



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC**



**João Vitor Sather Bosco  
Jose Leandro Rosa da Silva**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA DESSALINIZAÇÃO  
NO BRASIL**

**Pindamonhangaba – SP**

**2019**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC**



**João Vitor Sather Bosco  
Jose Leandro Rosa da Silva**

# **ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Bacharel pelo Curso Engenharia de Produção do Centro Universitário FUNVIC.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Augusto Kelly.

**Pindamonhangaba – SP**

**2019**

Bosco, João Vitor Sather ; Silva, José Leandro Rosa da

Estudo da viabilidade do uso da dessalinização no Brasil / João Vitor Sather Bosco; José Leandro Rosa da Silva; / Pindamonhangaba - SP : Centro Universitário FUNVIC, 2019. 34f. : il.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) UniFUNVIC - SP.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Augusto Kelly.

1 Osmose Reversa. 2 Energias Renováveis. 3 Sustentabilidade. 4 Recursos Hídricos. 5 Custos

I Estudo da viabilidade do uso da dessalinização no Brasil. II João Vitor Sather Bosco; José Leandro Rosa da Silva.



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC**



**JOÃO VITOR SATHER BOSCO  
JOSÉ LEANDRO ROSA DA SILVA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DA DESSALINIZAÇÃO NO BRASIL**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Bacharel pelo Curso Engenharia de Produção do Centro Universitário FUNVIC.

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. \_\_\_\_\_

Centro Universitário FUNVIC

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Centro Universitário FUNVIC

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

Centro universitário FUNVIC

Assinatura \_\_\_\_\_

## RESUMO

A dessalinização da água do mar é uma alternativa real para a falta de água potável no mundo. O constante crescimento da população humana esbarra na necessidade de buscar fontes alternativas para obtenção de água potável, principalmente em regiões onde a água doce disponível não é o suficiente para suprir as necessidades da população que ali vivem. A dessalinização já se provou ser uma alternativa para essas regiões do mundo que sofrem com a falta de água potável. Apesar de o Brasil ser detentor de grandes reservas de água doce, este recurso não está dividido de maneira equilibrada pelas regiões do país em relação a sua população, ocasionando excesso em algumas e escassez em outras. Com este pensamento o trabalho tem por finalidade apresentar a dessalinização como um processo viável no Brasil, iniciando com um resumo dos principais métodos utilizados na obtenção de água doce através da dessalinização, descrevendo seu funcionamento, suas vantagens e desvantagens, para então tomar como principal abordagem o processo por osmose reversa, responsável por grande parte das usinas de dessalinização no mundo. A análise de seu custo médio global de produção serve como avaliação de sua viabilidade no Brasil, perante a utilização de uma vantagem que o país tem, sendo o aproveitamento de outros recursos disponíveis afim de melhorar o custo-benefício deste processo.

Palavras-chave: Osmose Reversa. Energias Renováveis. Sustentabilidade. Recursos Hídricos. Custos.

## **ABSTRACT**

Seawater desalination is a real alternative to the lack of drinking water in the world. The constant growth of the human population stumbles on the need to look for alternative sources of drinking water, especially in regions where the available fresh water is not enough to meet the needs of the population living there. Desalination has already proven to be an alternative for those regions of the world suffering from lack of drinking water. Although Brazil has large freshwater reserves, this resource is not evenly divided by the regions of the country in relation to its population, causing excess in some and scarcity in others. With this thought the purpose of this study is to present desalination as a viable process in Brazil, starting with a summary of the main methods used to obtain freshwater through desalination, describing its operation, its advantages and disadvantages, and then taking as its main approach. the reverse osmosis process, which is responsible for most desalination plants in the world. The analysis of its global average cost of production serves as an evaluation of its viability in Brazil, considering the use of an advantage that the country has, and the use of other available resources in order to improve the cost-benefit of this process.

**Keywords:** Reverse Osmosis. Renewable Energy. Sustainability. Water resources. Costs.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Nível de salinidade do oceano fornecidos pelo satélite Aquarius .....	11
Figura 2: Curva de solubilidade x temperatura de alguns sais .....	12
Figura 3: Modelo de funcionamento da destilação solar .....	13
Figura 4: Processo de destilação flash de múltiplos estágios .....	14
Figura 5: Processo de destilação a múltiplos efeitos .....	14
Figura 6: Processo de destilação por compressão a vapor .....	16
Figura 7: Processo de destilação por eletrodialise .....	16
Figura 8: Processo de osmose.....	17
Figura 9: Processo de osmose reversa.....	18
Figura 10: Processo de destilação por osmose reversa .....	19
Figura 11: Custos de uma planta de dessalinização.....	20
Figura 12: Funcionamento da célula fotovoltaica .....	21
Figura 13: Funcionamento do processo de heliotermia .....	22
Figura 14: Média anual do total diário da irradiação global horizontal.....	23
Figura 15: Funcionamento da usina eólica.....	24
Figura 16: Velocidade média anual do vento a 100 m de altura .....	24
Figura 17: Perfil esquemático de usina hidrelétrica.....	25
Figura 18: Processo de geração de energia por queima de biomassa .....	26
Figura 19: Matriz de energia elétrica do Brasil .....	28
Figura 20: Capacidade global de energia renovável de 2007 a 2017 .....	28

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	9
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	10
<b>3.1</b>	<b>Características da água do mar</b> .....	10
<b>3.2</b>	<b>Métodos de dessalinização</b> .....	10
3.2.1	DESTILAÇÃO SOLAR .....	12
3.2.2	DESTILAÇÃO FLASH DE MULTI-ESTÁGIOS (MSF) .....	13
3.2.3	DESTILAÇÃO A MÚLTIPLOS EFEITOS (MED) .....	13
3.2.4	DESTILAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR (DCV) .....	15
3.2.5	CONGELAMENTO .....	15
3.2.6	ELETRODIÁLISE .....	15
3.2.7	OSMOSE REVERSA.....	17
<b>3.3</b>	<b>Energias renováveis</b> .....	20
3.3.1	ENERGIA SOLAR .....	20
3.3.2	ENERGIA EÓLICA.....	22
3.3.3	ENERGIA HÍDRICA OU HIDRELÉTRICA.....	25
3.3.4	ENERGIA DA BIOMASSA.....	26
3.3.5	CUSTOS .....	27
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	29
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a vida na terra. Aproximadamente 70% da superfície terrestre é coberta de água, sendo 97,5% água salgada, 1,72% água doce nas calotas polares, 0,75% água doce subterrânea, 0,023% água doce como umidade do solo e dos pântanos e apenas 0,007% em água doce de rios e lagos (MANUAL DE EDUCAÇÃO, 2005). Com a população mundial em constante crescimento desde a última década do século XX, aproximadamente 7,7 bilhões de habitantes (UNFPA, 2019), o mundo encontra-se à beira de uma crise hídrica. Mesmo existindo uma pequena porcentagem de água doce em rios e lagos disponível no mundo, apenas 54% é utilizada, visto que a distribuição não é uniforme, e segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial. Apesar de ser o Brasil o maior detentor mundial de água potável, com 8% das reservas mundiais, respondendo por 18% do potencial de água de superfície do planeta, ao se considerar, em lugar da disponibilidade absoluta de recursos hídricos renováveis, aquela relativa à população dele dependente, o país deixa de ser o primeiro e passa ao vigésimo terceiro do mundo, visto que, enquanto a Região Amazônica concentra 80% dos recursos hídricos brasileiros, abrigando 7% da população, na Região Nordeste, que abriga 27% da população, apenas estão disponíveis 3,3% desses recursos (PAZ et al., 2000).

Tendo em vista esses dados e o constante crescimento da população, países e empresas iniciaram buscas por alternativas à escassez de água, como a conservação e uso sustentável e consciente da água, de maneira a evitar desperdícios, assim como processos de tratamento, como é o caso da dessalinização da água do mar, que já se encontra aplicado em diversos países e até mesmo no Brasil.

A dessalinização é um processo físico-químico de retirada de sais da água, tornando-a doce e própria para o consumo. Utilizado onde a água potável é escassa. Para a aplicação desse processo na água do mar é atualmente utilizado uma das três principais técnicas, destilação, congelamento e osmose reversa. Apesar de possível, o processo se demonstra ser de difícil aplicação principalmente por fatores financeiros, sendo aplicado em locais sem outras alternativas para obtenção da água potável.

Nesse contexto, este trabalho visa apresentar por meio de dados exploratórios a possibilidade da implementação do processo de dessalinização para obtenção de água potável nas diversas regiões do Brasil, principalmente nas regiões semiáridas. Neste trabalho também serão explorados os diferentes processos de dessalinização e o emprego de energias renováveis que estão sendo utilizadas para o desenvolvimento destes processos.

## 2 METODOLOGIA

O trabalho baseou-se numa revisão da literatura nacional e internacional envolvendo o processo de dessalinização através dos métodos atuais e dos estudos de novas tecnologias, mostrando a viabilidade econômica e financeira, geração de novos empregos e soluções de problemas ambientais, para emprego deste processo no Brasil.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o Google acadêmico. As palavras-chave utilizadas para seleção dos artigos envolvidos nesta pesquisa foram: (1) Dessalinização, (2) Energias Renováveis, (3) Recursos Hídricos, (4) Sustentabilidade.

Durante a pesquisa bibliográfica foi possível avaliar uma grande quantidade de artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado a respeito do assunto, mostrando a importância deste tema no contexto atual, visando a busca de água potável sem comprometer o meio ambiente e as gerações futuras, contribuindo para um mundo sustentável.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Características da água do mar

A água do mar contém quase todos os elementos, do hidrogênio ao urânio, e apenas sete elementos correspondem por mais de 99% dos sais dissolvidos (HATJE, 2012), vistos na tabela

Tabela 1 – 99% dos sais dissolvidos na água do mar

Íon	%Relativa	mg/L
Cl <sup>-</sup> (cloreto)	55,07%	19.355
Na <sup>+</sup> (sódio)	30,61%	10.760
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (sulfato)	7,72%	2.712
Mg <sup>2+</sup> (magnésio)	3,68%	1.294
Ca <sup>2+</sup> (cálcio)	1,18%	413
K <sup>+</sup> (potássio)	1,10%	387
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (bicarbonato)	0,40%	142

Fonte: HATJE (2012)

A sonda Aquarius da NASA realizou registros, conforme o da figura 1, que apresenta a salinidade dos oceanos, esta que está compreendida entre 30 e 40ppm (NASA, 2014).

É importante observar que a profundidade não altera de forma significativa a salinidade da água, uma vez que o NaCl (sal em maior quantidade na água) possui uma solubilidade quase constante em diferentes temperaturas, conforme figura 2 (SIGNORELLI, 2015).

#### 3.2 Métodos de dessalinização

Os processos de dessalinização podem ser categorizados em três tipos principais: Processos térmicos (destilação multiestágio, destilação multiefeitos, destilação por compressão a vapor, destilação solar, entre outros), processo por congelamento e processos por separação por membranas (osmose inversa, eletrodialise, entre outros).

