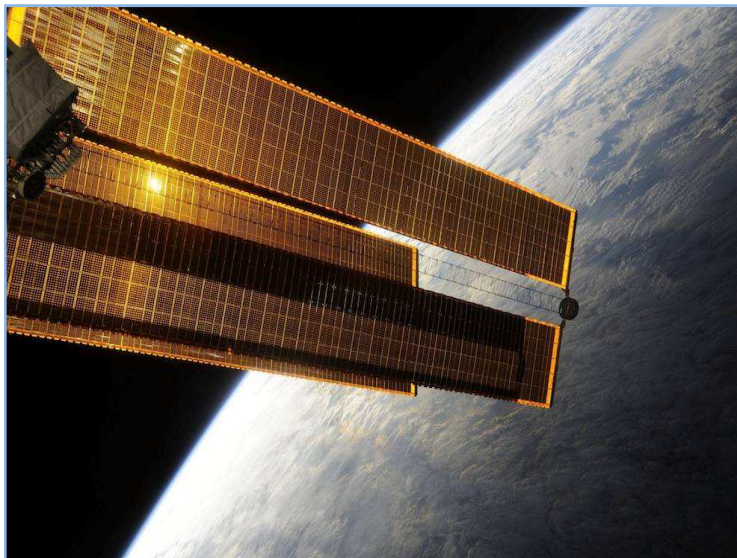


Figura 12 - Painéis fotovoltaicos da estação espacial internacional

Fonte : (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015)

Em 1980 a primeira célula solar baseada em filme fino de junção sulfeto de cobre/sulfeto de cádmio (CuS/CdS) foi anunciada com eficiência acima de 10% na universidade de Delaware. Em 1985, célula solar de silício cristalino com eficiência acima de 20% foi mostrada na Universidade of New South Wales na Austrália.

De 1984 até 1991 a maior geração de energia térmica do mundo foi construída no deserto de Mojave na Califórnia. Envolve nove plantas com capacidade combinada de 354 MW.

Em 1991 a primeira célula solar com tinta-sensibilizada foi noticiada na Escola Politécnica Federal de Lausanne na Suíça por Michael Gratzel e outros. A tinta-sensibilizada é um tipo de célula solar com sistema fotoelétrico-químico no qual um material semiconductor baseado em moléculas sensitizadas colocadas entre um foto anodo e um eletrólito. (Smets, Jäger, Isabella, Swaaij, & Zeman, 2015)

Em 1994 o US National Renewable Energy Laboratory (NREL) em Golden Colorado apresentou um concentrador solar baseado em material semiconductor do grupo III-V. Suas células fosfato índio-gálio / gálio-arsênio com junção conjugada excede o limite de 30% de conversão.

Em 1999 a potência total instalada no mundo passava de 1 GWp. Começou a partir de 2000 por questões ambientais e econômicas o interesse do público por energias renováveis por energia solar. Por consequência desde 2000 o mercado de energia fotovoltaica passou de mercado regional para mercado global. A Alemanha

tornou-se líder com a política de tarifa progressiva feed-in tornando-se uma grande indústria no mercado solar.

Desde 2008, o governo da China passou a investir pesadamente na indústria fotovoltaica. O resultado é que a China tem dominado a fabricação de painéis solares por vários anos. Em 2012 a capacidade mundial de energia solar superou a barreira mágica de 100 GWp. Entre 1999 e 2012 a capacidade instalada cresceu em um fator de 100. Em outras palavras, nos últimos 13 anos a taxa média de crescimento anual da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos foi de 40%.

Em 2015, o mundo contava com uma potência instalada solar de 234 GW, sendo 229 GW de FV e 5 GW de CSP. A tecnologia CSP inclui quatro tipos: Calha Parabólica (CP), Refletor Fresnel (RF), Torre Solar (TS) e Disco Solar (DS).

A geração total foi de 253 TWh, resultando num fator de capacidade médio de 13,9%. A Tabela 3 abaixo mostram dados da geração e potência instalada em 2014 (MME, 2016).

| País | Geração (TWh) | % da Geração Total | Potência Instalada (MW) | Fator de Capacidade (%) | Expansão no Ano (GW) |
|-------------------|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 China | 39,2 | 0,6 | 43.480 | 13,0 | 15,2 |
| 2 Estados Unidos | 39,0 | 0,9 | 25.577 | 19,5 | 7,3 |
| 3 Alemanha | 38,4 | 6,4 | 39.698 | 11,2 | 1,4 |
| 4 Japão | 30,9 | 3,1 | 35.409 | 12,2 | 12,0 |
| 5 Itália | 25,2 | 9,3 | 18.922 | 15,4 | 0,3 |
| 6 Espanha | 13,9 | 5,1 | 5.432 | 29,3 | 0,1 |
| 7 Reino Unido | 7,6 | 2,4 | 9.071 | 11,9 | 3,6 |
| 8 França | 7,3 | 1,3 | 6.557 | 13,6 | 0,9 |
| 9 Índia | 6,6 | 0,5 | 4.453 | 19,7 | 1,4 |
| 10 Austrália | 6,1 | 2,4 | 5.065 | 14,8 | 0,9 |
| 11 Coréia do Sul | 3,8 | 0,7 | 3.408 | 15,0 | 1,0 |
| 12 Grécia | 3,5 | 7,8 | 2.606 | 15,4 | 0,0 |
| 13 Bélgica | 3,2 | 4,7 | 3.251 | 11,3 | 0,1 |
| 14 Canadá | 2,6 | 0,4 | 2.504 | 13,4 | 0,6 |
| 15 Tailândia | 2,4 | 1,4 | 1.420 | 20,4 | 0,1 |
| Outros | 23,3 | 0,3 | 27.324 | 11,2 | 7,0 |
| Mundo | 253,0 | 1,0 | 234.178 | 13,9 | 51,8 |
| % do mundo | 1,0 | | 3,8 | | 22,2 |

Tabela 3 - Geração e Potência Instalada Solar no Mundo - 2014

Fonte: (MME, 2016)

Os cinco primeiros países em potência instalada respondem por 68% do total mundial. Em 2015, a China (1º) e os Estados Unidos (2º) superaram a Alemanha na geração.

Agora no primeiro semestre de 2018, segundo a ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, o Brasil está atingindo o registro histórico

de 250 MW de potência de energia solar fotovoltaica com instalações de sistemas de microgeração compartilhada em locais como: casas, empresas, comércios, prédios públicos e zonas rurais.

No início do ano, foi divulgado que o Brasil superou a marca de 1 GW de potência máxima instalada em geração de energia solar. A partir deste fato deste fato, o Brasil passou a fazer parte do grupo de 30 países que mais utilizam a energia solar fotovoltaica em sua matriz energética (MME , 2016).

Até junho de 2018, os dados mostraram que o setor de energia solar no Brasil possuía 30.686 sistemas fotovoltaicos instalados que, somados às usinas solares, totalizavam 1,5 GW de capacidade instalada. Segundo a ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica existe estimativa de que até 2024 mais de 1 milhão de consumidores devem passar a gerar sua própria energia elétrica.

2.3 Osmose Reversa

2.3.1 Fundamentos

A osmose é um processo natural no qual a água passa, através de uma membrana semipermeável, de uma solução de baixa concentração de sais a uma solução salina mais concentrada. Na natureza as plantas usam este fenômeno para retirar água do solo. A força motriz que para sua ocorrência é denominada de pressão osmótica e está diretamente relacionada a diferença nas concentrações de sais das duas soluções. Este é o processo natural também acontece no corpo humano.

A osmose é uma propriedade coligativa das soluções que pode ser compreendida como o deslocamento de solvente entre dois meios de solução com concentrações diferente, separados por uma membrana semipermeável. Na osmose, o solvente se desloca do meio hipotônico (menos concentrado) no sentido do meio hipertônico (mais concentrado) e o processo chega ao final quando os dois meios atingem o equilíbrio de concentração.

A osmose reversa (OR), ou inversa é quando o processo ocorre no sentido contrário ao da osmose. Ocorre que o solvente se desloca no sentido da solução mais concentrada para a menos concentrada por ação da aplicação de pressão superior a pressão osmótica. Tal processo permite a produção de água doce a partir de água com elevada concentração de sais dissolvidos.

A Figura 13 nos permite visualizar o processo de osmose natural e o processo de osmose inversa, quando é necessária a aplicação de uma pressão para contrabalançar a pressão que estabelece naturalmente quando dois meios de concentração diferentes são postos em contato havendo uma membrana semi-permeável entre eles.

A pressão osmótica (π) é semelhante a lei dos gases ideais segundo a equação:

$$\pi = \frac{nRT}{V} \quad (1)$$

onde R é a constante da lei dos gases, T a temperatura e V o volume.

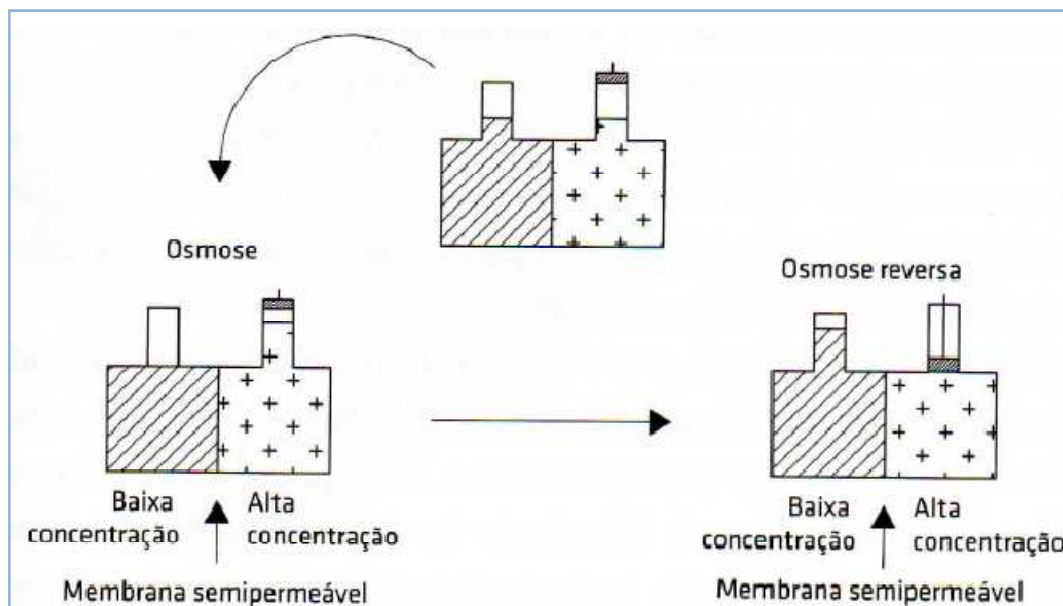


Figura 13 - Fluxo Osmótico natural e Osmose Reversa

Fonte: (Silveira, Degasperi, Nuvolari, & Firsoff, 2015)

A molaridade (M) é definida como a concentração de um soluto em um solvente (água), sem que haja reação, resultando em uma solução aquosa. A molaridade é expressa em moles do soluto (sais dissolvidos) por litro de solução, conforme equação 2.

$$M = \frac{\text{mols de soluto}}{\text{litros de solução}} \quad (2)$$

Portando a pressão osmótica pode ser escrita como:

$$\pi = MRT \quad (3)$$

n [=] Número de moles

π [=] Pressão Osmótica (atm)

M [=] Molaridade (moles/litro)

R [=] Constante universal dos gases (litros * atm / mol * K)

T [=] Kelvin

A pressão osmótica (π) é diretamente proporcional a molaridade (M) e a temperatura (T).

