

ENERGIA DOS OCEANOS - UMA SÍNTESE DO GRADIENTE SALINO

**Lílian Carla Ferreira Freitas¹,
Filipe Ferreira de Oliveira Leite²,
Arnaldo Martín Martínez Reyes³,
Maria Luiza Grillo Renó⁴.**

E-mail: lilian.cffreitas@hotmail.com,
filipe.ferole@yahoo.com.br,
ammr451111@yahoo.es,
malureno@unifei.edu.br.

RESUMO

O aumento expressivo na utilização de fontes renováveis é devido à necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono e também a necessária economia dos combustíveis fósseis. A energia proveniente do gradiente salino, chamada energia azul é uma fonte renovável não convencional que aproveita o gradiente de pressão osmótica entre duas soluções com salinidades diferentes e utiliza a energia liberada no processo para geração de eletricidade. As tecnologias empregadas além de gerar energia promovem a dessalinização das águas. São elas: pressão retardada por osmose (PRO), eletrodialise reversa (RED), capacitores de dupla camada, pseudocapacitor, as últimas ainda em estágio de estudos. Seguindo o sistema PRO, para geração de energia, para cada m³ de água salgada, tem, em teoria, 0,7 kWh/m³ de energia. Já para o sistema RED, com o maior número de estudos, maiores são as densidades de potência. São necessários maiores investimentos para aumento do potencial e maior desenvolvimento do setor, que ainda encontra-se imaturo, enquanto fonte de aproveitamento energético.

Palavras-chave: energia azul, gradiente de salinidade, osmose, eletrodialise.

ENERGY OF OCEANS - A SYNTHESIS OF THE SALT GRADIENT

ABSTRACT

The significant increase in the use of renewable sources is due to the need to reduce carbon dioxide emissions and also the necessary saving of fossil fuels. The energy of the salt gradient, called blue energy, is an unconventional renewable source that takes advantage of the osmotic pressure gradient between two solutions with different salinities and uses the energy released in the process to generate electricity. The technologies used besides generating energy promote the desalination of water. They are: delayed pressure by osmosis (PRO), reverse electro dialysis (RED), double layer capacitors, pseudocapacitor, the latter still in the study stage. Following the PRO system, for energy generation, for each m³ of salt water, it has, theoretically, 0.7 kWh / m³ of energy. For the RED system, with the largest number of studies, the higher the power densities. More investments are needed to increase the potential and further development of the sector, which is still immature, as a source of energy use.

Key-words: blue energy, salinity gradient, osmosis, electro dialysis.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte das necessidades da humanidade é suprida por meio dos combustíveis fósseis. Entretanto, as preocupações com as mudanças climáticas e a segurança energética, diante da crescente demanda de energia, tem direcionado as sociedades a uma maior conscientização, e inserção da mudança de hábito no consumo de energia elétrica. Portanto, na busca pela resolução dos problemas ambientais, somado a necessidade da geração de energia e diante da finitude dos recursos fósseis, há o incentivo para fontes alternativas de energia, por isso o aumento expressivo destas fontes, em termos de tecnologias, capacidade e investimentos.

Deve ser destacado que tão importante quanto a utilização de novas fontes de energia é a busca pela maior eficiência nas conversões, em equipamentos e processos. A eficiência energética pode viabilizar o crescimento econômico, reduzir as emissões e ainda melhorar a segurança energética (IEA, 2019).

De acordo com a Agencia Internacional de Energia (IEA, 2019), as fontes renováveis são a terceira maior contribuinte para a produção de eletricidade em 2016. A Figura 1 apresenta a produção global de eletricidade por fonte, onde as fontes alternativas são apresentadas pela hidráulica (16,6%) e as demais, incluindo solar, eólica, geotérmica e marés (5,6%). Portanto as fontes renováveis tem significativa participação na geração de eletricidade no mundo.

Existem várias formas de energia renovável, que variam em sua viabilidade e potencial disponível, bem como na medida de seus impactos ao ambiente. Neste contexto, a energia proveniente das águas aparece com grande potencial de geração e de fonte de pesquisas. Os oceanos representam um grande potencial energético, que pode contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia a um nível global (CRUZ e SARMENTO, 2004). Entretanto, esta forma de energia ainda necessita de maturação e maior desenvolvimento.