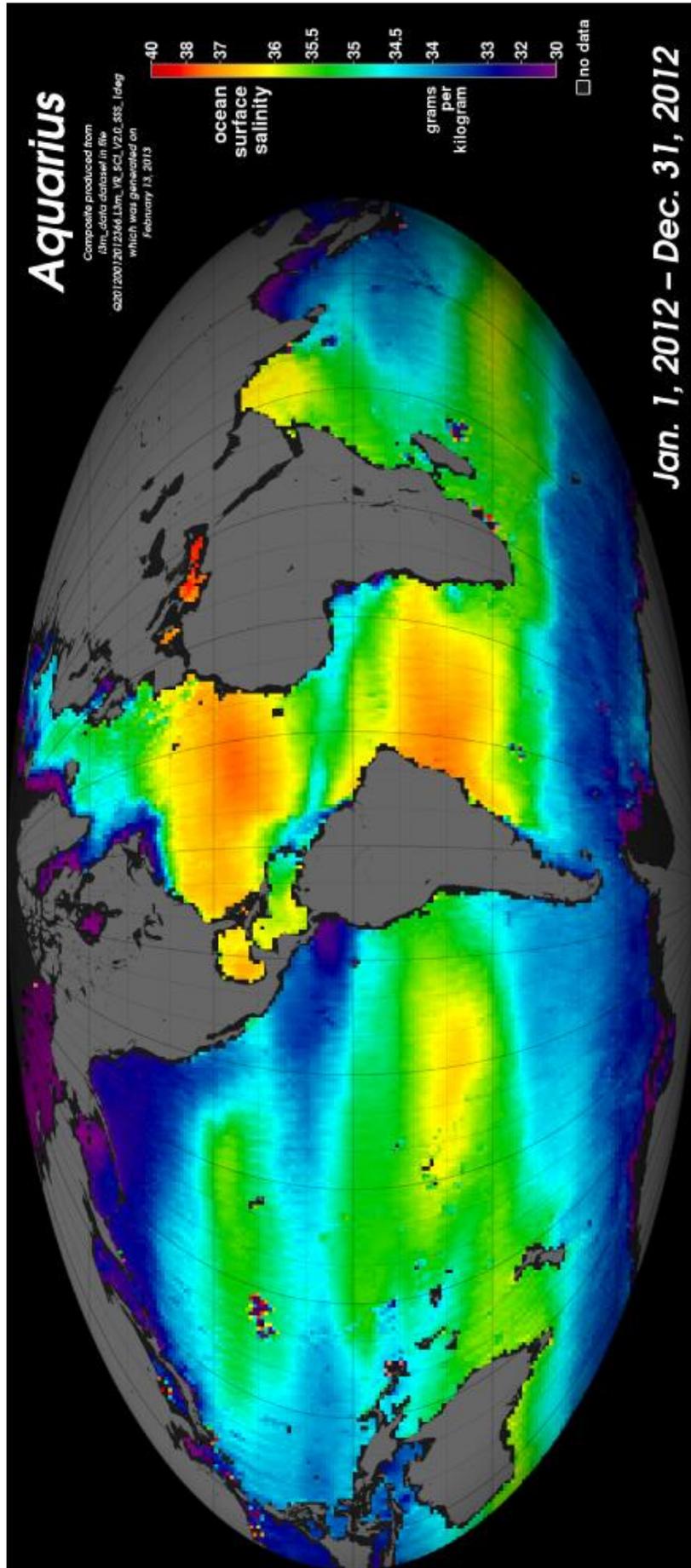


Figura 1 - Nível de salinidade do oceano fornecidos pelo satélite Aquarius  
 Fonte: NASA (2014)

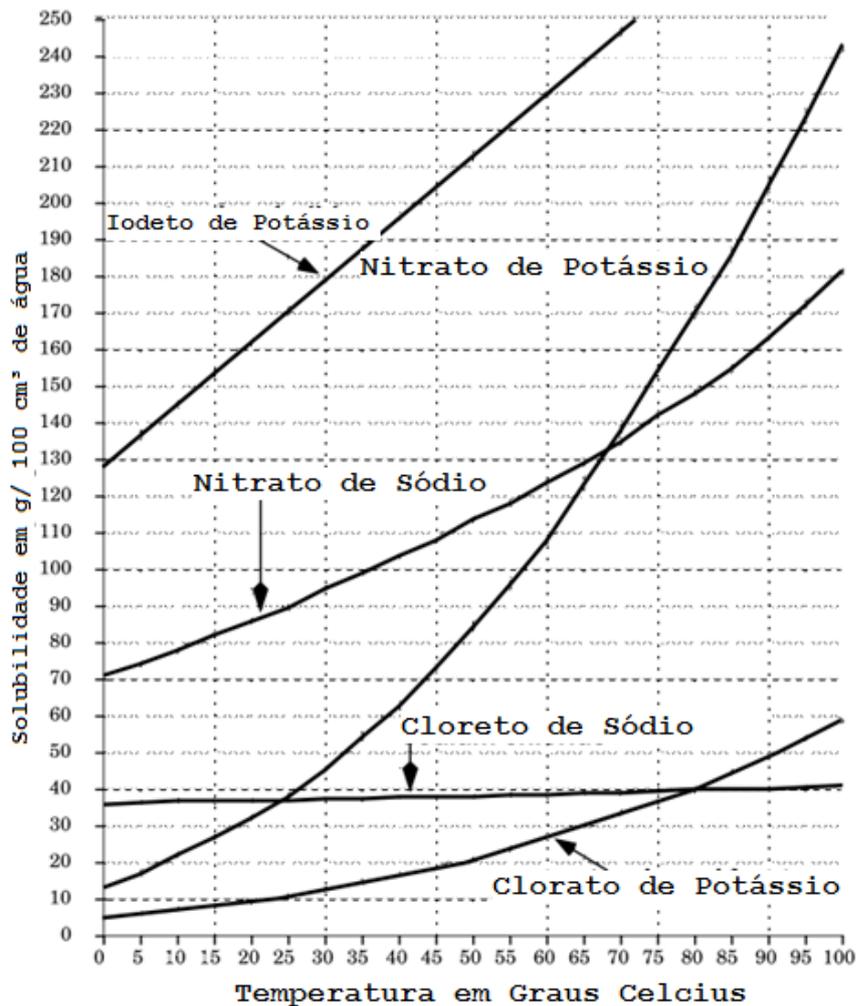


Figura 2 - Curva de solubilidade x temperatura de alguns sais.

Fonte: SIGNORELLI (2015)

### 3.2.1 DESTILAÇÃO SOLAR

Esse é um método que consiste em destilar a água a partir da radiação solar em pressão ambiente. É simples e de fácil montagem, sendo um processo de baixo custo, porém, para pequenas escalas. Para que seja realizado, é necessário um grande tanque de vidro, para que os raios solares possam penetrar, e dentro deste tanque, armazenar com água salgada. O processo é similar ao ciclo natural da água, pois o sol aquece a água do mar, evaporando parte da mesma, e ela acaba se condensando na superfície interior do teto do tanque, onde ela acaba escorrendo para as laterais, onde ela é captada (JESUS et al., 2015), conforme figura 3.

Embora seja um processo simples e barato, possui desvantagens que como a dependência de fatores climáticos e a necessidade de grandes áreas para o tanque, em casos de produções em larga escala.

Essa destilação deixa a água própria para consumo humano, removendo os sais, orgânicos ou inorgânicos e eliminando grande parte dos microrganismos presentes no meio, devido a radiação solar.

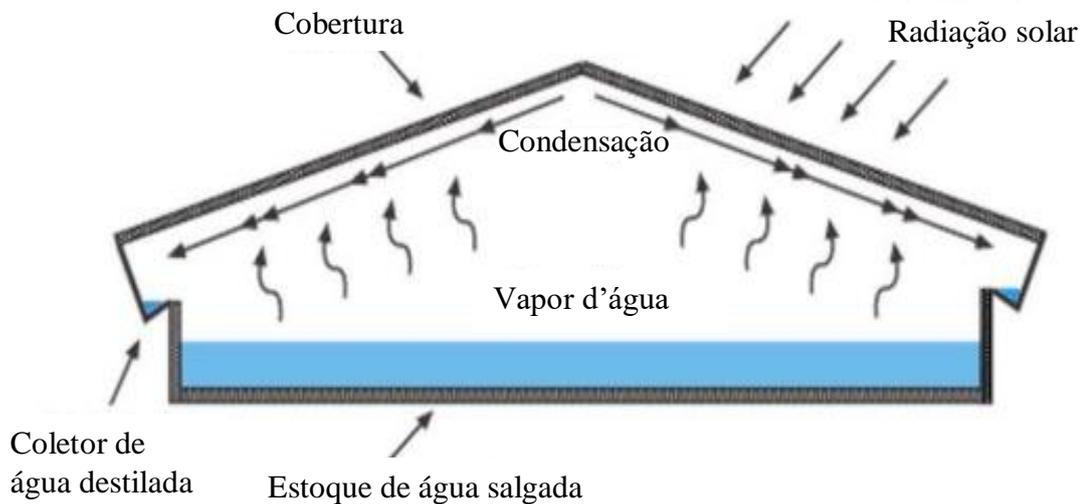


Figura 3 - Modelo de funcionamento da destilação solar  
Fonte: JESUS et al. (2015)

### 3.2.2 DESTILAÇÃO FLASH DE MULTI-ESTÁGIOS (MSF)

Na Destilação Multiestágios (MSF), a água salgada é aquecida aumentando sua temperatura e pressão, passando por outros recipientes, denominados de estágio, em uma menor pressão, o que faz a água evaporar instantaneamente, então o vapor encosta na superfície externa dos tubos de água fria que alimenta o primeiro estágio, e condensa a água pura, que a faz cair no exterior do estágio. A salmoura irá passar para o segundo estágio numa temperatura e pressão ainda menor e mais água evapora, e consequentemente o vapor é condensado. Esse processo é contínuo através de vários estágios, exemplificado na figura 4. Estas plantas podem conter de 4 a até 40 estágios. Essa técnica foi amplamente utilizada, Correspondendo a cerca de 21% das plantas de dessalinização do mundo no início desta década (GHAFFOUR, 2013).

### 3.2.3 DESTILAÇÃO A MÚLTIPLOS EFEITOS (MED)

Na dessalinização térmica o conteúdo salino é separado pela evaporação da água do mar em sistemas de destilação. O processo consiste em evaporar, com auxílio de pressões reduzidas, a solução salina fria é depositada em um conjunto de tubos quentes com vapores, com isso, parte da água evapora e esse vapor da água pura é coletado, a água que não evapora vai para o

próximo efeito que é então utilizada para aquecer a próxima solução. Desta maneira, os efeitos são realizados de forma sucessiva e a cada novo efeito o condensado é recolhido como água doce. Ao final a solução que não evapora é retirada, sendo essa mais concentrada de sal do que a original, demonstrado na figura 5.