Uma característica importante é que a membrana seja seletiva e esta característica de seletividade é que vai definir o fluxo de água e o teor de sais presentes na corrente do permeado.

O fluxo é caracterizado pelo coeficiente de transporte do solvente (água) e a passagem de sais é dependente do coeficiente de transporte do soluto (sais). O coeficiente de transporte da água é proporcional a pressão aplicada ao líquido, enquanto que o coeficiente de transporte de sais é função do material e tecnologia da membrana. O fluxo e a rejeição dependerão das condições de funcionamento, entretanto os coeficientes de transporte dependem da qualidade intrínseca da membrana. O fluxo é a taxa na qual o solvente (água) passa através de uma unidade área da membrana, sendo expresso em L/m².h (litros por metro quadrado por horas).

A qualidade da água produzida (permeado) está relacionada a passagem de um íon específico ou pela concentração dos sólidos totais dissolvidos (STD). Algumas equações descrevem a passagem do soluto e do solvente através de uma membrana. A equação 4 expressa a maneira pela qual um solvente (água) passa através de uma membrana de OR.

$$Q_A = K_A * (\Delta P_H - \Delta P_O) * A_m / E_M \quad (4)$$

em que:

Q_A = fluxo de água através da membrana

K_A = coeficiente de permeabilidade da membrana (passagem da água)

ΔP_H = gradiente de pressão hidráulica através da membrana

ΔP_O = gradiente de pressão osmótica através da membrana

A_m = área superficial ativa da membrana

E_M = espessura da membrana

A equação 5, referente a passagem do soluto (sais dissolvidos) através da membrana pode ser descrita por:

$$Q_S = K_S * \Delta C_S * A_m / E_M \quad (5)$$

Q_S = fluxo de sal através da membrana

K_S = coeficiente de permeabilidade da membrana (passagem do sal)

ΔC_S = diferença de concentração de sal através da membrana

A_m = área superficial ativa da membrana

E_M = espessura

As propriedades da água de alimentação que tem maior relevância na rejeição dos sais pela membrana são:

- Valência iônica - Os íons divalentes e trivalentes são mais rejeitados do que os monovalentes;
- Tamanho da molécula - A rejeição aumenta com o aumento do tamanho da molécula;
- Tendência de ligação com o hidrogênio - A rejeição diminui aos compostos com forte ligação com o hidrogênio (Ex: $\text{H}_2\text{O} + \text{HN}_3$);
- Gases dissolvidos - Os gases dissolvidos são permeáveis em seus estados livres. (Ex: H_2S e CO_2) (Silveira, Degasperri, Nuvolari, & Firsoff, 2015).

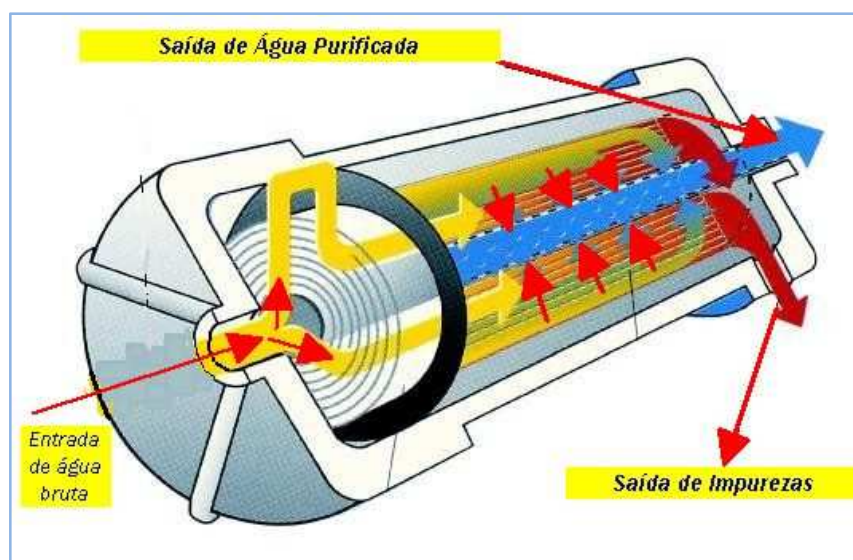


Figura 14 - Elemento Filtrante da Estação de OR
(Blogazine, 2012)

Diversos processos de dessalinização e suas aplicações vão depender da natureza da solução e do uso da água dessalinizada. A Figura 15 mostra as diversas tecnologias de separação em função do tamanho das partículas.

A Figura 14 nos permite uma visão das diferentes sessões, onde ocorrem as etapas de filtração a partir do fluxo de entrada e a geração das duas correntes de permeado e rejeito.



Figura 15 - Tecnologias de tratamento de água com membranas

Fonte: (Petrochem, 1977)

2.3.2 Osmose Reversa e a Tecnologia das Membranas

O primeiro registro que se tem em relação a fenômenos que ocorrem em membranas, data de 1748 e foi registrado por um abade francês de nome Jean Antoine Nollet (1700-1770). Em seu experimento, o abade emerge em água pura um copo cheio de vinho vedado com uma bexiga de origem animal. Passado algum tempo verificou-se que a bexiga expandira-se, chegando a romper em alguns casos.

O experimento evidenciou as características de permeabilidade e seletividade da membrana. A explicação para este fenômeno é que a diferença de potencial químico da água em relação aos dois lados da bexiga determina o fluxo preferencial da água para dentro do copo. No início, dada a elasticidade da bexiga, a pressão dentro do copo fica constante e numa etapa posterior a elasticidade da membrana diminui e a pressão aumenta até que o potencial químico da água no interior do copo se iguale ao potencial químico da água no recipiente externo ao copo atingindo ao equilíbrio termodinâmico (Habert, Borges, & Nobrega, 2006).

Desde a década de 1930, os processos de separação com membranas eram utilizados em diálise e micro filtração, mas foi só na final da década de 1950 é que os Estados Unidos decidiram investir em projetos de pesquisa com o objetivo da dessalinização de águas. Neste período duas descobertas importantes aconteceram: a primeira pelos cientistas Reid e Breton (1953) na Flórida, uso de membranas homogêneas de acetato de celulose e a segundo pelos cientistas Loeb

e Sourirajan (1960-1962) com aperfeiçoamento da técnica de preparo da membrana, chamada de inversão da fase por imersão-precipitação. A partir destes fatos houve aumento do interesse sobre o assunto, pois ocorreu aumento na seletividade e redução da resistência das espécies permeantes tornando processo de separação por membranas mais competitivo que os processos tradicionais.

Em 1966, os pesquisadores Cadotte e Francis propuseram o procedimento de preparar membranas em duas etapas como uma técnica alternativa ao uso da técnica de inversão de fase. Neste processo um filme ultrafino é colocado sobre uma membrana micro porosa que consistem em dois ou mais filmes laminados. O desenvolvimento das membranas compostas finalmente permitiu o uso comercial de processos de separação com membranas para permeação de gases, misturas líquidas e pervaporação.

No início dos anos 80 as firmas americana Monsanto e a alemã Sulzer (antiga GFT) foram as pioneiras na aplicação industrial de separação de gases e líquidos usando esta técnica no final da mesma década. (Habert, Borges, & Nobrega, 2006)

2.3.3 Processos de Dessalinização

No início da década de 1960 a osmose reversa (OR) já era conhecida como uma potencial tecnologia a ser utilizada para dessalinização de águas, entretanto o custo e a qualidade das membranas eram fatores importantes que desestimularam o seu uso. Somente a partir da década de 1980 com a evolução das membranas seu uso passou a ser competitivo em relação a processos térmicos de destilação.

A Figura 16 apresenta o arranjo esquemático do processo de dessalinização de água bruta subterrânea.

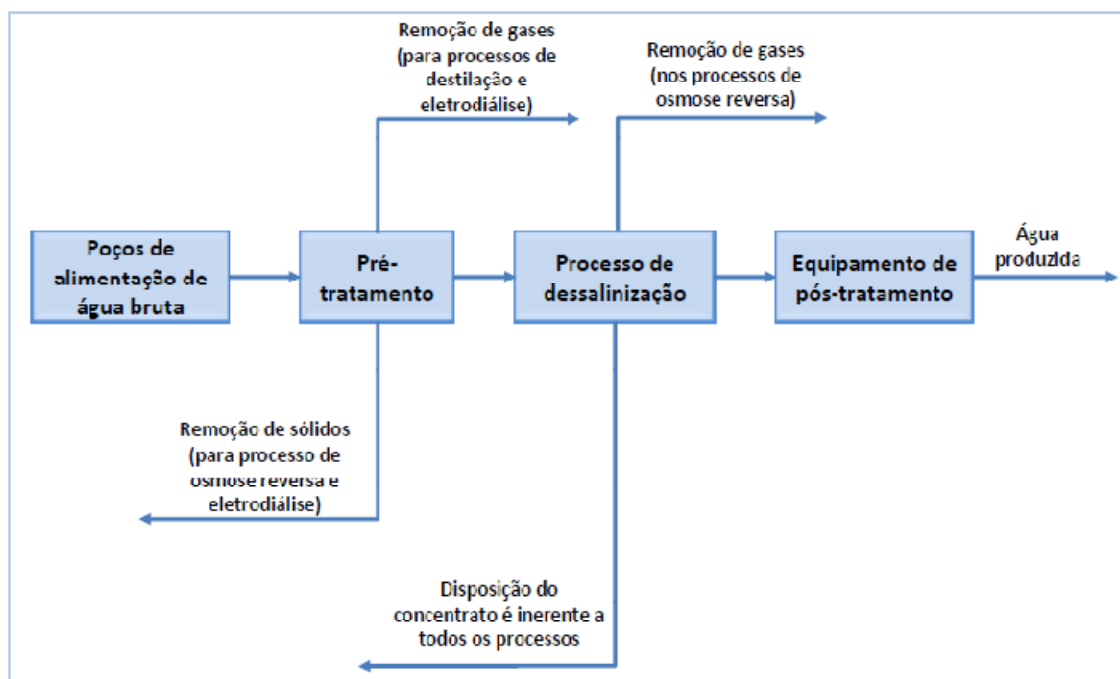


Figura 16 - Arranjo esquemático da dessalinização para fontes de água bruta subterrânea

Fonte: (Silveira, Degasperí, Nuvolari, & Firsoff, 2015)

2.3.4 Breve histórico da evolução da dessalinização no mundo

O ato de condensar vapor oriundo de águas salgadas e fazer uso para saciar a sede é provavelmente muito antigo quanto a Humanidade. Este fenômeno natural faz parte do ciclo hidrológico, uma vez que a maior parte da água doce no planeta tem origem na evaporação da água salgada dos mares e oceanos depois da precipitação atmosférica como chuva, granizo ou neve. Apresenta-se a seguir a história recente dos processos de dessalinização na Era da Revolução Industrial. (Silveira, Degasperí, Nuvolari, & Firsoff, 2015)

- Em 1928, foi instalada em Curaçao uma usina de dessalinização que utilizava o processo de destilação, com uma produção de 50 m³/dia de água potável.
- Nos Estados Unidos, as primeiras iniciativas para o aproveitamento mais efetivo da água do mar datam de 1952, quando o Congresso aprovou a Lei Pública n°. 448, cuja finalidade era criar meios que permitissem reduzir o custo da dessalinização da água do mar. O Congresso designou a Secretaria do Interior para fazer cumprir a lei, daí resultando a criação do Departamento de Águas Salgadas.
- O Chile foi um dos países pioneiros na utilização da destilação solar, construindo o seu primeiro destilador em 1961.