Pode-se obter energia da água dos oceanos pelas seguintes formas: ondas, marés, amplitude das marés, correntes oceânicas, diferença de temperaturas existente entre a superfície e o fundo do mar e gradiente de salinidade. Destas, destaca-se a energia das marés e a energia das ondas pelo seu maior potencial de utilização e desenvolvimento. Conforme citado por Herring, 2016, o planeta produz naturalmente água salgada e água doce, por isso é fundamental o aproveitamento deste recurso, o que se intensifica no cenário atual de mudanças climáticas. É estimado que no mundo, o potencial de energia oriunda dos oceanos seja maior que 75 TW (ELLABBAN et al., 2014).

A energia gerada através do gradiente de salinidade é uma fonte renovável não convencional e pouco explorada, baseada no uso de solutos de interface e solventes de

diferentes salinidades de modo a aproveitar o gradiente de pressão osmótica entre eles e, assim, utilizar a energia liberada no processo para conduzir turbinas e geradores que, por sua vez, produzem eletricidade.

Existem ainda poucos projetos comerciais que utilizam energia oceânica e, portanto, apresentam alto custo de implementação. Atualmente a capacidade comercial de geração de energia oceânica que está em operação é 0,5 GW e outros 1,7 GW estão em construção. E ainda existem 15 GW em projetos, em diferentes estágios de desenvolvimento, e a maioria são aplicados para as marés (WEC, 2016). A Figura 2 mostra os países e a capacidade instalada destes para energia oceânica. Entretanto, há países com projetos de demonstração em diferentes escalas, como Bélgica, Itália, Espanha, Singapura, Japão, Coreia do Sul, e outros.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma síntese das formas de obtenção de energia oriunda do gradiente salino.

2. ENERGIA AZUL OU ENERGIA DO GRADIENTE SALINO (SGE)

A chamada energia azul, também conhecida como potência osmótica foi obtida pela constatação de que através da eletroquímica, pode-se criar uma célula de concentração com água salgada e água doce, sendo separadas por uma membrana semipermeável, permitindo a passagem apenas de moléculas de água. A água do mar naturalmente terá um concentrado de sal maior que a água doce, e a grande diferença fará com que as moléculas de água doce passem rapidamente para as moléculas de água salgada. Isso faz com que a pressão possa ser transformada em eletricidade.

Em uma linguagem comum, quando as águas dos rios vão para o oceano, ocorre a mistura de água doce com água salgada e irreversivelmente ocorre um aumento da entropia (JIA et al., 2014). A eletricidade é obtida por meio desta mudança de entropia. A mistura de água doce e salgada ocorre naturalmente e assim, são liberadas grandes quantidades de energia (PLAZA, 2018). Através da mistura de águas de diferentes concentrações salinas, é liberada uma energia livre que cria uma diferença de potencial entre as águas. Esta mistura é controlada e o potencial químico é utilizado na geração de energia elétrica.

Fatores que tornam esta tecnologia significativamente favorável incluem a não emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono e a menor dependência do clima ou variações sazonais, se comparado as demais fontes renováveis, como solar e eólica (KIM et al., 2015).

É calculado que para cada m^3 de água dos rios que flui para o oceano, 2,3 MJ de energia é dissipada e uma grande parte desta energia pode ser aproveitada. No mundo, o potencial de

geração de energia a partir da mistura de água dos rios com água dos oceanos é mais que 2 TW (ABBASI-GARRAVAND et al., 2016).

Os processos de gestão de água relacionados ao gradiente salino não afetam significativamente os ecossistemas da água de riachos ou corpos de água envolvidos. E estas tecnologias também podem ser usadas para outras aplicações, principalmente a produção de água potável.

Ainda se pode dizer que a geração de energia pelo gradiente de salinidade é uma forma de geração útil, especialmente em locais remotos e costeiros de difícil acesso. Pode ser considerada a vantagem socioeconômica para projetos de desenvolvimento em áreas subdesenvolvidas.

As pesquisas têm desenvolvido membranas sofisticadas que permitem a tecnologia do gradiente de salinidade passar de escala piloto para escalas utilizáveis em locais adequados e, posteriormente, para operação comercial.

As técnicas mais conhecidas para retirar a energia por meio da dessalinização da água, são chamadas de PRO (Pressurized-Retarded Osmosis) e RED (Reverse electro dialysis), onde tem-se células de concentração eletroquímicas e dispositivos que exploram a diferença de pressão (CLAMPITT, 1979). Atualmente houve um aumento no setor de pesquisas e já existem novas técnicas utilizadas para obtenção da energia proveniente do grau de salinidade.