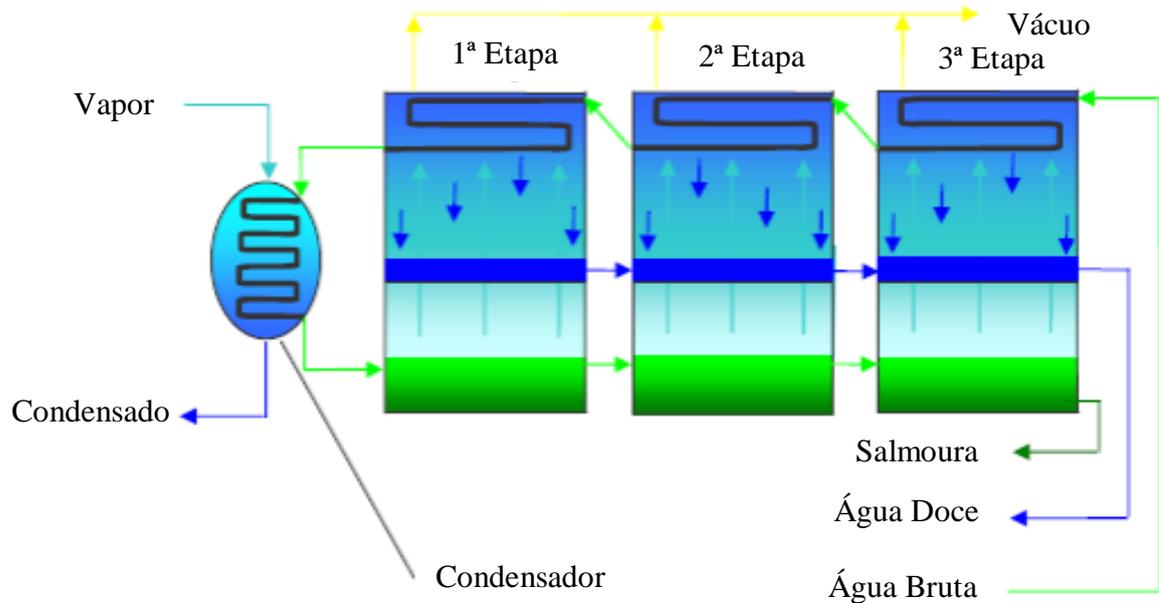


Figura 4 - Processo de destilação flash de múltiplos estágios  
Fonte: SANTOS (2005)

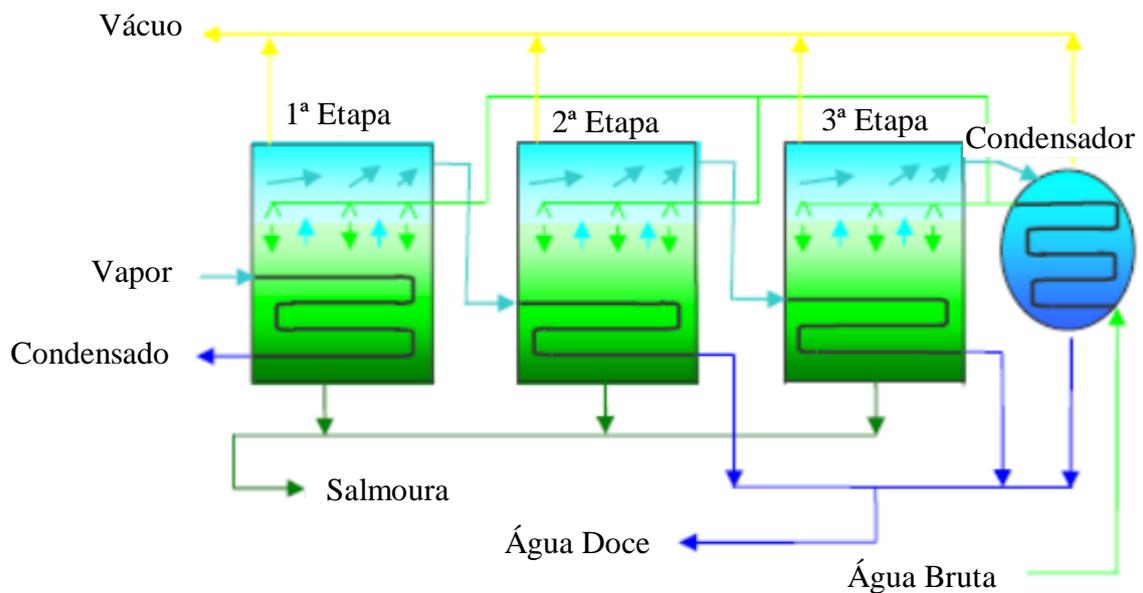


Figura 5 - Processo de destilação a múltiplos efeitos  
Fonte: SANTOS (2005)

Por se tratar de um trocador de calor a temperatura precisa ser controlada durante todo o processo para evitar incrustação e corrosão, devido a isso a temperatura decai ao longo do processo (SANTOS, 2005). Pode-se então dizer que o processo chamado destilação de múltiplos efeitos (MED) é destilação que reutiliza a energia gerada durante a condensação de vapor, reduzindo o consumo de energia necessário para aquecer a água.

#### 3.2.4 DESTILAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR (DCV)

A Destilação por Compressão a Vapor (DCV), funciona com um compressor comprimindo o vapor, aumentando a temperatura e a pressão do vapor, a água salgada que alimenta o destilador, resfria o vapor comprimido que se condensa, transformando em água destilada, ao mesmo tempo que a água salgada é aquecida, produzindo mais vapor, demonstrado na figura 6.

Esse processo pode ser útil em casos de necessidade de equipamentos compactos, em contrapartida apresenta um consumo considerável de energia elétrica para alimentar o motor elétrico do compressor (SIGNORELLI, 2015).

#### 3.2.5 CONGELAMENTO

No processo por congelamento, a água do mar ou salobra é congelada. Após congelar, o gelo é sem sal. Então através do congelamento/descongelamento obtêm-se água doce. Mesmo com a mudança da temperatura de fusão da água na presença de sal, em média para  $-1,9^{\circ}\text{C}$  em uma água com salinidade de 35‰, esse processo utiliza menos energia do que evaporá-la. O método não foi testado em larga escala para obtenção de água pura, pois é demasiadamente caro, sendo um problema a dificuldade no isolamento térmico (SANTOS, 2005).

#### 3.2.6 ELETRODIÁLISE

No processo de Eletrodialise (ED) ou Eletrodialise Inversa (EDI), é um processo por membranas, porém, limitado a apenas águas salobras, este processo só pode ser alimentado com no máximo 3000mg/L de STD (Sólidos Totais Dissolvidos). Seu funcionamento se dá dentro de uma câmara, onde de um lado temos um eletrodo positivo e do outro lado um eletrodo negativo, os íons são separados através de membranas de troca iônica sob a influência de um campo elétrico. Os íons positivos migram da água salobra para o eletrodo negativo através de

uma Membrana de Troca Aniônica (MTA), que só permita a passagem de ânions, conforme figura 7. Esse processo é considerado de baixa eficiência, por exigir mais de uma passagem para extrair toda a quantidade de sais.

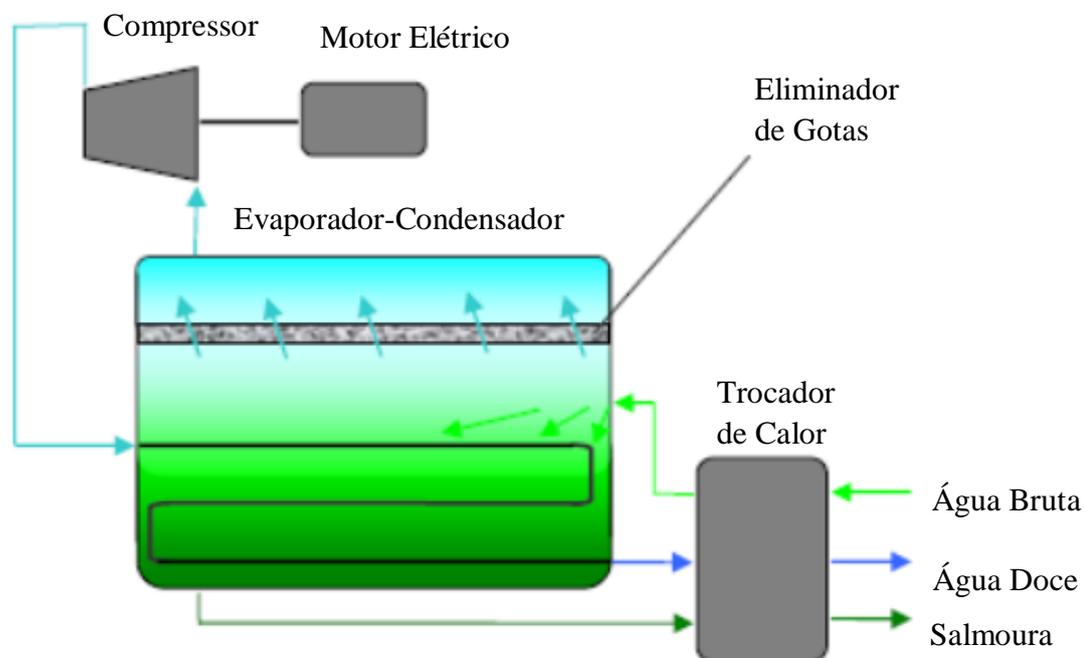


Figura 6 - Processo de destilação por compressão a vapor  
Fonte: SANTOS (2005)

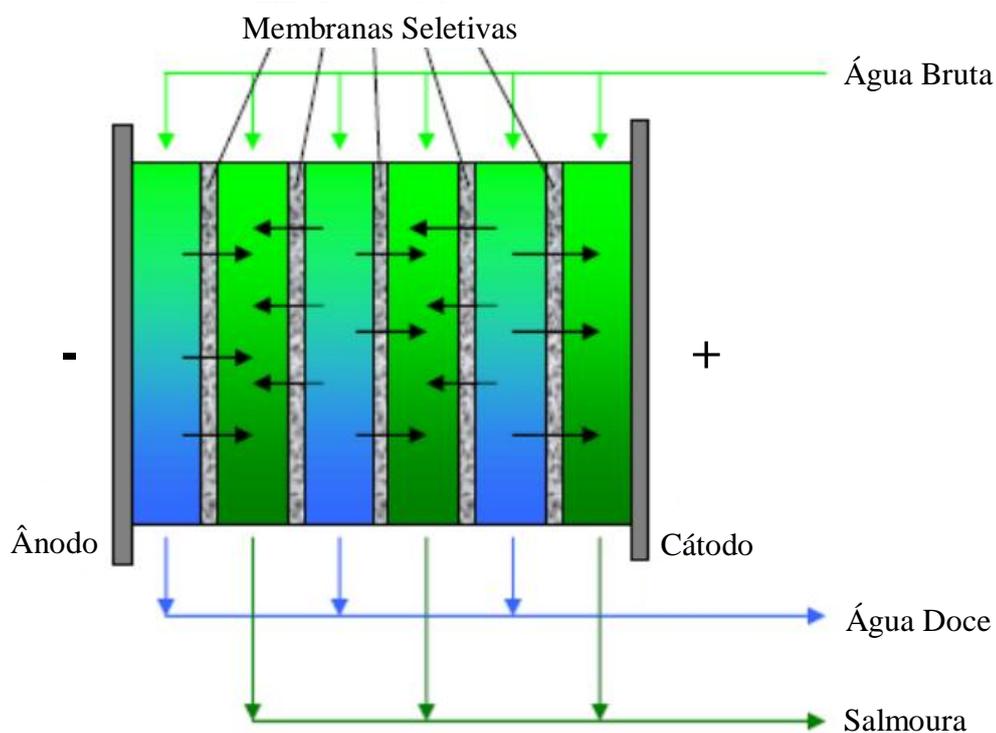


Figura 7 - Processo de destilação por eletrodialise  
Fonte: SANTOS (2005)

### 3.2.7 OSMOSE REVERSA

A Osmose é uma propriedade coligativa que consiste na passagem de solvente através de membranas semipermeáveis. O nome vem da palavra grega *osmós* (em português “impulso”). Neste processo, há a difusão de solvente da solução menos concentrada (ou mais diluída) para a mais concentrada (menos diluída), igualando assim a concentração de ambas as soluções. Esse solvente, passa de modo espontâneo através da membrana, aumentando a quantidade da solução até que atinja uma determinada altura onde a pressão exercida sobre a membrana interrompa o fluxo do solvente, essa pressão é denominada de pressão osmótica, sendo que cada líquido e solução apresenta um valor que é característico dele (SILVA E SANTOS, 2013). A figura 8 demonstra esse processo.