- Em 1964, entrou em funcionamento um destilador solar em Syri, ilha grega do mar Egeu, destinado a abastecer com água potável a sua população de 30.000 habitantes.
- A Grã-Bretanha, em 1965, já produzia 74% da água doce obtida por dessalinização no mundo, num total aproximado de 190.000 m³/dia.
- No Brasil, as primeiras experiências com destilação solar foram realizadas em 1970, sob os auspícios do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).
- Em 1971, as instalações de Curação foram ampliadas para produzir 20.000 m³/dia.
- Em 1987, a Petrobras iniciou seu programa de dessalinização de água do mar por meio do processo **OR** para atender às suas plataformas marítimas. Esse processo foi usado pioneiramente no Brasil, em terras baianas, para dessalinizar a água salobra nos povoados de Olho D'água das Moças, no município de Feira de Santana, e Malhador, no município de Ipiara.
- No Brasil, na ilha de Fernando de Noronha, em 1999, foi instalada uma usina de dessalinização de água do mar por OR, com capacidade para 16 m³/h.
- Em 2004, houve uma ampliação para 24 m³/h, em 2006, para 36 m³/h, e em 2011, para 54,2 m³/h.
- Em 2004, conforme dados da Associação dos Geógrafos Brasileiros, mais de três mil instalações desse tipo estavam implantadas no semiárido nordestino.
- O Governo Federal, com a criação do PAD - Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente, sinalizou a pretensão de ampliar esse número, indicando ainda a intenção de recuperar os equipamentos atualmente parados por falta de manutenção e mau uso.
- Em junho de 2010, Israel inaugurou a sua terceira usina de dessalinização, no norte da cidade de Hadera. Há a expectativa de que essa usina, que capta água do mar Mediterrâneo, produza cerca de 348.000 m³/dia, o suficiente para abastecer um sexto da população israelense.
- Em abril de 2013, a Dubai Electricity and Water Authority (Dewa, 2013), dos Emirados Árabes Unidos, inaugurou uma nova instalação no complexo de Jebel

Ali, na cidade de Dubai, que pode produzir cerca de 636.400 m³/dia de água potável. A capacidade atual de dessalinização de água é de aproximadamente 2.136.000 m³/dia, produção que é capaz de atender 10.680.000 habitantes (Dewa, 2013). (Silveira, Degasperi, Nuvolari, & Firsoff, 2015)

3 METODOLOGIA DO ESTUDO

Este estudo lida com duas tecnologias independentes: OR e FV. Com a conjugação delas foi possível chegar a uma análise conceitual, com detalhamento de uma estação de produção de água potável, em local remoto.

Para a aplicação da OR foram usados os parâmetros do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, da CBPM - Companhia Brasileira de Pesquisa Mineral. A simulação da estação de OR foi realizada com o auxílio do software ROSA® da DOW Versão 9.1 - 21/09/2013.

Quanto à tecnologia usada para o fornecimento de energia, foi através de painéis solares fotovoltaicos, com base no método de cálculo do Manual da Bluesol®, Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. (Souza R. d., 2017).

Os cálculos hidráulicos e de dimensionamento das bombas centrífugas utilizou-se a metodologia de especificação, operação, manutenção e instalação de bombas do Manual de Bombas Industriais. (Matos & Falco, 1998).

Os dados de irradiação solar foram obtidos do CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito utilizando as coordenadas geográficas de localização dos poços artesianos. Foi escolhida a estação mais próxima com os dados de irradiação solar média mensal ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{dia}$) no plano horizontal.

4 APLICAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

No site da CPRM - Serviço Geológico do Brasil, na secção do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas estão catalogados os poços artesianos do Brasil. Em consulta realizada dia 06/06/2018, foram encontrados 301.280 poços, estando distribuídos conforme Tabela 4 abaixo.

| UF | QUANT. | UF | QUANT. | UF | QUANT. |
|----|--------|----|--------|----|--------|
| AC | 779 | MA | 12.166 | RJ | 486 |
| AL | 1.652 | MG | 20.457 | RN | 11.715 |
| AM | 8.870 | MS | 1.999 | RO | 2.459 |
| AP | 105 | MT | 3.747 | RR | 1.632 |
| BA | 24.199 | PA | 8.509 | RS | 18.228 |
| CE | 23.289 | PB | 19.363 | SC | 7.545 |
| DF | 198 | PE | 30.109 | SE | 5.550 |
| ES | 1.009 | PI | 29.303 | SP | 32.816 |
| GO | 5.318 | PR | 28.578 | TO | 1.199 |

Tabela 4 - Poços catalogados pelo SIAGAS no Brasil
(Siagas, 1995)

Do total de poços catalogados, foram selecionados 180.675 poços pertencentes aos Estados do Ceará, Paraíba, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco. Deste último quantitativo, foram selecionados aqueles em que haviam informações relativas a análise química de água, dados referentes a perfuração do poço e descrição litológica. Desse montante, foram inicialmente eleitos 64 poços, com profundidade menores ou igual 70 m, concentração de sais dissolvidos (STD) na água entre 1.500 a 5.000 mg/l e altura estática de água. Da amostra de 64 poços, foram escolhidos 10 poços, sendo dois para cada Estado que podem ser verificados na Tabela 7.

A seguir são apresentadas as Tabela 5 e Tabela 6, com as análises de qualidade da água dos poços, nas localidades dos Estados em estudo.

| Dados | Minicípio | | BA | | CE | | PB | |
|---------------|--------------------------------|--------------|---------------|--------------------|-------------|----------------|-------------------|---------------|
| | | | CAMPO FORMOSO | CONCEIÇÃO DO COITÉ | MORADA NOVA | SÃO GONÇALO | PICUI | PEDRA LAVRADA |
| | Local | LAGOA CAVADA | SALGADALIA | SIRIEMA | CORDEIRO | NOVO HORIZONTE | CACHOEIRA DO SACO | |
| Ph | | Unid. | 7,7 | 7,8 | 7,2 | 7,6 | | |
| Cálcio | Ca ⁺² | mg/l | 264,0 | 588,0 | 434,3 | 168,0 | 52,0 | 148,2 |
| Potássio | K ⁺¹ | mg/l | 13,0 | 24,5 | 30,0 | 58,2 | | 21,5 |
| Magnésio | Mg ⁺² | mg/l | 168,0 | 246,2 | 602,8 | 75,3 | 89,9 | 164,9 |
| Sódio | Na ⁺¹ | mg/l | 325,0 | 502,5 | 450,0 | 246,0 | 487,5 | 864,4 |
| Bicarbonato | HCO ₃ ⁻¹ | mg/l | 545,0 | 260,4 | | 110,0 | 151,3 | 597,0 |
| Nitrato | NO ₃ ⁻¹ | mg/l | 10,20 | 0,06 | 0,42 | 12,98 | | |
| Cloreto | Cl ⁻¹ | mg/l | 638 | 1.653 | 3.148 | 911 | 1.100 | 1.500 |
| Sulfato | SO ₄ ⁻² | mg/l | 167,0 | 74,0 | 0,0 | 12,3 | 26,9 | 105,4 |
| Silica | SiO ₂ | mg/l | 43,2 | 52,5 | 1.356,0 | 75,0 | | |
| STD | | mg/l | | 4.076 | 4.475 | | | |
| Condutividade | | µS/cm | 3.090 | 4.935 | 8.950 | 4.300 | 5.120 | 3.410 |

Tabela 5 - Tabela das Análises Químicas de Água dos Poços dos estados BA, CE, PB

| Dados | Minicípio | | PE | | RN | |
|---------------|--------------------------------|--------------------|----------|-------------------------|------------|---------|
| | | | TACARATU | JABOATÃO DOS GUARARAPES | PENDENCIAS | UPANEMA |
| | Local | FAZENDA SALGADINHO | PRAZERES | AMARGOSO | ESPERANÇA | |
| Ph | | Unid. | | 6,7 | 6,7 | 3,1 |
| Cálcio | Ca ⁺² | mg/l | 360,0 | 38,8 | 93,2 | 100,3 |
| Potássio | K ⁺¹ | mg/l | 10,4 | 15,6 | 57,4 | 121,2 |
| Magnésio | Mg ⁺² | mg/l | 328,1 | 38,4 | 343,2 | 118,2 |
| Sódio | Na ⁺¹ | mg/l | 257,0 | 276,0 | 288,0 | 255,9 |
| Bicarbonato | HCO ₃ ⁻¹ | mg/l | 207,4 | 385,9 | 251,1 | |
| Nitrato | NO ₃ ⁻¹ | mg/l | 45,00 | 0,00 | | 203,13 |
| Cloreto | Cl ⁻¹ | mg/l | 1.750,0 | 375,0 | 1.450,3 | 951,6 |
| Sulfato | SO ₄ ⁻² | mg/l | 52,6 | 26,4 | 131,4 | 7,4 |
| Silica | SiO ₂ | mg/l | | | | 25,6 |
| STD | | mg/l | 3.730 | 1.098 | | |
| Condutividade | | µS/cm | 2.780 | | 15.210 | 3.390 |

Tabela 6 - Tabela das Análises Químicas da Água dos Poços dos Estados de PE e RN

4.1 Sistema de Tratamento de Água com OR.

Os resultados das análises químicas foram escolhidos, respeitando a faixa de STD definida no escopo do trabalho. Esses resultados foram introduzidos no banco de dados de análises do software Rosa Dow®, para o cálculo da estação de OR para cada poço individualmente. O balanço iônico foi ajustado pelo programa, com adição de cloreto à corrente de alimentação.

Num projeto experimental realizado, na *National University of Malásia (UKM), Bangi* foi construída uma estação de tratamento de água salobra, usando a tecnologia de OR energizada com painéis fotovoltaicos. Os resultados desse experimento foram confrontados com os resultados obtidos através da simulação do software ROSA® da DOW Versão 9.1 - 21/09/2013. Depois da comparação dos dados, concluiu-se que havia aderência entre eles, motivo pelo qual, software ROSA® da DOW Versão 9.1 - 21/09/2013 foi eleito para os cálculos do presente trabalho. (Alghoul, Poovanaesvaran, Mohammed, Fadhil, Alkilani, & Sopian, 2016).

As análises químicas de todos os poços, apresentadas nas Tabela 5 e Tabela 6, foram transcritas para a construção do banco de dados de análise do software. O sistema de membranas foi configurado, contendo um passe e dois estágios, gerando as correntes de *concentrate*(rejeito) e *permeate* (permeado). A membrana utilizada foi o modelo BW30-4040® Filmtec™ (específica para águas salobras) e dois elementos filtrantes por vaso. A Figura 17 abaixo mostra o arranjo físico.