3. PRINCIPAIS TECNOLOGIAS UTILIZADAS

3.1 Pressão Retardada por Osmose (Pressure Retarded Osmosis - PRO)

No sistema PRO ocorre a passagem de água através de uma membrana semipermeável da alimentação para o lado concentrado e o fluxo de água pressurizado opera uma turbina hidráulica para gerar energia. O primeiro protótipo de usina de energia baseado em pressão de osmose retardada (PRO), foi encomendado pela estatal Norueguesa Statkraft em 2009 e encontra-se em operação (ANISSIMOV, 2016), onde a capacidade projetada é de 10 kW (RAMON et al., 2011).

A Figura 3 traz uma representação do processo de equilíbrio osmótico (a) e de geração de energia através do sistema PRO (b). No sistema, a água permeia através de uma membrana seletiva indo de um fluxo diluído para um fluxo concentrado pressurizado, ou seja, da água doce para água salgada, sendo então expandida e passa por uma turbina hidráulica (RAMON et al., 2011). Para a geração de energia, o equilíbrio osmótico não é atingido e o fluxo da água a uma certa pressão é utilizado para acionar uma turbina, convertendo, assim, energia química em energia elétrica (SILVA, 2015).

O sistema é instalado na foz de rios, ou em uma região onde há o encontro das águas de diferentes concentrações salinas. A qualidade da água a ser utilizada no processo pode representar um condicionante para uma melhor performance do processo. O principal obstáculo do poder osmótico diz respeito à disponibilidade de uma membrana com baixo efeito de incrustação, pois geralmente os fluxos de água envolvidos no processo contêm grandes quantidades de partículas coloidais, materiais orgânicos e inorgânicos, que podem reduzir o fluxo de permeado e a densidade de potência (ABBASI-GARRAVAND et al., 2016).

As características intrínsecas e importantes das membranas são: coeficiente de permeabilidade a água (A), coeficiente de permeabilização de sal (B), espessura da camada porosa de suporte (t) e difusão efetiva de sal (D) na permeabilidade de água e sal através da membrana (VILHENA, 1992 apud MARTINS, 2014). Segundo Van't Hoff, uma mistura qualquer (m), possui uma pressão osmótica intrínseca π_m , esta não depende da natureza do soluto, e desta forma a lei de Van't Hoff descreve a pressão osmótica da seguinte forma:

$$\pi_m = \frac{R \cdot T_m}{V_m} \sum_{i=1}^p n_{i,m} \quad (1)$$

Onde: R é a constante universal dos gases, T_m é a temperatura da mistura m, em Kelvin, V_m é o volume em metros cúbicos e $n_{i,m}$ a quantidade de cada substância, em moles. O diferencial de pressão osmótica ($\Delta\pi$) entre duas misturas (1 e 2) é, então:

$$\Delta\pi = \pi_1 - \pi_2 \quad (2)$$

O fluxo de água através da membrana J_w ($m \cdot s^{-1}$) pode ser descrito pela equação a seguir, sabendo-se que a força motriz da osmose é o gradiente de potencial químico da água através da membrana, onde num sistema isotérmico, pode ser expresso como a diferença na pressão osmótica das soluções concentradas e diluídas (RAMON et al., 2011).

$$J_w = A(\Delta\pi - \Delta P) \quad (3)$$

Onde A é o coeficiente de permeabilidade da membrana a água ($m \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$), ΔP é o diferencial de pressão hidrostática (Pa), através da membrana. A energia em um processo PRO é análoga à energia hidrelétrica e é o produto da vazão aumentada e da queda de pressão através de uma turbina hidráulica e a densidade de potência - W ($W \cdot m^{-2}$) ou potência pela área para um processo PRO pode ser obtida conforme a equação 4.

$$W = J_w \Delta P = A(\Delta\pi - \Delta P) \Delta P \quad (4)$$

Ao derivar a equação anterior em ordem de ΔP , conclui-se que W atinge o seu máximo (W_{max}) quando $\Delta P = \Delta\pi/2$. Substituindo o valor na equação 4, obtém-se:

$$W_{max} = A \frac{(\Delta\pi)^2}{4} \quad (5)$$

A permeabilidade da membrana tem influência direta na eficiência do processo, uma vez que uma membrana de baixa permeabilidade tornaria a conversão ineficiente, mesmo com um gradiente de salinidade alto. Outras perdas podem influenciar na eficiência do processo, como a eficiência da turbina, os requisitos de potência de bombeamento, além disso, a variação axial das concentrações e pressões em ambos os lados da membrana resultam em uma força motriz reduzida (RAMON et al., 2011).

Diversos estudos foram realizados acerca do sistema PRO para geração de energia e mostram que, por exemplo, cada metro cúbico de água salgada (salinidade de 3,5%) tem, em teoria, 0,7 kWh/m³ de energia (SHARIF et al., 2014).