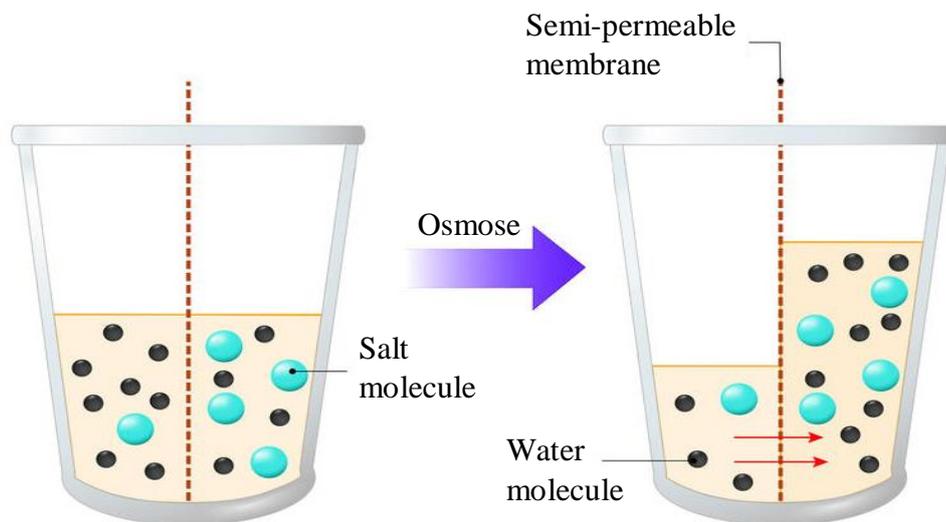


Figura 8 - Processo de osmose  
Fonte: MCNAMARA (2018)

A osmose inversa (OI) ocorre quando uma pressão maior do que a osmótica é aplicada no solvente de maior concentração, ou seja, é uma operação que através de membranas semipermeáveis e com auxílio de um gradiente de pressão, pode rejeitar sais inorgânicos de baixo peso molecular, como também pequenas moléculas orgânicas e outras impurezas, observado na figura 9. As moléculas de água, por outro lado, passam livremente através da superfície da membrana, criando uma corrente de água purificada (SILVEIRA E FRANÇA, 1998).

A pressão osmótica a ser vencida é característica da solução, podendo influenciar esse valor a concentração do soluto e à temperatura de maneira proporcional. Neste processo são

utilizados motores elétricos para aplicar a pressão necessária afim de executar a osmose reversa, o que o torna mais caro.

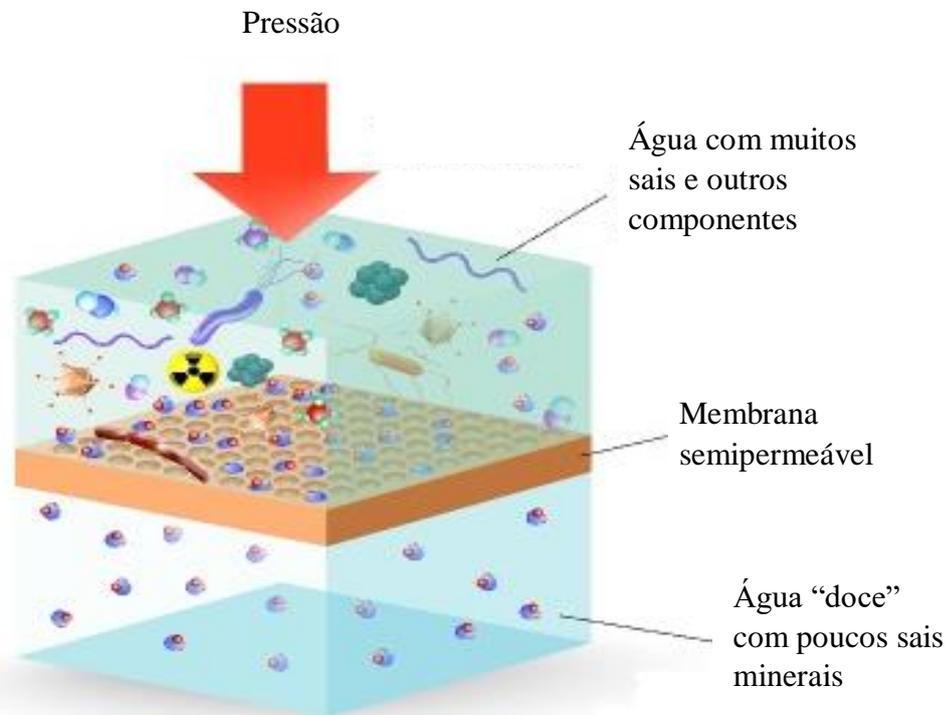


Figura 9 - Processo de osmose reversa  
Fonte: EOS (2018)

As estações de dessalinização atuais utilizam tecnologia de ponta, com membrana osmóticas sintéticas, mas ainda são feitos muitos estudos afim de desenvolver membranas com o diâmetro de abertura que impeça a passagem dos sais dissolvidos e facilitem a permeabilidade da água pura, reduzindo os custos do processo. Existe um estudo para o desenvolvimento de membranas de grafeno, mas ainda vive apenas no papel devido à falta de tecnologia necessária para o desenvolvimento de tal produto em grande escala por um preço competitivo.

No processo de osmose inversa, os 4 maiores componentes que compõe a planta são: Pré-tratamento da água da alimentação, a bomba de alta pressão, a membrana e o pós tratamento do permeado, demonstrados na figura 10.

Ainda que os custos estejam caindo, tornar potável a água do mar ainda é caro. O maior gasto fica por conta da energia elétrica necessária, que para produzir mil litros é, em média, de 8 quilowatts-hora, equivalente ao consumo diário de uma casa de três quartos no Brasil. Sem falar nos investimentos para construção das plantas. Na figura 11 é possível visualizar em porcentagens os custos de uma planta de dessalinização por osmose reversa.

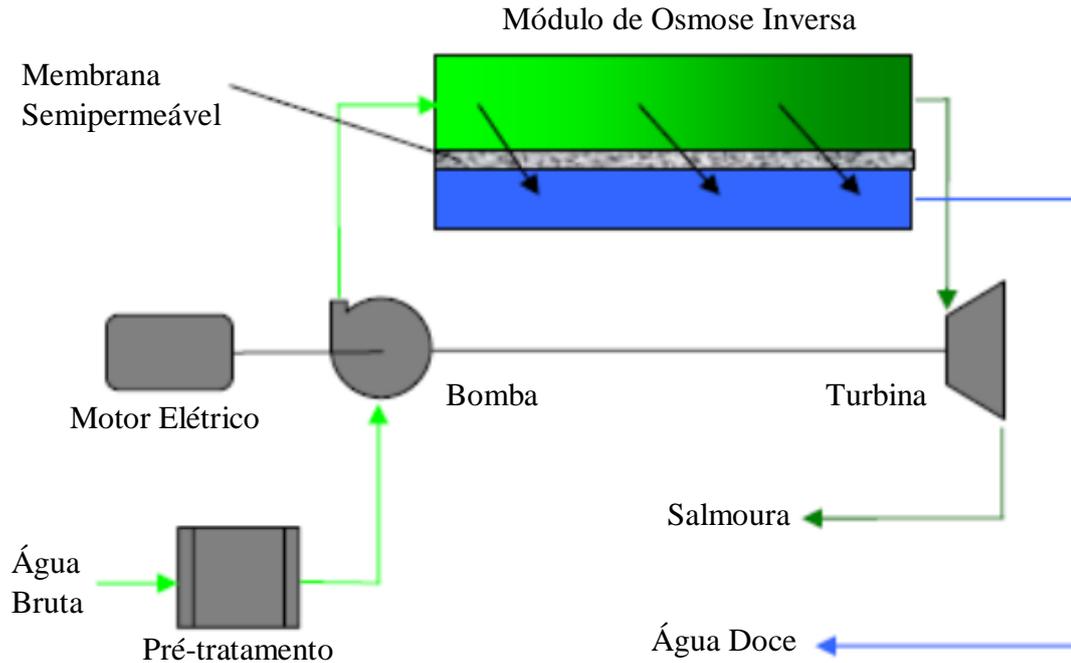


Figura 10 - Processo de destilação por osmose reversa  
Fonte: SANTOS (2005)

Porém, à falta de fontes disponíveis — casos na Austrália, em ilhas do Caribe ou no Oriente Médio (que produz 75% da água dessalinizada do mundo) —, o processo não só compensa como é a melhor opção.

Para base de comparação podemos elencar o preço médio para dessalinizar a água. Com o uso de membranas nos Estados Unidos, por exemplo, cada mil litros de água tem o custo de US\$ 0,75 a US\$ 1,50 para ser produzido (EOS, 2018), enquanto que o custo da destilação por processos térmicos chegam a ser superior, de 10 a 15 vezes o custo do processo por membrana (SENADO FEDERAL, 2014).

Sendo o custo mais expressivo o de consumo de energia elétrica, 41% do custo total, abre-se uma oportunidade para o estudo de sua geração afim de identificar possíveis reduções no seu custo de produção, que impactariam de forma expressiva no custo total da dessalinização por osmose reversa. Com esta visão faz-se necessário uma análise nas fontes de energia utilizadas no Brasil e nas fontes de geração de energia atuais com grande potencial de crescimento, custo baixo e vantagens perante a sustentabilidade, uma vez que o mundo se encaminha perante o objetivo da redução na poluição e correta utilização de seus recursos sem causar danos ao meio ambiente, que no quesito energia elétrica se encontra as energias renováveis.