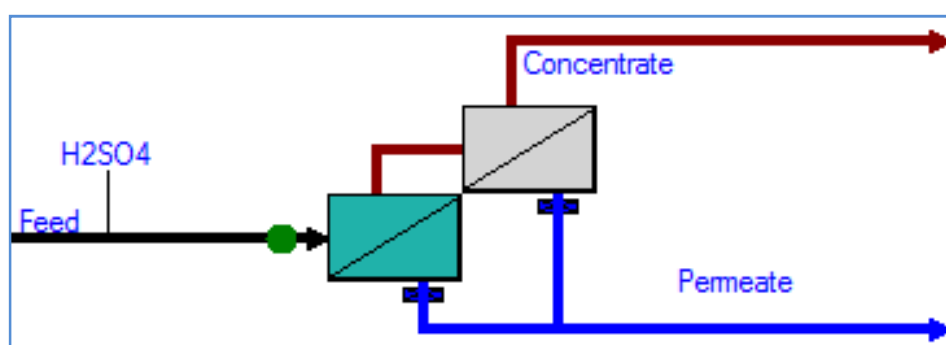


Figura 17 - Desenho esquemático da Estação OR - Rosa Dow®
Fonte: (Dow Water & Process Solutions, 2017)

Com a vazão e o rendimento é possível rodar o simulador para obtenção dos resultados específicos de cada poço. A configuração de dois estágios foi definida para obtenção de rendimentos de 49,5% em função dos limites do tipo e aplicação da membrana. Estes resultados podem ser consultados na Tabela 19, no Apêndice.

O sistema de pré tratamento contém bomba submersa para captação de água do poço, tanque de armazenamento de água salobra, bomba de alimentação do pré-filtro, com elemento filtrante de cartucho de polipropileno, tanque de armazenamento de solução de anti-incrustante, bomba dosadora e bomba de alta pressão para carga da estação de OR, conforme mostra a Figura 18. A água salobra pré tratada segue para a unidade de filtração na Estação de OR, mostrada na Figura

17. Na seqüência, são geradas duas correntes: a) permeado, que segue para o tanque de armazenamento da água potável, conforme enquadramento das condições de potabilidade e b) rejeito, que deverá ser armazenado numa bacia de contenção.

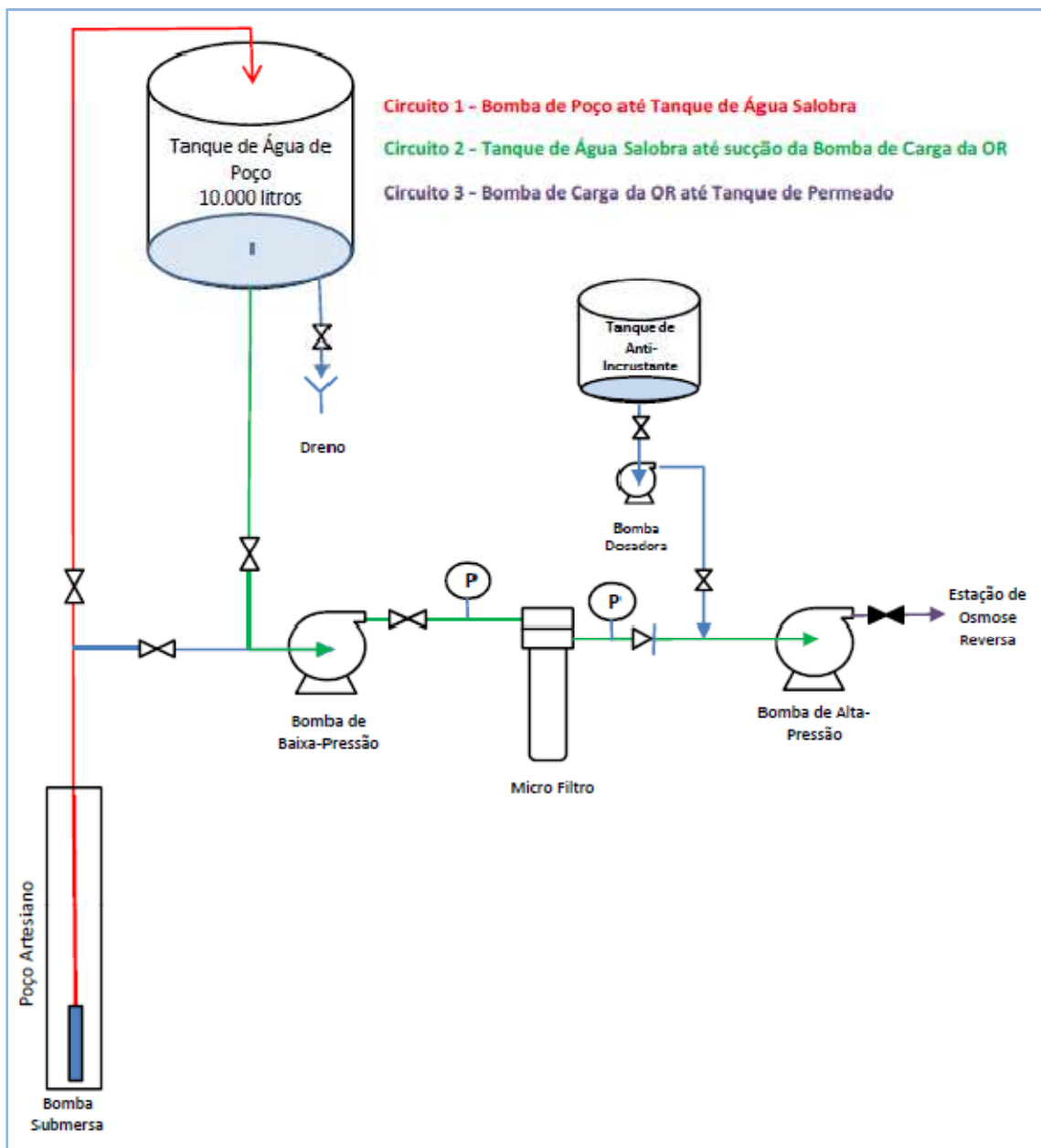


Figura 18 - Diagrama simplificado do Sistema de Bombas Tratamento de Água

Fonte: Autor

O sistema completo pode ser consultado na Figura 23, localizada no Apêndice.

4.2 Simulações da Estação de OR

A Tabela 7 apresenta o resumo dos poços escolhidos em cada Estado, Município e Localidade e é decorrente da Tabela 5 e Tabela 6 de análises químicas de água dos poços dos Estados do presente estudo.

| Poço | Estado | Município | Localidade |
|------|--------|-------------------------|--------------------|
| 1 | BA | CAMPO FORMOSO | LAGOA CAVADA |
| 2 | BA | CONCEIÇÃO DO COITÉ | SALGADALIA |
| 3 | CE | MORADA NOVA | SIRIEMA |
| 4 | CE | SÃO GONÇALO | CORDEIRO |
| 5 | PB | PICUI | NOVO HORIZONTE |
| 6 | PB | PEDRA LAVRADA | CACHOEIRA DO SACO |
| 7 | PE | TACARATU | FAZENDA SALGADINHO |
| 8 | PE | JABOATÃO DOS GUARARAPES | PRAZERES |
| 9 | RN | PENDENCIAS | AMARGOSO |
| 10 | RN | UPANEMA | ESPERANÇA |

Tabela 7 - Poços Artesianos do SIAGAS

O ajuste iônico necessário ao equilíbrio das espécies iônicas foi calculado com base no íon cloreto, conforme padrão de simulação do programa e foi aceito pelo autor.

A Tabela 8 abaixo, reúne as especificações da Unidade de OR.

| Especificações da Unidade de OR | |
|------------------------------------|------------|
| N. Passes | 1 |
| N. Estágios | 2 |
| N. Vasos por Estágio | 1 |
| N. Elementos por vaso | 2 |
| Especificação do Elemento Filmtec® | BW30-4040* |

Obs: * Mesmos elementos no 1 e 2 estágio

Tabela 8 - Especificações da Estação de Osmose Reversa

A Tabela 9, apresenta os parâmetros comuns utilizados para cada simulação.

| Bases de dados para Simulação da Estação de OR | | |
|--|-------------------|-------|
| Discriminação | Unidade | Valor |
| Vazão de carga (Água Salobra) | m ³ /h | 1,35 |
| Contra Pressão | bar | 0,5 |
| Temperatura média | °C | 30 |
| Rendimento | % | 49,5 |

Tabela 9 - Bases de dados para simulação da Estação de OR

De posse dos dados de cada simulação, foi construída a Tabela 19, que se encontra no Apêndice.

Os itens especificados, na Tabela 10, elencam os principais equipamentos e os instrumentos necessários para a operação do sistema. Trata-se de sugestões de marcas conhecidas comercialmente onde foram obtidos parâmetros que nortearam os cálculos hidráulicos para obtenção da potência necessária para alimentar o sistema.

| Discriminação | Quant. | Marca | Característica |
|--------------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| Bomba Submersa Poço | 1 | Dancor® 1.1 SSR 19 | 220 v |
| Bomba do Pré-Filtro | 1 | Dancor® AP 2R - 1/3 cv | 220 v |
| Bomba da OR | 1 | Dancor® 2.1-BHD-17 | 220 v |
| Bomba Dosadora | 1 | Injetronic® V-1,5 | 220 v |
| Micro-Filtro - Filtrante | 1 | 3M® | AP810 2PP μ 3M® |
| Tanque de Água Salobra | 1 | Fortlev® - Polietileno | 10.000 litros |
| Dessalinizada | 1 | Fortlev® - Polietileno | 5.000 litros |
| Carcaça Micro filtro < 5 μ | 1 | Big Blue® | Polipropileno |
| Manômetro tipo Boudon | 5 | Wika® | 0 - 25 bar |
| Rotâmetro para água | 3 | Parker® | 0 - 5 m ³ /h |
| Indicador de Temperatura | 3 | Wika® | Analógico (0-100°C) |

Tabela 10 - Lista de equipamentos Sistema de Tratamento de Águas

Considerados dados do fabricante, referentes a perda de carga e limites operacionais, vazão máxima, rendimento e limitações de pressão máxima dos equipamentos na construção da simulação do Sistema de Tratamento de Água.

Cálculos da energia necessária para alimentar as Estações de OR, levou em consideração o tipo de poço (profundidade máxima, temperatura) e a qualidade da água salobra, com relação ao teor de STD.

A potência das bombas do poço artesiano, bomba de carga do pré-filtro, bomba dosadora de produtos químicos, bomba de carga da estação de osmose reversa e usos secundários de energia para outros instrumentos estimados em 5%. A eficiência da unidade OR sofre influência das condições atmosféricas da localização, temperatura e teor de STD na água salobra.

Os cálculos foram realizados utilizando a metodologia de escoamento de fluidos em tubulações, levando em conta as perdas de carga em acidentes e parâmetros referentes ao ponto de operação, as curvas de rendimento das bombas envolvidas com base nas informações dos catálogos dos fabricantes (Matos & Falco, 1998).