3.2 Eletrodiálise Reversa (Reverse electrodialysis - RED)

A eletrodiálise reversa (RED) é uma tecnologia potencialmente disponível para a coleta de energia a partir do gradiente de salinidade. É capaz de converter energia livre gerada em energia elétrica. Na eletrodiálise, é estabelecido um potencial elétrico entre a placa catódica e anódica. Esse potencial provoca a separação dos sais contidos nas soluções entre cátodos e ânodos. Quando soluções com eletrólitos são bombeadas por entre as membranas, íons positivos são forçados a migrar na direção do cátodo e íons negativos são forçados a migrar na direção do ânodo.

Uma unidade comercial de eletrodiálise contém entre 200 a 1000 membranas separadoras de elétrons empilhadas alternadamente e em arranjo paralelo (JUCÁ, 2004). Entre essas membranas existe um separador, que é o caminho por onde a água irá passar. Ao final desse empilhamento de membranas, estão as placas catódicas e anódicas.

A energia necessária na eletrodiálise é definida como a soma da energia elétrica necessária para conduzir a migração iônica e a energia para o bombeamento de soluções (ESCOBAR e SCHAFER, 2010). As membranas utilizadas na separação são produzidas com tratamentos químicos em materiais poliméricos como o polietileno, sendo que o principal motivo que leva ao uso cada vez maior da eletrodiálise, em nível mundial, é o desenvolvimento alcançado na fabricação das mesmas, pois trabalham com vida útil, capacidade de separação e consumo de corrente elétrica (JUCÁ, 2004).

Neste processo, a quantidade utilizada de energia é proporcional à quantidade de sal removido. Logo, percebe-se que existe um limite economicamente viável para a utilização da técnica. Para Rocetto (2012), os grupos iônicos fixados na matriz excluem outros íons com a

mesma carga, repelindo assim íons semelhantes e permitindo o transporte de íons com carga oposta, como representado na Figura 4.

Pattle et al. nos anos de 1950 foram os primeiros a escrever sobre a grande perda energética que ocorre no encontro das águas dos rios com as águas dos oceanos. Ele propôs processos de eletrodialise, como mostrado na Figura 5. Devido à diferença de concentrações entre as soluções, um potencial eletroquímico é gerado. Um grupo redox é formado (Fe^{2+}/Fe^{3+}), os quais circulam nos compartimentos do eletrodo, sendo empregado para transportar a corrente para o circuito externo (SCIALDONE et al., 2012).

A Tabela 1 apresentada por Post (2008), mostra os avanços temporais relativos à densidade de potência. Os valores de densidade para os dois últimos estudos são previsões que resultaram de novas modelagens, e novas membranas, mas que dependem de condições e materiais de teste específicos a serem executadas.

Para a eletrodialise reversa, o valor do potencial teórico da membrana para um eletrólito monovalente (NaCl, por exemplo), pode ser calculado pela equação de Nerst:

$$\Delta V_{theo} = \frac{2\alpha_{av}RT}{zF} \ln \frac{ac}{ad} \quad (6)$$

Onde: ΔV_{theo} : potencial teórico da membrana, $2\alpha_{av}$ é a média de seletividade da membrana para mudanças de ânion e cátion no par de membranas (V), R é a constante dos gases (8,314J)/mol.K, T é a temperatura absoluta (K), z é a valência eletroquímica, F é a constante de Faraday (96485 C/mol), ac é a quantidade de solução concentrada (mol/L) e ad é a quantidade da solução diluída (mol/L). O potencial geral do sistema com N pares de membranas é a soma de diferentes pares de membranas.

$$V_0 = N\Delta V_{theo} \quad (7)$$

A resistência da pilha pode ser definida como a soma das resistências de cada componente individual e apresentado na equação abaixo.

$$R_{stack} = \frac{N}{A} \left(R_{aem} + R_{cem} + \frac{dc}{Kc} + \frac{dd}{kd} \right) + R_{el} \quad (8)$$

Onde N é o número de pares da membrana, A é a área efetiva da membrana (m^2), R_{aem} é a resistência de membranas a permuta aniônica (Ωm^2), R_{cem} é a resistência da membrana a permuta catiônica (Ωm^2), dc é a espessura do compartimento concentrado (m), dd é a espessura do compartimento diluído (m), Kc é a condutividade do compartimento concentrado (S/m), Kd é a condutividade do compartimento diluído (S/m) e Rel é a resistência do eletrodo (Ω).