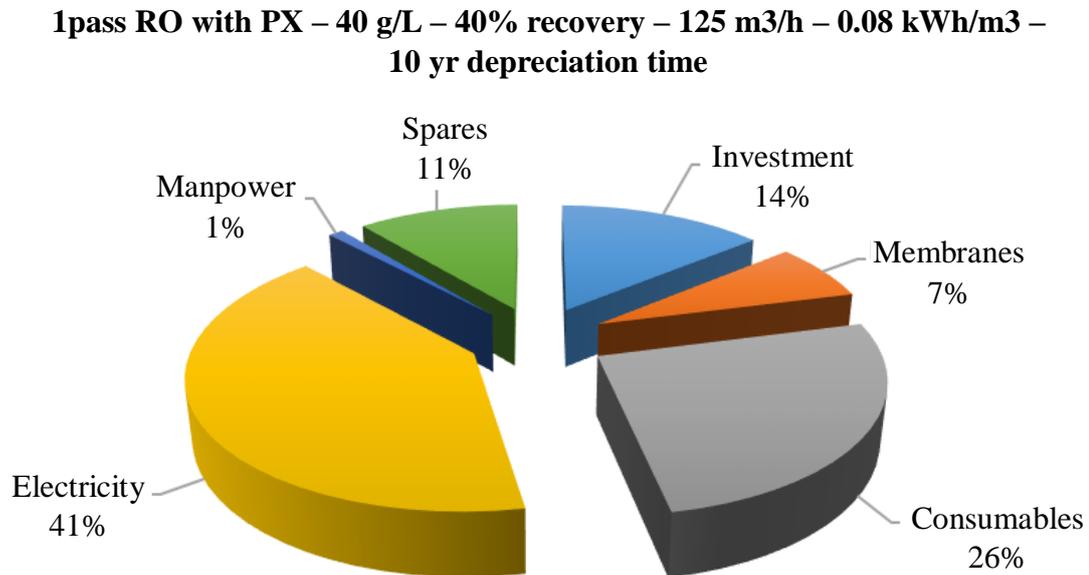


Figura 11 - Custos de uma planta de dessalinização  
Fonte (adaptado): LENNTECH (2017)

### 3.3 Energias renováveis

Fontes de energias renováveis são as que utilizam os recursos não esgotáveis para criar suas fontes de energia, tais como a radiação solar, a energia hidráulica, a biomassa, os ventos, o calor geotérmico, entre outros.

#### 3.3.1 ENERGIA SOLAR

Esta energia utiliza a radiação solar que é emitida sobre o planeta terra. Devida sua alta quantidade de radiação emitida diariamente no planeta, esse tipo de energia acaba sendo altamente potente, além de ser inesgotável, porém, deve-se estudar a melhor maneira de se aproveitar a energia elétrica que esta gera, pois a princípio, possuímos 2 tipos de sistema para a implementação da mesma.

O primeiro é a geração através de células fotovoltaicas, onde 80% das células fabricadas são de silício cristalino e 20% de filmes finos (SILVA, 2015). No caso do silício, a célula é formada pela junção de duas camadas, sendo uma fina e outra mais espessa, obtidas através da dopagem com outro elemento para obtenção de um material portador de carga negativa e outro de carga positiva respectivamente, visto que o silício puro não possui elétrons livres. Ao incidir

luz sobre a célula, os fótons se chocam com os elétrons transformando o silício em condutor, e devido ao campo elétrico gerado pela junção das duas camadas os elétrons formam um fluxo de corrente elétrica contínua enquanto a luz incidir sobre o material, demonstrado na figura 12. Esta energia é captada por meio de um condutor externo e então levada aos inversores, responsáveis pela transformação da corrente contínua em corrente alternada. A intensidade da corrente elétrica gerada é diretamente proporcional a intensidade da luz incidente (NASCIMENTO, 2004).

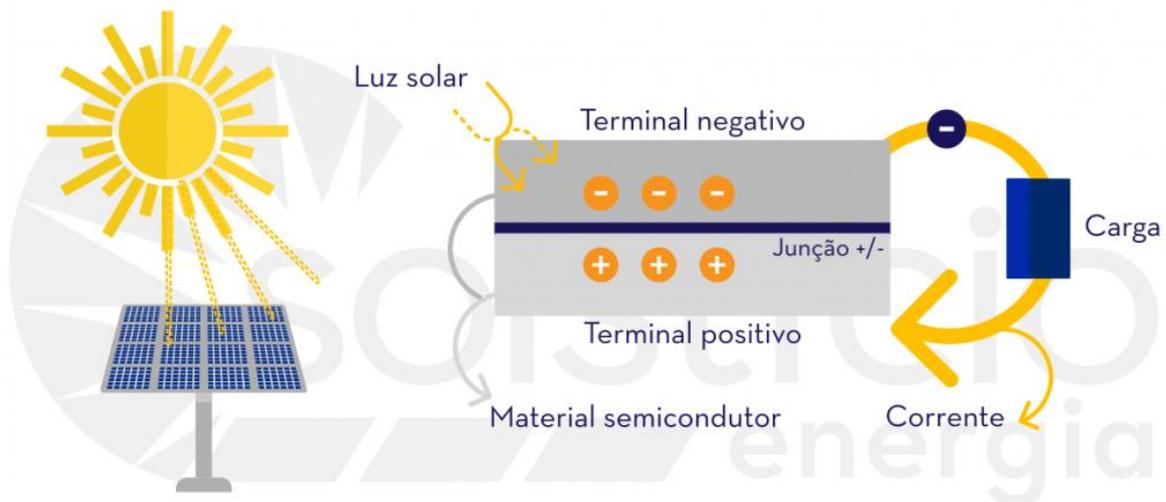


Figura 12 - Funcionamento da célula fotovoltaica  
Fonte: SOLSTICIOENERGIA (2017)

O segundo é o sistema de heliotermia ou CSP (concentrated solar power), onde a radiação solar é convertida em energia térmica que é utilizada para aquecer um fluido, este que movimenta uma turbina a vapor, gerando energia mecânica que posteriormente é convertida em energia elétrica a partir de um gerador acoplado à turbina, demonstrado na figura 13. Os estágios finais deste sistema apresenta a tecnologia utilizada em usinas termoeletricas de outras fontes (SILVA, 2015).

A energia solar é uma energia renovável e inesgotável, que para a sua geração de energia elétrica, não emite gases poluentes com efeitos nocivos para os seres humanos e para a atmosfera, como os combustíveis fósseis. Comparado a outros tipos de energia renováveis, como a hidroelétrica, o espaço a ser utilizado, é de menor extensão e necessita de uma manutenção mínima.

Outro ponto a favor do investimento neste tipo de energia, é que o Brasil possui grandes áreas com incidências de radiação solar, visto na figura 14, e está na linha do equador. O pior local do Brasil para instalação de usinas solares é melhor que o melhor local da Alemanha,

recebendo 73% a mais de irradiação, o local mais indicado para instalação corresponde a uma área de 8 vezes o tamanho do país europeu, sendo que em 2019 a Alemanha produziu 19 vezes mais energia solar do que o Brasil (PEREIRA, 2019).

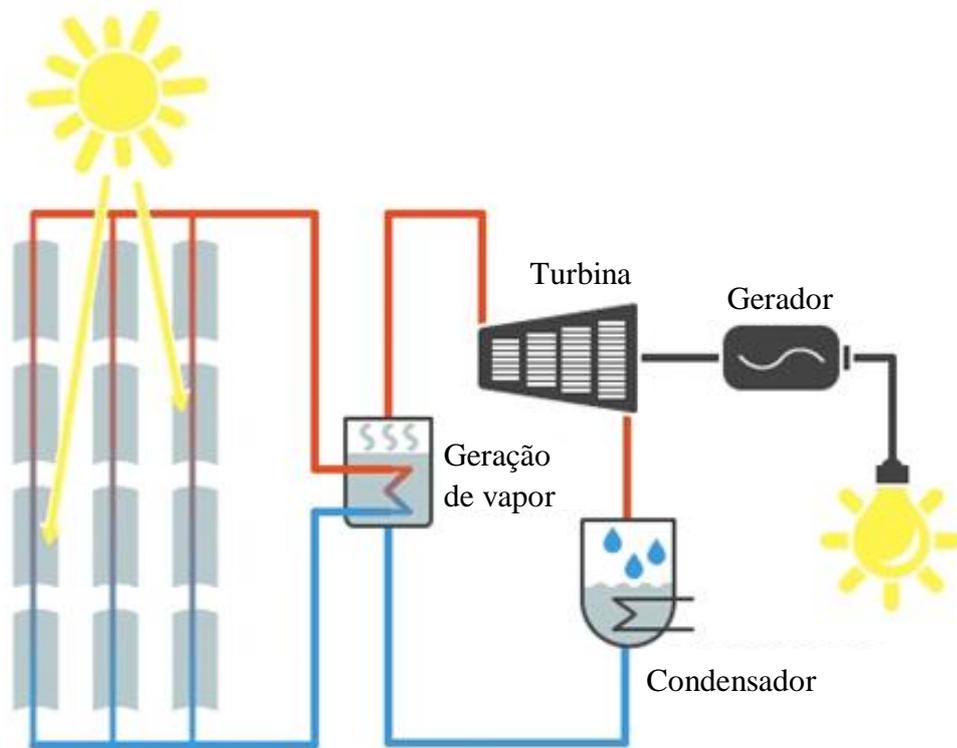


Figura 13 - Funcionamento do processo de heliotermia  
Fonte: PORTALSOLAR (2016)

Já os pontos negativos, ficam por conta de questões burocráticas, tecnológicas e econômicas. Um dos problemas é a mineração do silício, que deixa impactos ambientais no solo e na água subterrânea, e outro ponto contra fica por ser uma geração de energia não constante, caindo sua geração na presença de nuvens e até parando durante as noites.

### 3.3.2 ENERGIA EÓLICA

Esta energia renovável é gerada pelos ventos e vem sendo utilizada pelo homem desde a antiguidade em embarcações e moinhos. Este tipo de energia vem crescendo cada dia mais, pois assim como a solar, não gera poluentes para a atmosfera. As usinas são formadas por uma espécie de cata ventos, que ao receber o vento nas pás efetuam um movimento de rotação, gerando energia mecânica, que acoplado a um gerador transforma esta em energia elétrica (SANTOS et al., 2014), demonstrado na figura 15.