Os cálculos hidráulicos levaram em consideração as seguintes equações (Matos & Falco, 1998):

Equação da conservação de energia de Bernoulli, Equação (6)

$$\frac{10^5 P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{10^5 P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad (6)$$

O regime de escoamento pelo número de Reynolds, Equação (7):

$$R_e = \frac{D * v * \rho}{\mu} \quad (7)$$

Perdas na tubulação e acidentes pela Equação (8) de Darcy-Weinsbach:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Potência absorvida pela bomba pela Equação (9)

$$P_{abs} = \frac{Q * H * \rho}{6116 * \eta} \quad (9)$$

Nomenclaturas

P_1 = Pressão no ponto 1 (Pascal)
 P_2 = Pressão no ponto 2 (Pascal)
 v_1 = Velocidade no ponto 1 (m/min)
 v_2 = Velocidade no ponto 2 (m/min)
 z_1 = Cota no ponto 1 (m)
 z_2 = Cota no ponto 2 (m)
 g = Constante gravitacional 9,81 (m/s²)
 h_f = Perda de carga em acidentes (m)
 R_e = Numero de Reynolds
 D = Diâmetro (m)
 v = Velocidade (m/s)
 ρ = Massa específica da água (kg/m³)
 μ = Viscosidade (Pascal.seg)
 f = Fator de fricção
 Q = Vazão (litros/min)
 H = Head (m)
 η = Eficiência

A estação de tratamento foi dividida em três circuitos contendo as três bombas principais. Para melhor visualização, foi elaborado o diagrama da Figura 18 e a Tabela 12 contendo o resumo dos cálculos.

| Dados | Circuito 1 (Bomba Poço) | Circuito 2 (Bomba Filtro) | Circuito 3 (Bomba Carga OR) | Observações |
|---|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| Vazão (m ³ /h) | 1,35 | 1,35 | 1,35 | No cálculo da bomba de carga da Unidade de OR o valor da pressão de alimentação foi a maior encontrada nas simulações através do simulador Rosa Dow®. Este valor foi obtido no poço n. 3 (Vide Tabela 17) |
| Temperatura de operação (°C) | 30 | 30 | 30 | |
| Perda por acidentes h_f (m) | 2,26 | 5,25 | 5,25 | |
| Diferença de cota (Z_1-Z_2) (m) | 75,0 | 0,0 | 5,0 | |
| Head Total | 77,3 | 25,6 | 135,7 | |
| Δ Pressão (bar) | 7,58 | 2,0 | 12,3 | |
| Densidade da água (ρ) (kg/m ³) | 995,6 | 995,6 | 995,6 | |
| Eficiência da Bomba (η) (%) | 59,0 | 32,0 | 36,0 | |
| Potência (kw) | 0,480 | 0,294 | 1,380 | |

Tabela 11 - Cálculos hidráulicos da Estação de Tratamento de Água

Na Tabela 12 estão relacionadas as cargas a serem alimentadas pelo sistema fotovoltaico:

| Tabela de Cargas | | |
|------------------|------------------------|---------------|
| Qt | Descrição | Potência (kW) |
| 1 | Bomba Submersa | 0,480 |
| 1 | Bomba de Baixa Pressão | 0,294 |
| 1 | Bomba Dosadora | 0,020 |
| 1 | Bomba de Alta Pressão | 1,380 |
| | Instrumentação/outros | 0,106 |
| | Total | 2,280 |

Tabela 12 - Cargas do Sistema

4.3 Sistema Fotovoltáico - FV

Inicialmente foram pesquisados dados de irradiação solar do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento. Os dados foram abandonados devido a dificuldade de tratamento estatístico e matemático dos mesmos, já que eram dados brutos e continham incorreções e inconsistências.

Os sistemas Fotovoltáicos Autônomos foram projetados para serem instalados nos locais dos poços artesianos. Para saber o potencial solar de cada localidade foi utilizado o banco de dados da Radiação Solar do CRESEB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. Este Centro disponibiliza uma ferramenta de consulta de dados SunData versão 3.0, a fim de elaborar os dados da Tabela 20 (Apêndice).

As informações de georeferenciamento: latitude (lat) e longitude, dos poços artesianos, informados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS vão alimentar o sistema SunData para gerar os dados de irradiação solar. O SIAGAS é um sistema que pertence à CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Vale ressaltar que cada poço possui um par de coordenadas geográficas que vão ser inseridas no aplicativo SunData v. 3.0, para obter os resultados de média diária de irradiação solar em cada local.

A melhor inclinação (β) para um painel fotovoltaico é dada pela equação:

$$\beta = lat + (lat/4) \quad (10)$$

A menor inclinação recomendada é de 10° para que a limpeza natural dos módulos pela água da chuva não seja prejudicada.

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico autônomo foi considerado a menor média mensal de todos os meses do ano, que ocorreu em todos os locais no mês de junho. Foi aplicado o fator de correção "k" para correção de compensação da diferença entre a energia captada por uma superfície orientada de um determinado ângulo e a energia captada por uma superfície semelhante, sem inclinação em relação ao plano horizontal.

4.3.1 Projeto da estação fotovoltaica

Apresenta-se abaixo as formulas que nortearam os cálculos da estação FV. O cálculo foi executado com base no mês crítico. (Souza R. d., 2017)

| Fórmulas | Nomenclaturas |
|---|--|
| $NB = BS * BP \quad (11)$ | NB = Numero de Baterias |
| $BS = \frac{Vi}{Vb} \quad (12)$ | BS = Baterias em série (tensão de projeto) |
| $BP = \frac{CR}{CN} \quad (13)$ | BP = Baterias em paralelo (capacidade acumulação necessária) |
| $CR = \frac{CU}{Pd} \quad (14)$ | Vi = Tensão de operação do sistema (V) |
| $CU = \frac{ER * N}{Vi} \quad (15)$ | Vb = Tensão nominal da bateria/elemento (V) |
| $ER = \frac{ED}{R} \quad (16)$ | CR = Capacidade real do Banco de Baterias (Ah) |
| $Nm = ms * mp \quad (17)$ | CN = Capacidade Nominal da Bateria / elemento (Ah) |
| $ms = \frac{Vi}{Vm} \quad (18)$ | CU = Capacidade Útil do Banco de Baterias (Ah) |
| $mp = \frac{\frac{Ep}{Vi}}{0,9 * Imp * HSP} \quad (19)$ | Pd = Profundidade da descarga (30% = 0,7) |
| $Ep = \frac{ER}{0,9} \quad (20)$ | ER = Energia real diária (já computadas as perdas) |
| $HSP = Hc * k \quad (21)$ | ED = Energia Diária a ser fornecida as cargas |
| | R = Rendimento global da instalação (89% = 0,89) |
| | Nm = Numero total de módulos fotovoltaicos |
| | ms = Módulos em série (tensão de projeto) |
| | mp = Módulos em paralelo (corrente projeto) |
| | Vi = Tensão nominal de operação (V) |
| | Vm = Tensão nominal do módulo (V) |
| | Ep = Energia a ser gerada diariamente pelo painel (Wh / dia). (Sistema com MPPT Ep = ER) |
| | Imp = Corrente de máxima potencia do módulo (A) |
| | HSP = Potencial energético local da instalação (kWh/m ² média mensal) |
| | Hc = Energia solar incidente no local da instalação (kWh/dia) |
| | k = Coeficiente de relação da energia incidente num plano inclinado orientado ao equador, e o plano horizontal |
| | N = Número de dias de autonomia do sistema |

A seqüência de cálculo ocorreu de acordo com o fluxo demonstrado na Figura 19.

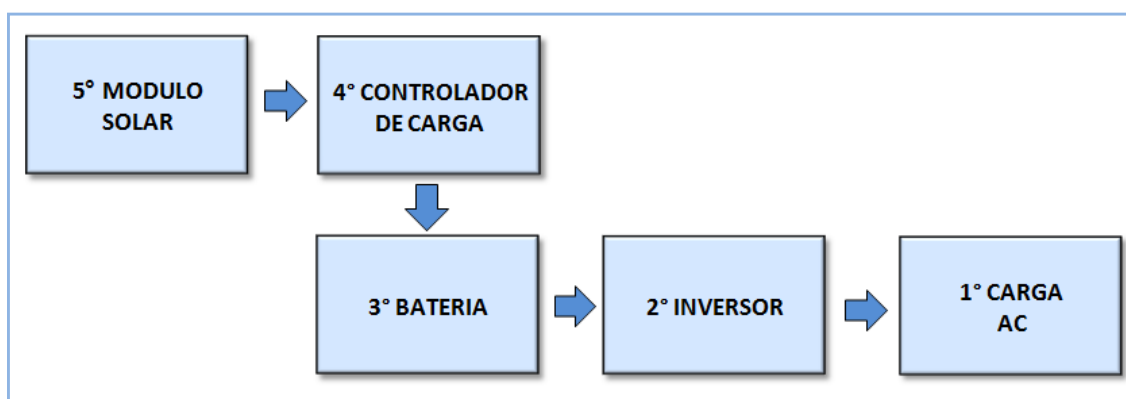


Figura 19 - Diagrama Simplificado da FV

4.3.2 Cargas e energia

Os cálculos são válidos para todas as localidades do objeto de estudo, já que foram obtidos considerando a menor irradiação solar mensal dentre os casos analisados. A partir das cargas do sistema e considerando um intervalo diário de operação de cinco horas chega-se ao montante de energia diária necessária, conforme Tabela 13.

| Tabela do Consumo Diário de Energia | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------|------------------|--------------------------|
| Qt | Descrição | Potência (kW) | Tempo de Uso (h) | Consumo Diário (kWh/dia) |
| 1 | Bomba Submersa | 0,480 | 5 | 2,400 |
| 1 | Bomba de Baixa | 0,294 | 5 | 1,470 |
| 1 | Bomba Dosadora | 0,020 | 5 | 0,100 |
| 1 | Bomba de Alta Pressão | 1,380 | 5 | 6,900 |
| | Instrumentação/outros | 0,106 | 5 | 0,530 |
| Sub-total | | | | 11,400 |

Tabela 13 - Consumo Diário de Energia

Todos os equipamentos devem operar em corrente alternada e normalmente funcionam simultaneamente, portando deverão estar conectados as baterias por intermédio de um inversor de corrente, com saída em 220 V.

4.3.3 Cálculo do Inversor de Freqüência

A escolha do inversor de freqüência levou em consideração a potencia total instantânea, e suas especificações estão apresentadas na Tabela 14. O modelo do inversor escolhido é uma referência comercial do mercado fornecedor. Nesse caso

foi o EPolar® SHI3000-42, por apresentar características compatíveis com o presente estudo.

| Inversor EPolar® SHI3000-42 | |
|------------------------------------|--------------------|
| Máxima Potência Contínua | 3000 W |
| Potência de Surto/Pico | 6900 W |
| Tensão de Saída | 220 V |
| Tensão de Entrada CC | 24 V |
| Eficiência máxima | 90% |
| Formato de Onda de Saída | Onda Senoidal Pura |

Tabela 14 - Dados do Inversor

A energia (ER), encontrada na fórmula (16) a ser gerada diariamente pelo sistema fotovoltaico (ED), leva em conta a eficiência do inversor (90%).

$$ER = \frac{11,400 \text{ kWh/dia}}{0,90}$$

$$ER = 12,667 \text{ Kwh/dia}$$

Este valor deverá chegar aos terminais do inversor e será convertida em corrente alternada.

4.3.4 Cálculo do Banco de Baterias

Para o cálculo do banco de baterias foram utilizadas as premissas a seguir:

- Autonomia do sistema 1 dia
- Profundidade de descarga 30%
- Tensão do banco de baterias 48 V (quatro baterias em série);

O banco de baterias deverá ser composto por baterias estacionárias de 12 V. A marca comercial escolhida foi Moura® de acordo com o modelo apresentado na Tabela 15.

| Bateria Estacionária Moura® 12MF220 | |
|--|--------|
| Voltagem (V _b) | 12 V |
| Capacidade Nominal C ₂₀ (CN) | 218 Ah |
| Autonomia | 1 Dia |
| Profundidade da descarga (P _d) | 30% |
| Nº ciclos Projeto | 520 |
| Nº ciclos esperados | 1.700 |

Tabela 15 - Dados da Bateria

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, as baterias trabalham com ciclos diários, ou seja, são descarregadas e recarregadas diariamente. Em função do modo de operação e da profundidade da descarga é possível projetar o número de ciclos durante a vida útil da bateria. Conforme Figura 20, para uma profundidade de descarga de 50% são esperados 300 ciclos de projeto. Como os locais em estudo encontram-se no semi-árido nordestino, a descarga esperada é menor que 20%, o que aumentaria a vida útil para 1.700 ciclos. De forma conservativa, para os cálculos optou-se por uma profundidade de descarga de 30% e autonomia de um dia.

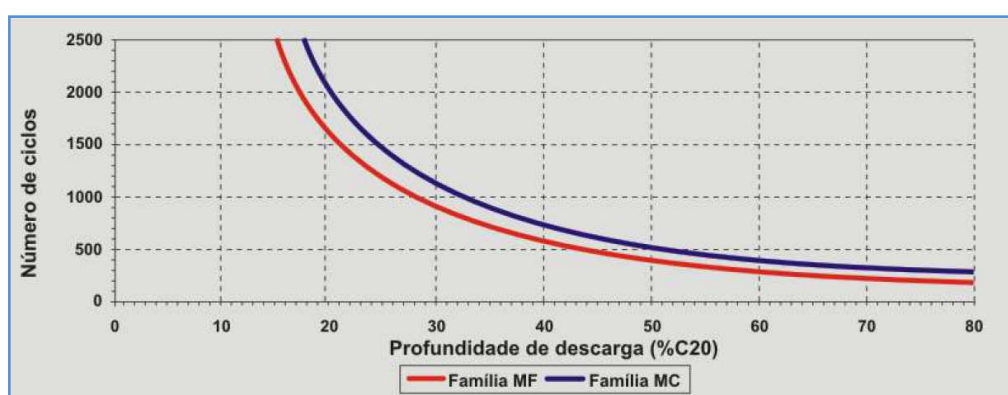


Figura 20 - Ciclos de Carga x Profundidade da Descarga

Fonte: (Oliveira, 2016)

Da fórmula (16) temos o Cálculo da Energia Real, já computadas as perdas de todo o sistema (cabos, conexões, etc) em (kWh/dia).

$$ER = \frac{12,667 \text{ kWh/dia}}{0,89}$$

$$ER = 14,232 \text{ kWh/dia}$$

Da fórmula (15), temos a Capacidade nominal da bateria em (Ah)

$$CU = \frac{14.232 \text{ Wh/dia} * 1 \text{ dia}}{48 \text{ V}}$$

$$CU = 290,4 \text{ Ah}$$

As baterias não podem se descarregar totalmente, pois ocasionaria o fim de sua vida útil. Podemos aproveitar apenas parte da energia armazenada. Considerando a profundidade da descarga de 30% temos a capacidade real das baterias (CR) equação (14) :

$$CR = \frac{290,4 \text{ Ah}}{0,7}$$

$$CR = 415 Ah$$

Portanto o banco de baterias deve ter capacidade de 415 Ah.

Primeiro calcula-se o número de baterias em paralelo Equação (13)

$$BP = \frac{415 Ah}{218 Ah} = 1,90$$

$$BP \approx 2$$

A calcula-se a quantidade de baterias em série, equação (12)

$$BS = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

Finalmente o banco de baterias será constituído de duas baterias em série e quatro conjuntos em paralelo totalizando oito unidades Equação (11).

$$NB = 4 * 2$$

$$NB = 8$$

4.3.5 Cálculo do controlador de cargas

Optou-se pelo sistema com **MPPT** (Seguidor do Ponto de Máxima Potência), pois este dispositivo permite aproveitar melhor a irradiância encontrando sempre o ponto de máxima potência, fornecendo uma tensão constante com corrente variável, extraindo a melhor potência aplicável ao sistema, mesmo em condição de baixa irradiância. Dimensionou-se dois circuitos de placas fotovoltaicas com dois controladores de carga. O modelo escolhido pode ser verificado na Tabela 16.

Optou-se por dividir o circuito dos painéis fotovoltaicos em arranjo com dois controladores de carga, para maior flexibilidade do sistema.

| Controlador de Carga EPolar® ET4415AD | |
|--|----------------|
| Voltagem Nominal | 12/24/36/48V |
| Máx. Volt.Circuito Aberto Voc | 138 V (25°C) |
| Potencia de alimentação | 2.400 W (48 V) |

Tabela 16 - Dados do Controlador de Carga

4.3.6 Cálculo do número de módulos fotovoltaicos

Para construir o arranjo fotovoltaico foram escolhidos módulos fotovoltaicos do fabricante LG® conforme Tabela 17.

| Módulo Solar Policristalino LG230P1C | |
|---|----------------|
| Células | 6 x 10 |
| Tipo de célula | Policristalino |
| Potência de Pico (Wp) | 230 |
| Tensão em máxima potência (Vmpp) | 29,1 |
| Corrente em máxima potência (Impp) | 7,91 |
| Tensão de circuito aberto (V _{oc}) | 36,4 |
| Corrente de curto circuito (I _{sc}) | 8,39 |
| Eficiência (%) | 14,3 |
| Área do módulo (1632 x 986)mm (m ²) | 1,609 |

Tabela 17 - Dados do Módulo Solar

Aplicando o método de cálculo para quantificar o número de módulos e configuração adequada ao sistema base dia, temos:

Número de módulos em série Equação (18):

$$m_s = \frac{58,2 V}{29,1 V} = 2$$

Número de módulos em paralelo, considerando o mês de menor irradiância (4,13 kWh/h.m², Tabela 20) ocorrida em junho, no Município de Conceição do Coité, Estado da Bahia pela Equação (19), temos:

$$m_p = \frac{14.232/58,2}{0,9 * 7,91 * 4,13}$$

$$m_p = 8,31$$

$$m_p \approx 8$$

Pela Equação (17) temos que:

$$N_m = 2 * 8$$

$$N_m = 16$$

Considerando que existe grande diferença de irradiância entre os locais (6,31 kWh/h. m², Tabela 20), onde estão instalados os poços e os meses do ano, calculou-se o número de painéis fotovoltaicos, considerando a melhor irradiância durante o período que foi obtida no mês de outubro, no Município de São Gonçalo do Amarante no Estado do Ceará, conforme equação abaixo:

$$m_p = \frac{14.232/58,2}{0,9 * 7,91 * 6,31}$$

$$m_p = 5,44$$

$$m_p \approx 6$$

Pela Equação (17) temos que:

$$N_m = 2 * 6$$

$$N_m = 12$$

Apresentamos a seguir duas possibilidades de arranjo, considerando a irradiação solar nos locais em que foram aplicados. A Figura 21 mostra o arranjo do mês crítico.

Diagrama do Sistema Fotovoltaico do mês crítico

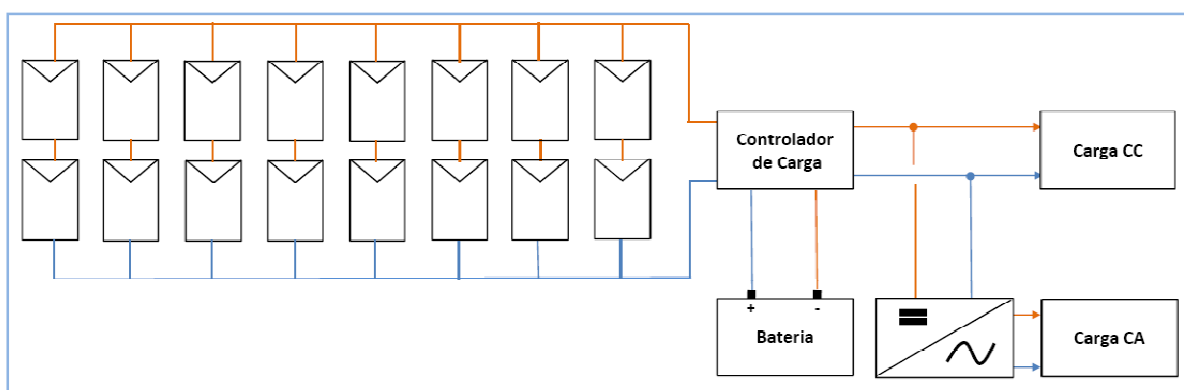


Figura 21 - Arranjo do mês crítico

Fonte: Autor

A Figura 22 mostra o arranjo do melhor mês.

Diagrama do Sistema Fotovoltaico considerando o melhor mês

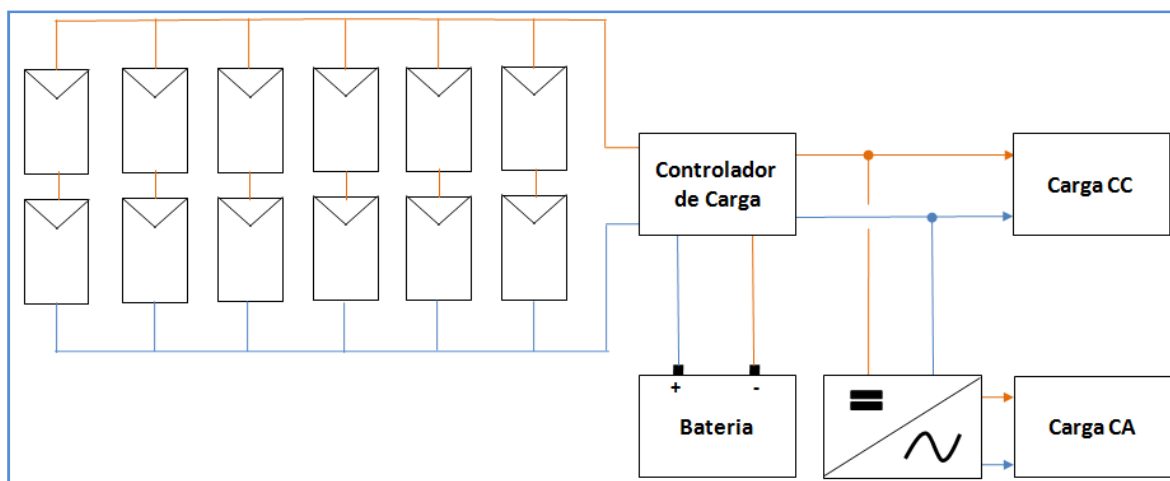


Figura 22 - Arranjo do melhor mês

Fonte: Autor

Os dados obtidos foram apresentados na Tabela 18.