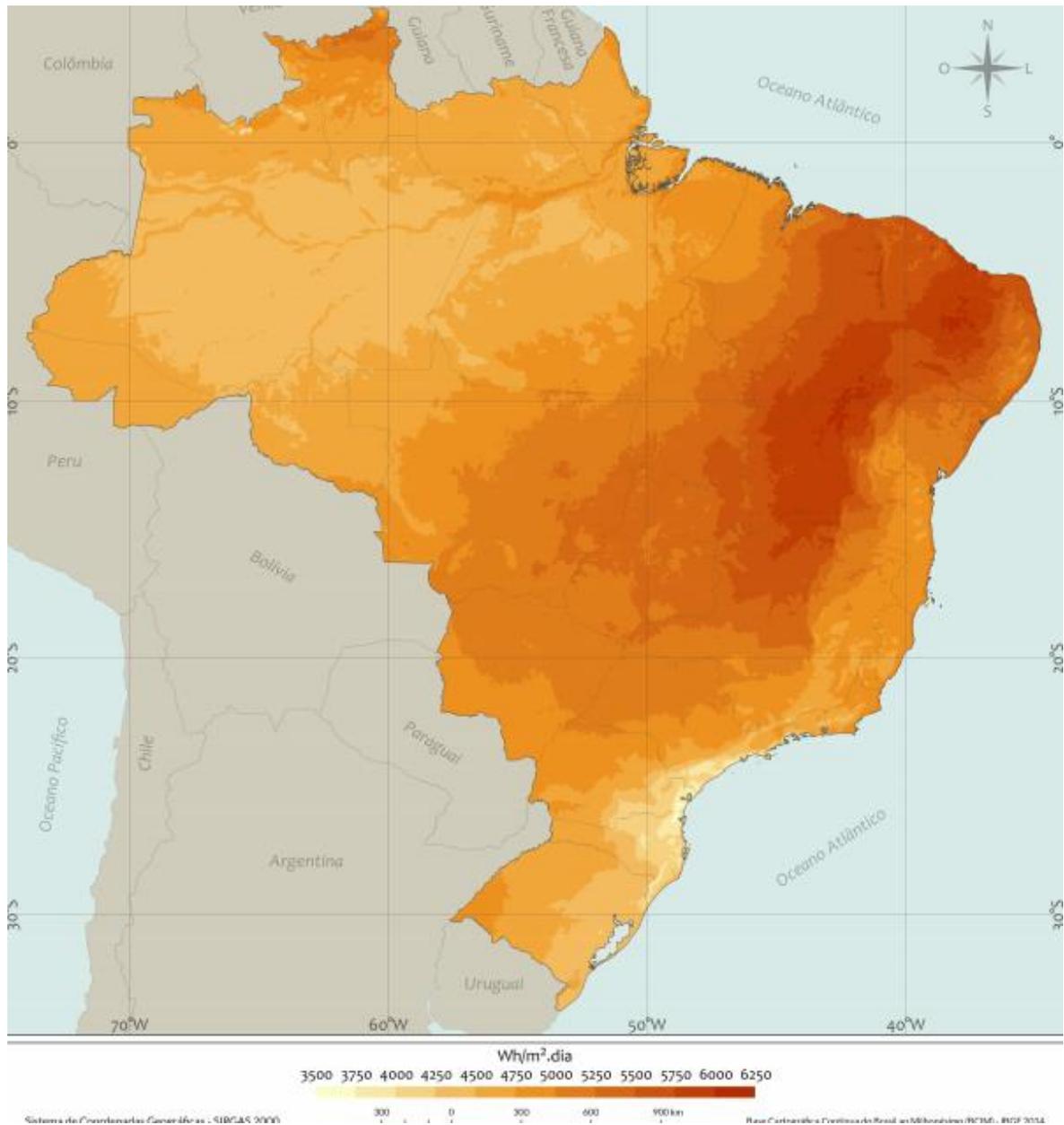


Figura 14 - Média anual do total diário da irradiação global horizontal  
 Fonte: PEREIRA et al. (2017)

Um dos problemas que ela apresenta, é sua falta de constância, devido há falta de ventos/massas de ar em determinadas épocas do ano, e a dificuldade em armazenar esta energia. Além disso, temos a poluição sonora, a poluição visual e os acidentes com as aves.

Em contra partida, suas vantagens, ficam por ser uma energia de fonte renovável e limpa, não gerando resíduos e não contaminando a atmosfera com gases poluentes.

O Brasil possui potencial para expandir a energia eólica em determinadas regiões utilizando como um complemento, conforme demonstrado na figura 16.

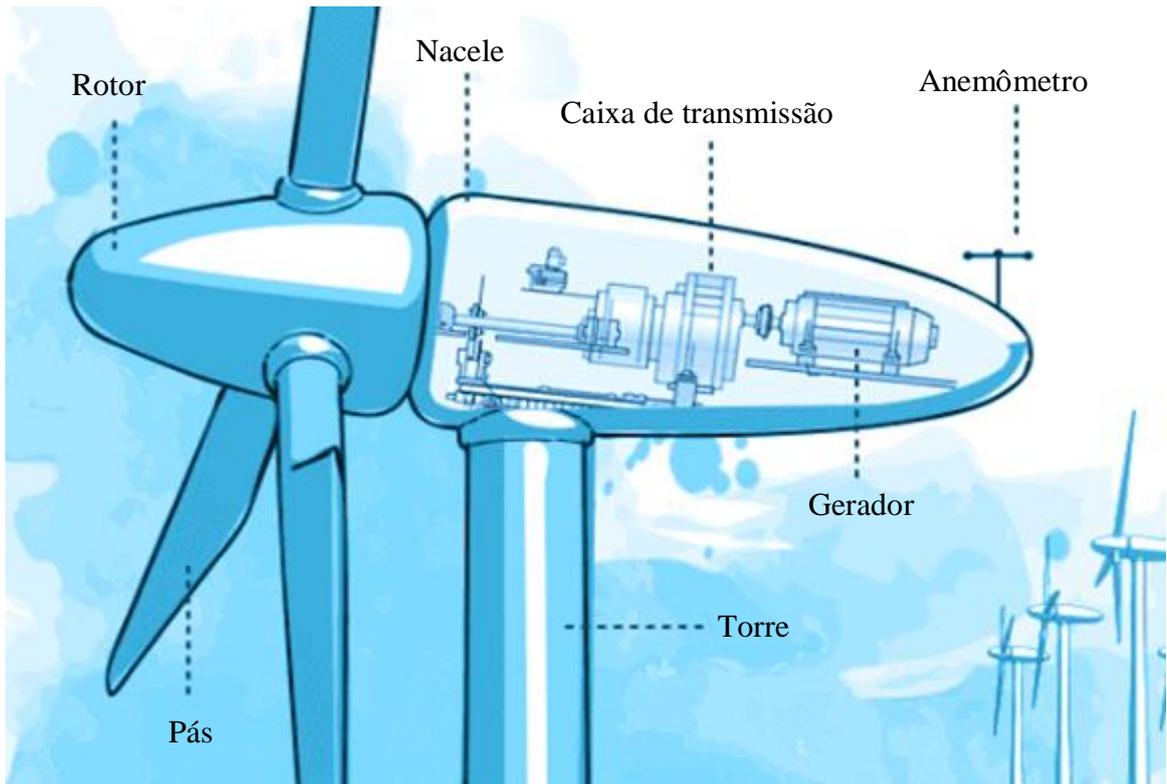


Figura 15 - Funcionamento da usina eólica  
 Fonte: VIVADECORA (2019)

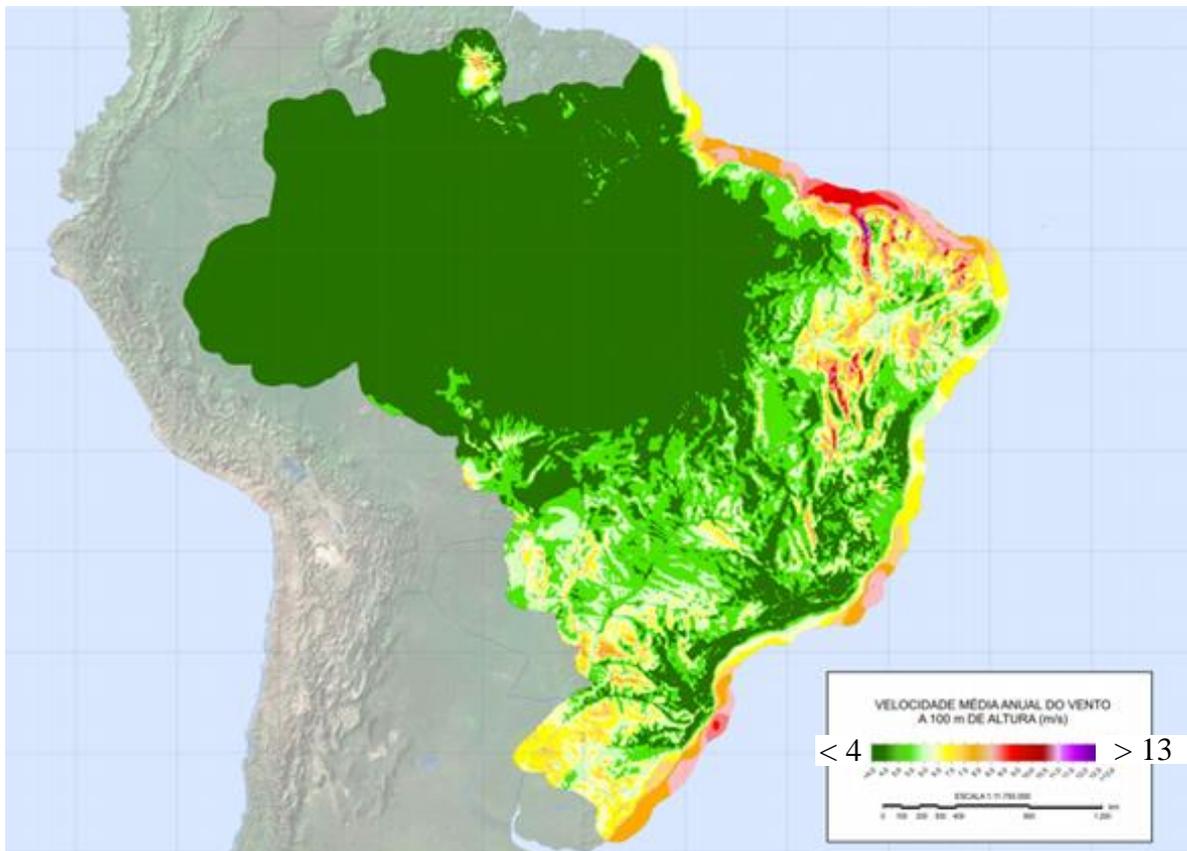


Figura 16 - Velocidade média anual do vento a 100 m de altura  
 Fonte: NEIVA (2013)

### 3.3.3 ENERGIA HÍDRICA OU HIDRILÉTRICA

No Brasil, este tipo de energia é o mais utilizado, e representa grande parte da energia elétrica produzida em países como a Rússia, China e Estado Unidos, que transformam a energia potencial em eletricidade.

Estas usinas geram energia através da passagem de água devido a diferença de altura. A água é represada acima do nível de continuação do rio, ocorre então uma transformação da energia potencial em energia mecânica na rotação gerada pelas pás na turbina que fica acoplada a um gerador, responsável por converter a energia mecânica em elétrica (JÚNIOR et al., 2013), conforme figura 17.