A depender da localização onde será instalado o sistema, existe flexibilidade em escolher um sistema intermediário no intuito de reduzir os custos de instalação e de manutenção. A Tabela 18 mostra a lista de equipamentos do sistema fotovoltaico.

| Discriminação | Mês Crítico | Melhor Mês |
|------------------------|-------------|------------|
| | Quant. | Quant. |
| Modulo Fotovoltaico | 16 | 12 |
| Controlador de Carga | 2 | 2 |
| Bateria | 8 | 8 |
| Inversor de Freqüência | 1 | 1 |

Tabela 18 - Lista de equipamentos do Sistema Fotovoltaico

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica do sistema. A litologia predominante é formada de rochas cristalinas, onde se caracteriza presença de água em baixa profundidade e alto teor salino que para seu uso carece tecnologia de filtração molecular.

A conjugação das duas tecnologias permite explorar águas subterrâneas em locais remotos, no caso do semi-árido brasileiro, onde coincidentemente existe abundância dos recursos naturais, irradiação solar e presença de águas subterrâneas ainda inexploradas. Neste cenário fica ainda mais relevante o uso de águas subterrâneas, uma vez que estamos enfrentando uma redução gradativa de águas superficiais, devido às questões climáticas.

Foi ajustado um rendimento de 49,5 %, resultando numa qualidade de água muito superior aos padrões estabelecidos na Portaria 518 de 2004, do Ministério da Saúde. Esse rendimento pode ser melhorado, se a vazão do permeado for acrescida de parcela de água bruta do poço artesiano ainda respeitando o padrão da referida Portaria. Esses valores foram calculados e apresentados na Tabela 19.

A gestão da água produzida, a manutenção dos equipamentos e operação de todo o sistema de bombeamento, de filtração e distribuição da água está bem detalhada no Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente. Este documento pode ser utilizado para através do comitê comunitário, em comum acordo, se decidir como partilhar esse recurso.

5 CONCLUSÕES

O enfoque deste trabalho situa-se em aumentar a produção e disponibilidade de água para fazer face ao problema da escassez de água doce superficial. Entretanto, existem outras maneiras de enfrentamento da escassez de água atuando na gestão deste recurso. A forma de melhor aproveitamento indicada neste trabalho seria a partir do bombeamento e tratamento de águas subterrâneas salobras.

O resultado do estudo demonstrou a viabilidade técnica, que poderá ser implementada *in loco*, ou seja, existe a possibilidade de bombeio e tratamento de água salobra, transformando-a em água potável.

A ONU estabelece o padrão mínimo de 110 litros, por dia per capita, sendo que, no presente trabalho, verificou-se a possibilidade de atender a necessidade de água de aproximadamente 30 pessoas, ou seja, duas vezes superior ao estabelecido pelo Governo da Cidade do Cabo, no momento da crise do "Dia Zero".

Contudo, um sistema de pequeno porte ainda padece de alto custo específico, pela questão da escala. Entretanto, com a evolução das tecnologias observa-se uma queda rápida no preço dos equipamentos e um aumento da eficiência, impactando positivamente no custo global, tendendo para um cenário economicamente viável, em relação ao fornecimento convencional.

Com relação ao problema do rejeito da estação de OR, este pode ser aproveitado para a criação de espécies de peixes adaptados ao ambiente de água salina, servindo como possibilidade de subsistência, além do seu potencial econômico para gerar renda à comunidade.

Outra aplicação a partir do rejeito, é a produção de ração animal concentrada pelo cultivo da erva *Atriplex nummularia*, Erva Sal, espécie vegetal adaptada para ambientes de solo salino, objetivando fornecer forragem de ruminantes, em área delimitada para seu cultivo, mitigando a questão de sustentabilidade econômica e ambiental.

A destinação dos rejeitos poderá ser tema de outros trabalhos na área da engenharia, já que o engenheiro tem na sua função, aliada às suas competências, com o auxílio das tecnologias disponíveis, o compromisso com as causas sociais.

REFERÊNCIAS

1. Alghoul, M. A., Poovanaesvaran, P., Mohammed, M. H., Fadhil, A. M., Alkilani, M. M., & Sopian, K. (15 de 02 de 2016). ScienceDirect. *Design and experimental performance of brackish water reverse osmosis desalination unit powered by 2 kW photovoltaic system*, pp. 101-114.
2. Amorim, M. C., Porto, E. R., Matos, A. N., & da Silva, D. F. (2004). XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. *Diagnóstico de Sistemas de Dessalinização de Água Salobra Subterrânea em Municípios do Estado da Paraíba*.
3. ANA. (2000). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Agência Nacional de Águas: <http://caminhadaprofissional.blogspot.com/>
4. Blogazine. (2012). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Blogazine: <http://guerradagua.blogspot.com/2012/12/filtros-e-membranas-para-osmose-reversa.html>
5. *Brasil Escola*. (2002). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>
6. Carneiro, J. (Dezembro de 2002). *Repositorium Institucional da Universidade de Ninho Portugal*. Acesso em Abril de 2018, disponível em Repositorium: <http://hdl.handle.net/1822/16965>
7. Cerqueira, W. d., & Francisco. (2002). Acesso em 16 de 05 de 2018, disponível em Brasil Escola: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agua.htm>
8. Cirilo, J. A. (2008). Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. *Estudos Avançados*, 22 (63).
9. CRESESB - Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. (Abril de 1994). Acesso em Março de 2018, disponível em Potencial Solar - SunData v 3.0: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>
10. Dow Water & Process Solutions. (2017, 04). Filmtec TM Reverse Osmosis Membranes. *Technical Manual*. USA.
11. Feitosa, F. A., & Vidal, C. (10 de 2004). *Estudos Hidrogeológicos de Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro*. Acesso em 15 de 05

- de 2018, disponível em CPRM - Serviço Geológico do Brasil: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=ESTUDOS+HIDROGEOLOGICOS+DE+BACIAS+SEDIMENTARES+DA+REGIÃO+SEMI-ÁRIDA+DO+NORDESTE+BRASILEIRO&btnG=
12. Ferreira, R. S. (2012). *Programa Água Doce*. Acesso em 12 de agosto de 2017, disponível em Ministério do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>
 13. Gobbi, L. D. (2018). *Colégio Qi*. Acesso em 2018 de Maio de 16, disponível em Globo.com: <http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/agua-uso-e-problemas.html>
 14. Habert, A. C., Borges, C. P., & Nobrega, R. (2006). *Processos de Separação por Membranas*. Rio de Janeiro RJ: E-papers Serviços Editoriais Ltda.
 15. INMET Instituto Nacional de Meteorologia. (18 de Novembro de 1909). Acesso em Fevereiro de 2018, disponível em Estações Automáticas: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>
 16. Matos, E. E., & Falco, R. d. (1998). *Bombas Industriais*. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda.
 17. MMA. (15 de Março de 1985). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Ministério do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>
 18. MME . (20 de julho de 2016). *MME - Ministério das Minas e Energia*. Acesso em 01 de agosto de 2018, disponível em Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial>
 19. NREL. (s.d.). Fonte: <https://www.nrel.gov/solar/>
 20. Oliveira, G. (06 de Dezembro de 2016). *Bateria Estacionaria Clean Nano*. Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Moura: <http://www.moura.com.br/produtos/estacionarias/moura-clean/>
 21. Onishi, N., & Sengupta, S. (03 de 2018). *The New York Times*. Acesso em 22 de 05 de 2018, disponível em Folha de São Paulo:

- <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/02/com-seca-severa-cidade-do-cabo-ja-se-prepara-para-dia-zero-de-agua.shtml>
22. *ONUBR*. (24 de Outubro de 1945). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em ONUBR - Nações Unidas do Brasil: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>
23. Pereira, E. B., Matins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J., Rütther, R., et al. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar 2. Edição*. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
24. *Petrochem*. (1977). Acesso em 16 de Maio de 2018, disponível em Petrochem - Produtos Químicos de Portugal: <http://www.petrochem.pt/source/fotografias/tratamento-aguas/remocao-e-metodos-filtracao-oi2.png>
25. Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL - DTE - CRESESB.
26. Ramos, I. B., Cambraia, M. C., Júnior, R. M., & Castro, S. M. (2014). *Delimitação do Semi-árido - Portaria n. 196, de 27 de maio de 2014*. Brasília: Ministerio da Integração Nacional.
27. Sagaz, J., & Reis, L. (03 de 2018). *8. Fórum Mundial da Água*. Acesso em 21 de 05 de 2018, disponível em <http://www.worldwaterforum8.org/pt-br/node/943/>
28. *Scielo Proceedings*. (2003). Acesso em 03 de abril de 2018, disponível em Encontro de Energia no Meio Rural: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000100025&script=sci_arttext
29. *Siagas*. (20 de Junho de 1995). Acesso em 23 de Fevereiro de 2018, disponível em CPRM - Serviço Geológico do Brasil - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>
30. Silveira, A. P., Degasperi, F. T., Nuvolari, A., & Firsoff, W. (2015). *Dessalinização*. São Paulo - SP, Brasil: Oficina de Textos.
31. Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., Swaij, R. V., & Zeman, M. (2015). *Solar Energy - The Physics and Engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems*. UIT Cambridge England.

32. Souza, R. d. (2017). *Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. Acesso em 09 de 05 de 2018, disponível em Bluesol: www.blue-sol.com
33. Souza, R. O., Silva, F. J., & Araújo, A. L. (2007). Águas subterrâneas no Ceará - poços instalados e salinidade. *Revista Tecnologia*, 28, 136-159.
34. Terra - Deutsche Welle. (31 de 03 de 2018). Acesso em 22 de 05 de 2018, disponível em Isto é: <https://www.terra.com.br/noticias/cidade-do-cabo-se-adapta-a-um-futuro-de-agua-escassa,8871bad24b4dc55c39f965b553f2e76418nuv7mm.html>
35. Villalva, M. G., & Gazoli, J. R. (2012). *Energia Solar Fotovoltaica*. São Paulo, Brasil: Érica.

| Poço | Estado | Município | Localidade | Nível Estático (m) | Profund. util (m) | Vazão de água salobra (m3/h) | Pressão de Alimentação (bar_m) | STD Carga (mg/l) | Vazão de Permeado (m3/h) | STD Permeado (mg/l) | Vazão de Concentrado (m3/h) |
|------|--------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | BA | CAMPO FORMOSO | LAGOA CAVADA | 17,6 | 90 | 1,35 | 10,44 | 2.558 | 0,67 | 32,58 | 0,68 |
| 2 | BA | CONCEIÇÃO DO COITÉ | SALGADALIA | 8,4 | 78 | 1,35 | 11,26 | 4.096 | 0,67 | 64,64 | 0,68 |
| 3 | CE | MORADA NOVA | SIRIEMA | 3,0 | 60 | 1,35 | 12,28 | 4.789 | 0,67 | 84,32 | 0,68 |
| 4 | CE | SÃO GONÇALO | CORDEIRO | 16,0 | 55 | 1,35 | 8,42 | 1.697 | 0,67 | 29,74 | 0,68 |
| 5 | PB | PICUI | NOVO HORIZONTE | 13,0 | 35 | 1,35 | 9,06 | 1.975 | 0,67 | 35,84 | 0,68 |
| 6 | PB | PEDRA LAVRADA | CACHOEIRA DO SACO | 2,9 | 60 | 1,35 | 12,16 | 3.571 | 0,67 | 51,95 | 0,68 |
| 7 | PE | TACARATU | FAZENDA SALGADINHO | 12,6 | 60 | 1,35 | 10,05 | 3.075 | 0,67 | 53,74 | 0,68 |
| 8 | PE | JABOATÃO DOS GUARARAPES | PRAZERES | 15,8 | 75 | 1,35 | 7,77 | 1.158 | 0,67 | 18,42 | 0,68 |
| 9 | RN | PENDENCIAS | AMARGOSO | 24,0 | 42 | 1,35 | 9,59 | 2.635 | 0,67 | 44,12 | 0,68 |
| 10 * | RN | UPANEMA | ESPERANÇA | 12,9 | 42 | 1,35 | 8,20 | 1.818 | 0,67 | 413,75 | 0,68 |

| Poço | Estado | Município | Localidade | STD Concentrado (mg/l) | Rend. da Osmose (%) | Rend. Padrão Portaria n. 518/2004 (%) | Energia Específica (kwh/m3) | Temp. (°C) | Potencia (kw) | Litologia | Vazao compl. de agua poço (m3/h) | STD agua poço (mg/l) |
|------|--------|-------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------|---------------|------------|----------------------------------|----------------------|
| 1 | BA | CAMPO FORMOSO | LAGOA CAVADA | 4.345 | 49,50 | 90,36 | 1,19 | 30 | 0,80 | Cristalina | 0,55 | 2178,7 |
| 2 | BA | CONCEIÇÃO DO COITÉ | SALGADALIA | 7.095 | 49,50 | 68,93 | 1,28 | 30 | 0,86 | Cristalina | 0,26 | 3405,2 |
| 3 | CE | MORADA NOVA | SIRIEMA | 7.585 | 49,50 | 61,88 | 0,87 | 30 | 0,58 | Cristalina | 0,17 | 4710,9 |
| 4 | CE | SÃO GONÇALO | CORDEIRO | 3.148 | 49,50 | 121,58 | 0,96 | 30 | 0,64 | Sedimentar | 0,97 | 1669,3 |
| 5 | PB | PICUI | NOVO HORIZONTE | 3.524 | 49,50 | 102,31 | 1,03 | 30 | 0,69 | Sedimentar | 0,71 | 1908,4 |
| 6 | PB | PEDRA LAVRADA | CACHOEIRA DO SACO | 6.370 | 49,50 | 69,19 | 1,39 | 30 | 0,93 | Sedimentar | 0,26 | 3405,2 |
| 7 | PE | TACARATU | FAZENDA SALGADINHO | 5.672 | 49,50 | 72,97 | 1,15 | 30 | 0,77 | | 0,32 | 3012,1 |
| 8 | PE | JABOATÃO DOS GUARARAPES | PRAZERES | 2.124 | 49,50 | 358,35 | 0,88 | 30 | 0,59 | Sedimentar | 4,17 | 1157,8 |
| 9 | RN | PENDENCIAS | AMARGOSO | 4.827 | 49,50 | 79,01 | 1,09 | 30 | 0,73 | Sedimentar | 0,40 | 2614,8 |
| 10 * | RN | UPANEMA | ESPERANÇA | 2.773 | 49,50 | 86,48 | 0,94 | 30 | 0,63 | Sedimentar | 0,50 | 1789,5 |

Tabela 19 - Resultados da Simulação do Sistema de OR

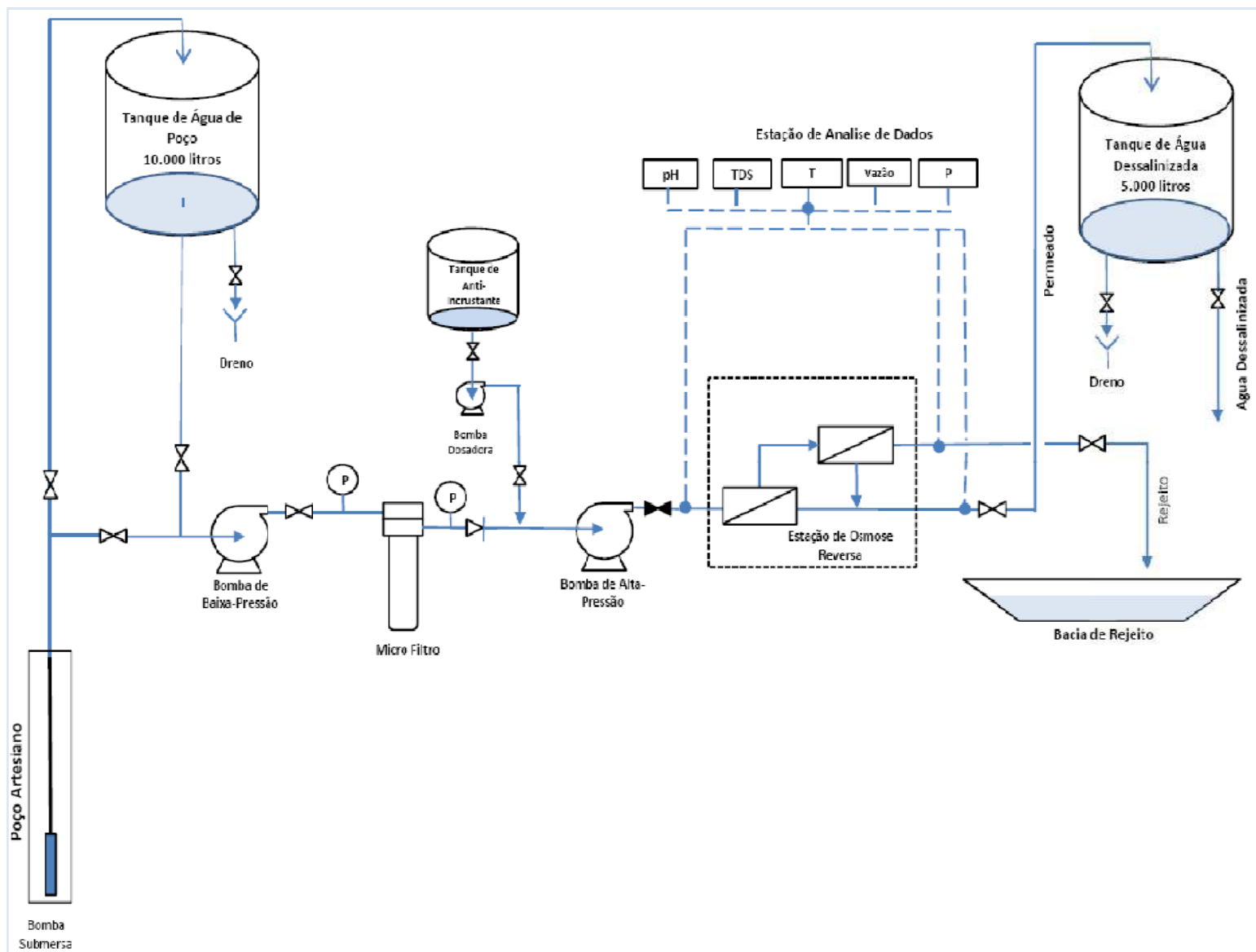


Figura 23 - Diagrama do Sistema de Tratamento de Água com OR

| item | Local | Minicípio do Poço | UF | Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------|-------------------------|----|---|---------------|----------------------|---------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---------|-------|
| | | | | Latitude [°] | Longitude [°] | Inclinação Otima [°] | Fator K | Dist. [km] | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta | Fator K | I x K |
| 1 | Lagoa Cavada | Campo Formoso | BA | 10,201 | 40,449° O | 12,75 | 1,09 | 5,20 | 6,18 | 5,99 | 5,86 | 4,97 | 4,52 | 4,29 | 4,50 | 5,27 | 6,22 | 6,26 | 6,38 | 6,21 | 5,55 | 2,08 | 0,92 | 4,68 |
| 2 | Salgadalia | Conceição do Coité | BA | 11,400 | 39,149° O | 14,25 | 1,09 | 4,60 | 6,16 | 5,91 | 5,76 | 4,81 | 4,00 | 3,79 | 3,94 | 4,42 | 5,33 | 5,59 | 5,92 | 5,99 | 5,13 | 2,37 | 0,92 | 4,13 |
| 3 | Siriema | Morada Nova | CE | 3,601 | 38,949° O | 10,00 | 1,05 | 3,60 | 5,74 | 5,70 | 5,48 | 4,74 | 5,23 | 5,25 | 5,56 | 6,18 | 6,35 | 6,40 | 6,51 | 6,05 | 5,77 | 1,77 | 0,93 | 5,51 |
| 4 | Cordeiro | Sao Goncalo do Amarante | CE | 5,001 | 38,249° O | 10,00 | 1,05 | 3,30 | 5,67 | 5,78 | 5,88 | 5,37 | 5,28 | 5,06 | 5,41 | 6,02 | 6,38 | 6,51 | 6,33 | 5,83 | 5,79 | 1,44 | 0,97 | 5,31 |
| 5 | Novo Horizonte | Picui | PB | 6,701 | 36,449° O | 10,00 | 1,06 | 6,30 | 5,99 | 5,91 | 5,90 | 5,53 | 4,94 | 4,49 | 4,78 | 5,51 | 6,07 | 6,43 | 6,50 | 6,13 | 5,68 | 2,00 | 0,95 | 4,76 |
| 6 | Cachoeira do Saco | Pedra Lavrada | PB | 6,401 | 36,249° O | 10,00 | 1,06 | 5,30 | 5,93 | 5,94 | 5,92 | 5,52 | 4,96 | 4,55 | 4,75 | 5,51 | 6,02 | 6,30 | 6,38 | 6,00 | 5,65 | 1,83 | 0,94 | 4,82 |
| 7 | Fazenda Salgadinho | Tacaratu | PE | 9,101 | 38,149° O | 11,38 | 1,06 | 5,60 | 6,38 | 6,12 | 6,06 | 5,40 | 4,62 | 4,14 | 4,32 | 5,09 | 6,07 | 6,29 | 6,70 | 6,47 | 5,64 | 2,57 | 0,95 | 4,39 |
| 8 | Prazeres | Jaboatao dos Guararapes | PE | 8,201 | 34,949° O | 10,25 | 1,06 | 5,40 | 5,92 | 6,01 | 5,98 | 5,23 | 4,55 | 4,25 | 4,33 | 5,06 | 5,61 | 5,96 | 6,20 | 6,25 | 5,45 | 2,00 | 0,94 | 4,51 |
| 9 | Amargoso | Pendencias | RN | 5,201 | 36,549° O | 10,00 | 1,05 | 5,80 | 5,91 | 5,87 | 5,78 | 5,41 | 5,15 | 4,76 | 5,04 | 5,67 | 6,09 | 6,24 | 6,39 | 6,06 | 5,70 | 1,63 | 0,94 | 5,00 |
| 10 | Esperança | Upanema | RN | 5,701 | 37,249° O | 10,00 | 1,06 | 6,00 | 6,08 | 6,17 | 6,11 | 5,81 | 5,36 | 4,99 | 5,26 | 5,91 | 6,36 | 6,50 | 6,50 | 6,13 | 5,93 | 1,51 | 0,94 | 5,29 |

Dados obtidos no <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>

* Recomenda-se inclinação mínima de 10° para evitar acúmulo de sujeira

* Fator K do mês de menor incidência solar anual (mês de junho)

* Fator K do mês de maior incidência solar anual (mês de outubro, novembro ou dezembro) (inclinação aproximada)

Tabela 20- Tabela de dados de Irradiação nos locais dos poços artesianos