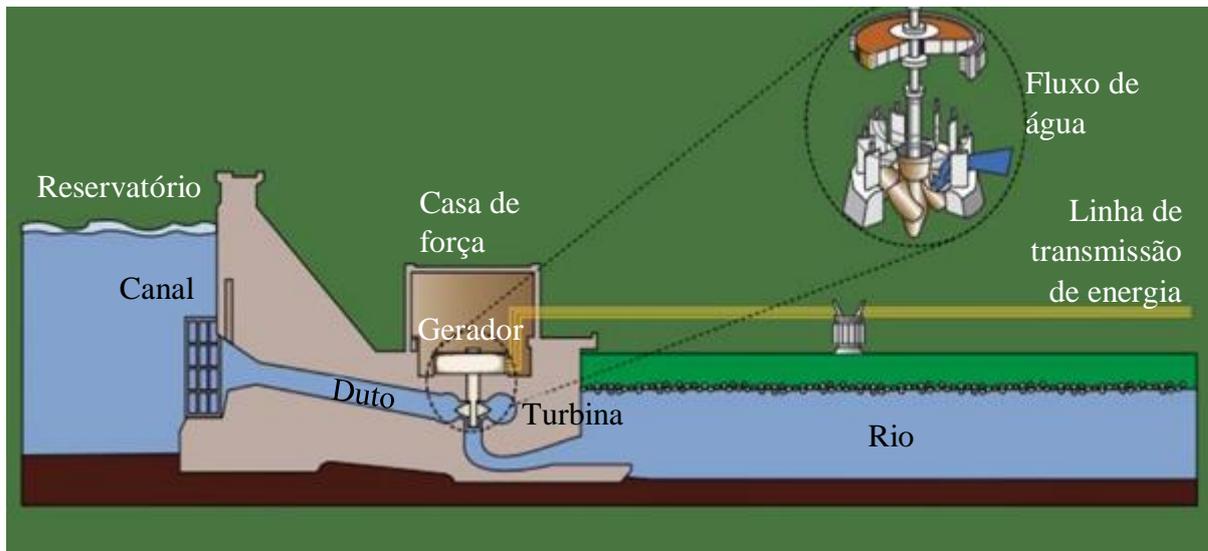


Figura 17 - Perfil esquemático de usina hidrelétrica  
Fonte: ANEEL (2008)

Geralmente é instalada em áreas de planalto, onde o terreno é mais íngreme e acidentado, pois como a área deve ser inundada, o dano ambiental será menor do que se fosse alagar uma área de planície, onde o espaço a ser represado a água seria maior. Devido ao alagamento da área ocorre um aumento de materiais orgânicos em decomposição, ocasionando emissão de dióxido de carbono que acaba afetando o meio ambiente.

Entretanto, apesar destes contrapesos, ela ainda é considerada uma forma de geração eficiente e limpa, comparada a energia termoeletrica, que são movidas por combustíveis fósseis, além de um bom custo-benefício, confiabilidade e eficiência.

### 3.3.4 ENERGIA DA BIOMASSA

Se trata da queima de toda a matéria orgânica não fóssil. Ela acaba reduzindo os resíduos gerados principalmente no setor agrícola. Atualmente, existem 3 tipos de energia biomassa:

**Combustíveis Fósseis:** Madeira, carvão vegetal e restos orgânicos de vegetais e animais. Sua geração acontece através da queima destes combustíveis, ao qual acaba gerando o vapor. Esse vapor é canalizado até chegar nas turbinas. As turbinas giram e acionam o gerado, que converte energia mecânica em energia elétrica, conforme figura 18.

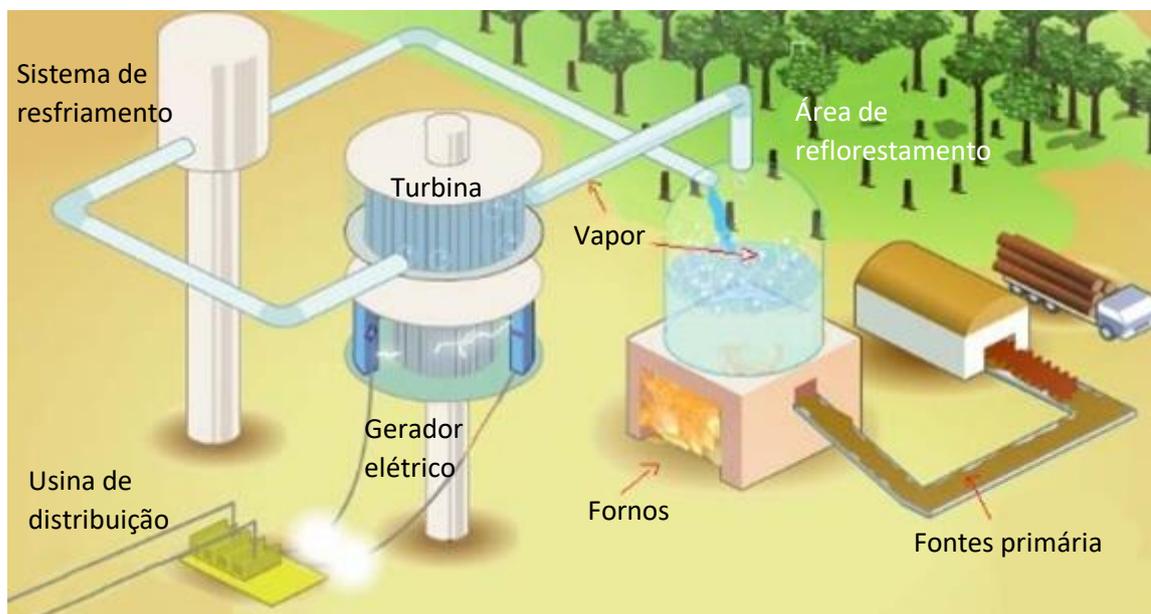


Figura 18 - Processo de geração de energia por queima de biomassa  
Fonte: REIS (2016)

**Combustíveis Líquidos:** Qualquer líquido obtido através da transformação do material orgânico por processos biológicos ou químicos, como por exemplo o etanol e o biodiesel. Assim como os combustíveis fósseis, sua energia é gerada através de vapor, conforme a figura abaixo, o líquido é aquecido gerando o vapor. O vapor é canalizado até a turbina, onde a mesma começa a movimentar, que aciona o gerado e converte energia mecânica em energia elétrica.

**Combustíveis Gasosos:** Biogás e o gás metano encontrado em áreas de aterro sanitários. A sua geração se dá, através da captação através de drenos, do biogás encontrado nos aterros sanitários. Dos captores, saem tubos de plásticos, formando uma imensa rede, que leva o biogás até a usina. Lá ele é resfriado e dividido em 2 partes: a parte que é condensada, conhecida como chorume, volta para o aterro, e o metano, que sobra, segue para gerar a energia. Então o metano passa por um processo de combustão, onde na movimentação de pistões, geram a energia.

As vantagens deste processo é que esta energia é renovável, pouco poluente, fiável, a biomassa sólida é extremamente barata e deixa uma menor corrosão nos equipamentos.

As desvantagens da utilização desta energia é o desmatamento, destruição de habitats, comparado à outros combustíveis ela possui um menor poder calorífico além da dificuldade de transporte da biomassa sólida (REIS, 2016).

### 3.3.5 CUSTOS

Hoje, a energia elétrica oriunda de hidrelétricas é a mais barata entre as renováveis, chegando a um custo médio ponderado global de U\$ 0,05 por quilowatts-hora, sendo equivalente ao ponto mais baixo da faixa de custo com combustível fóssil, que fica entre U\$ 0,17 a U\$ 0,05 por quilowatts-hora (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2018).

De 2010 a 2017 o custo da geração de energia elétrica por parte da energia eólica caiu cerca de um quarto e da energia solar fotovoltaica caiu 73%, ficando na média ponderada global em U\$ 0,06 e U\$ 0,10 respectivamente. Para 2020 já existem novos projetos de energia solar e eólica que preveem a entrega de energia elétrica na faixa de U\$ 0,10 a U\$ 0,03, ficando então abaixo do custo das provenientes de combustível fóssil e hidrelétricas (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2018).

O Brasil possui aproximadamente 60% da energia elétrica gerada oriunda de usinas hidrelétricas, sendo a eólica e a solar juntas aproximadamente 10%, inferior aos 14,827% de energia proveniente de combustível fóssil, visto na figura 19, contando ainda com uma parcela de energia importada, deixando uma lacuna para possíveis investimentos em energias.

Pode-se ver uma tendência global no investimento da produção de energia elétrica através da energia solar e eólica, conforme a figura 20, que demonstra nos últimos 10 anos o crescimento dessas energias em relação a outras fontes de energias renováveis.

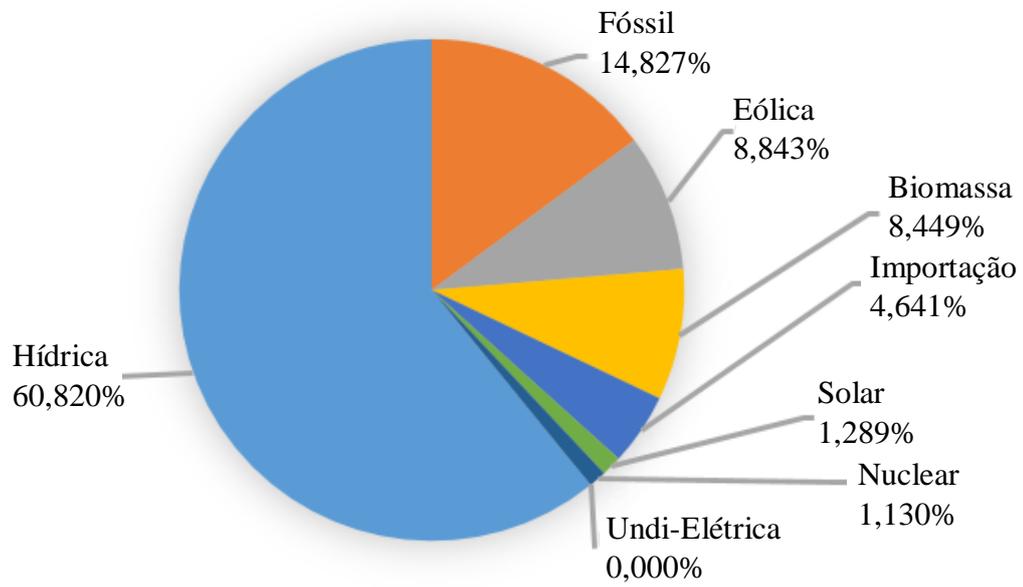


Figura 19 - Matriz de energia elétrica do Brasil  
 Fonte (adaptado): ANEEL (2019)

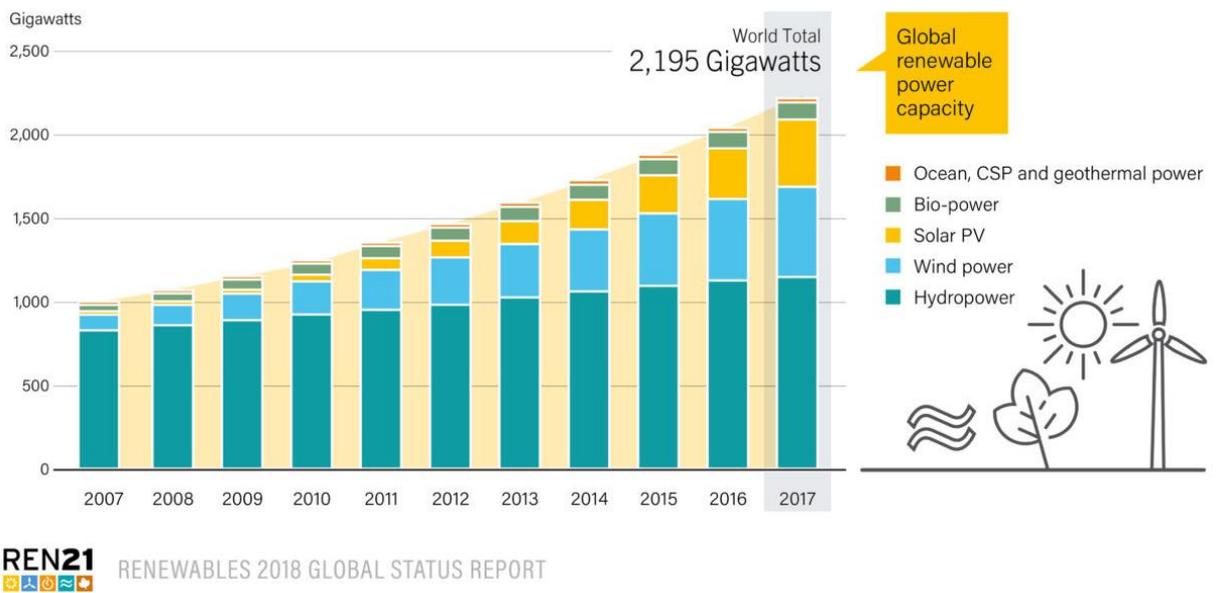


Figura 20 - Capacidade global de energia renovável de 2007 a 2017  
 Fonte: REN21 (2018)

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da história o homem se manteve próximo de fontes de água potável disponíveis naturalmente, mas com o constante crescimento da população humana notou-se a necessidade de buscar outros métodos de obtenção de água potável e a não dependência de sua disposição natural. Com isso em mente foram, e ainda são, elaborados sistemas para tornar águas impróprias, como as dos mares, em águas próprias para consumo.

Dos vários métodos de dessalinização disponíveis é possível notar que o por osmose reversa ganha um destaque, sendo o mais utilizado inclusive por países que dependem da dessalinização como fonte primária de obtenção de água potável. É atualmente o mais viável economicamente em relação a tempo de produção, espaço utilizado pela usina e quantidade de água potável gerada.

O custo médio para obter mil litros de água potável através da osmose reversa é de U\$ 1,50. Dentre os que compõe o preço final do processo a eletricidade é o maior, responsável por 41% do total. No Brasil 75% da energia elétrica utilizada é oriunda da hídrica e fóssil, 60,821% e 14,827% respectivamente, sendo que os custos de produção do quilowatts-hora de ambas chegam a um custo médio ponderado global de U\$ 0,05.

É possível observar uma oportunidade na substituição da geração de energia elétrica com combustíveis fósseis no Brasil por energias renováveis, que além dos custos, apresentam uma vantagem ecológica e sustentável, uma vez que o país possui potencial para sua geração, garantindo um melhor aproveitamento de seus recursos sem prejudicar o meio ambiente e as gerações futuras. Sendo que a sustentabilidade vem se tornando um objetivo mundial para se alcançar, o Brasil já se posicionaria em destaque ao ampliar ainda mais sua obtenção de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

Olhando o cenário global de energias, é possível observar um crescimento na utilização de energia solar e eólica devido a investimentos em projetos novos que se propõe a atingir um custo de U\$ 0,03 o quilowatts-hora, ficando então dois quintos mais barata do que a utilizada em maior escala no Brasil. Reduzir o custo da energia em dois quintos impactaria diretamente no custo da dessalinização de maneira expressiva. Sendo U\$ 0,615 os 41% do custo referente a energia elétrica utilizada na dessalinização, com uma redução de dois quintos do valor cairia para U\$ 0,369, fechando no custo total de U\$ 1,254 para obtenção de mil litros de água potável com o processo de dessalinização por osmose reversa, redução de 16,4% no custo total.

Alinhando com o investimento em geração de energia elétrica com custo reduzido, grande potencial de produção no Brasil e sustentáveis a longo prazo, como é o caso dos métodos que utilizam energia solar e energia eólica, é possível baratear o processo de dessalinização e o tornar viável para regiões mais necessitadas.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Matriz de Energia Elétrica. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 25 out. 2019.

ANEEL. O caminho da água na produção de eletricidade. 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em 22 out. 2019.

MANUAL DE EDUCAÇÃO: Consumo sustentável. Brasília: MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p.

EOS. Os custos da dessalinização da água. [s.l.] 2018. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/os-custos-da-dessalinizacao-da-agua/>>. Acesso em: 02 nov.2019

GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, GARY L.A.. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, [s.l.], v. 309, 2013, p.197-207. Disponível em: <<https://repository.kaust.edu.sa/bitstream/handle/10754/562573/Economics%20of%20water%20desalination%20paper%20Desalination.pdd>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

HATJE, V. Composição da água do mar. [s.l.]. 2012. Disponível em: <<https://www2.unifap.br/alexandresantiago/files/2012/04/Composicao-da-agua-do-mar.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2019

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, Renewable Power Generation Costs in 2017. 2018. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>>. Acesso em: 10 out. 2019.

JESUS, G. O et al. Destilação de água por energia solar. 2015. *Cad. Prospec.* v. 8, n. 3. Salvador, 2015, p. 469-477. D.O.I.: 10.9771/S.CPROSP.2015.008. 052. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/11540/pdf>>. Acesso em: 05 set. 2019.

JÚNIOR, A. M. et al. Vantagens e desvantagens da energia hidráulica. *Acta Iguazu.* v.2, n.4. Cascavel, 2013, p. 20-28. Disponível em: <[http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia\\_agricultura/Vantagens%20e%20desvantagens%20da%20energia%20hidr%C3%A1ulica.pdf](http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/Vantagens%20e%20desvantagens%20da%20energia%20hidr%C3%A1ulica.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2019.

LENNTECH DMCC. Análise de custos de dessalinização por Osmose Inversa. [s.d] [s.l.] 2017. Disponível em: <<https://www.lenntech.com.pt/processos/mar/dessalinizacao-e-custos-energeticos.htm#ixzz65mcNqm54>>. Acesso em: 14 out. 2019.

NASA. Gallery. 2014. Disponível em: <[https://aquarius.oceansciences.org/cgi/gal\\_images.htm?id=609](https://aquarius.oceansciences.org/cgi/gal_images.htm?id=609)>. Acesso em 10 set. 2019

NASCIMENTO, C.A. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Orientador: Prof. Es. Carlos Alberto Alvarenga. 2004. 21 f. Dissertação (Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes alternativas de energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: <[https://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf)>. Acesso em: 31 out. 2019.

NEIVA, A. C. B.; DUTRA, R. M.; MELO, S. R. F. C.; GUEDES, V. G.; CABRERA, A. A. M.; ALMEIDA, W. G.; BRAZ, R. O. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2013. Disponível em: <[http://novoatlas.cepel.br/wp-content/uploads/2017/07/Novo-Atlas-do-Potencial-Eolico-Brasileiro-SIM\\_2013.pdf](http://novoatlas.cepel.br/wp-content/uploads/2017/07/Novo-Atlas-do-Potencial-Eolico-Brasileiro-SIM_2013.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2019.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000

PEREIRA, E. B. Fontes Eólica e Solar: oportunidades e desafios, [s.l.] 2019. Disponível em: <[http://www.confear.org.br/sites/default/files/uploads-imce/INPE\\_ENIO\\_PDF.pdf](http://www.confear.org.br/sites/default/files/uploads-imce/INPE_ENIO_PDF.pdf)>. Acesso em 01 nov. 2019.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acesso em 01 nov. 2019.

PORTALSOLAR. Energia heliotérmica: entenda como funciona. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-heliotermica-entenda-como-funciona.html>>. Acesso em 08 set. 2019.

REIS, P. Vantagens e desvantagens da energia a biomassa. [s.l.] 2016. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>>. Acesso em: 30 out. 2019.

REN21. Renewable Energy Policy Network. 2018. Disponível em: <<https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf>>. Acesso em 28 out. 2019.

SANTOS, B.; PAZZINI, D.; RIBEIRO, F. Energia eólica: vantagens e desvantagens. [s.l.] 2014. Disponível em: <<http://anaissaloes.canoas.ifrs.edu.br/index.php/enpex/article/view/185>>. Acesso em: 01 nov. 2019

SANTOS, J.J.C.S. Avaliação Exergoeconômica das Tecnologias para a Produção Combinada de Eletricidade e Água Dessalinizada. Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Rosa do Nascimento. 2005. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, [S. l.], 2005. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0030980.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2019.

SENADO FEDERAL. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. Revista Em Discussão, 23. ed. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/escassez-de-agua/materia.html?materia=dessalinizar-a-agua-e-cada-vez-mais-viavel.html>>. Acesso em: 25 out 2019.

SIGNORELLI, M. R. Dessalinização: métodos e possibilidades. 2015. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e de Petróleo UFF – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SILVEIRA, M.C.; FRANÇA, K.B. Avaliação do desempenho de um sistema de dessalinização via osmose inversa para águas salobras. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, 1998. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22298/14641>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

SILVA, D. A.; SANTOS, E. B. Utilização de osmose reversa para tratamento de águas. Garça: Faculdade de Tecnologia de Garça, 2013. Disponível em: <<http://revista.fatecgarca.edu.br/index.php/efatec/article/view/48/45>>. Acesso em: 05 nov. 2019

SILVA, R. M. Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. [s.l.]. 2015. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/507212/TD166-RutellyMSilva.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 nov. 2019

SOLSTICIOENERGIA. 2017. Como Funciona Uma Célula Fotovoltaica? 2017. Disponível em <<https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>>. Acesso em 07 out. 2019.

UNFPA. World Population Dashboard. [s.l.] 2019. Disponível em: <<https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard>>. Acesso em 25 ago. 2019.

VIVADecora. Energia Eólica dá certo no Brasil? Descubra suas vantagens e desvantagens. 2019. Disponível em:< <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/energia-eolica/>> Acesso em 12 nov. 2019.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor. Autorizo também a divulgação do arquivo no formato PDF no banco de monografias da Biblioteca institucional.

João Vitor Sather Bosco, José Leandro Rosa da Silva  
Pindamonhangaba-SP, Dezembro de 2019.