Para a verificação da potência final de saída da pilha, aplica-se a lei de Kirchhoffd como definido na equação 9.

$$W = I^2 R_{load} = \frac{(V^0) R_{load}}{(R_{stack} + R_{load})^2} \quad (9)$$

Onde I é a corrente e R_{load} a resistência da carga (Ω). Para gerar a máxima potência (W_{max}), R_{load} precisa ser igual a R_{stack} . Logo, temos:

$$W_{max} = \frac{(V^0)^2}{4R_{stack}} \quad (10)$$

Finalmente tem-se a equação que apresenta a máxima potência da pilha Red e a contribuição individual de cada componente, como apresentado na equação 11.

$$W_{max} = NA \frac{\left(\alpha \frac{avRT}{zF}\right) \ln\left(\frac{ac}{ad}\right)^2}{\left(Raem + Rcem + \left(\frac{dc}{kc}\right) + \left(\frac{dd}{kd}\right)\right) + Rel} \quad (11)$$

Nos últimos anos se tem visto expressivos avanços para aumentar a densidade energética e a eficiência energética, melhorando os materiais, espaçamentos e arquitetura.

O consumo de energia em ED é diretamente proporcional à quantidade dessalinizada, obtendo um custo operacional mais alto para dessalinização completa de águas de alta salinidade (ZHU, 2013). Por isso tem se utilizado sistemas híbridos de eletrodialise reversa e osmose reversa que reduzem o consumo exacerbado de energia no processo.

Para uma comparação do consumo total de energia entre um ED ou RED e um sistema híbrido RED/ED, é realizada uma aproximação onde o consumo de energia é principalmente confiável sobre a energia necessária para a migração de sal em ED (ZHU, 2013).

Portanto, para avaliação do consumo total de energia nesses sistemas pode ser feita a uma comparação da quantidade de migração de sal em ED. A figura 6 apresenta a comparação entre o sistema RED e ED, no sistema híbrido RED/ED. Os blocos com letras maiúsculas S, W e F representam o sal, as águas residuárias sem sal e água doce, respectivamente. As letras minúsculas n, x e y no bloco com S significam a quantidade de sal. Em conjunto, o sistema híbrido RED/ED, pode consumir menos energia eléctrica do que o sistema ED independente e obter maior taxa de remoção de sal do que o sistema RED independente.

3.3 Capacitor elétrico de dupla camada

Extração de energia capacitiva é um novo método para converter a energia livre liberada a partir da mistura de água doce e salgada para geração de eletricidade (JIA et al., 2014). Esta técnica é baseada na tecnologia de capacitores eletrônicos de dupla camada (EDL). EDL é descrita pela por Gouy-Chapman-Stern atualmente, como o modelo de distribuição de íons, com a soma de eletrodos difusos e eletrodos absorvidos. No EDL difuso mudanças de íons buscam o equilíbrio entre a difusão e a tendência é equalizar a concentração de íons e a força

eletrostática que tende a aumentar o desequilíbrio da carga próximo a superfície. A relação entre a densidade de carga superficial e a diferença de potencial entre o eletrodo e a solução é a seguinte:

$$\varphi = \frac{2KbT}{e} \sinh^{-1} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{8CN_A \epsilon_0 \epsilon_r K b T}} \right) \quad (12)$$

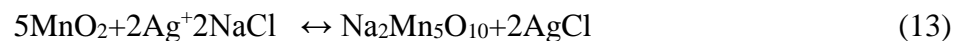
Onde K_B é a constante de Boltzman, T é a temperatura, e é a carga do elétron, N_A é a constante de Avogadro, ϵ_0 é a constante elétrica e ϵ_r é a constante dielétrica e C é a concentração eletrolítica. A equação é válida para sistemas monovalentes, como NaCl.

A Figura 7 mostra as fases que se procedem em um capacitor EDL, proposto por Brogioli et al. (2011). A célula contém dois eletrodos que ficam em contato com a solução. Os dois reservatórios de água possuem concentrações diferentes de NaCl para representar água doce e salgada e são conectados às células por bombas. Na fase A as células são preenchidas com água salgada, e o capacitor é carregado. Seguidamente, na fase B, o circuito é aberto e a célula é preenchida por água doce, onde ocorre o aumento da tensão. Na fase C, o capacitor é descarregado e ocorre uma queda da tensão, devido à resistência interna do capacitor. Na fase D o circuito é aberto e os eletrodos estarão em contato com água salgada, e a tensão irá reduzir. As pesquisas são ainda em escala laboratorial, e requer mais desenvolvimento para aplicação da tecnologia. A Figura 8 mostra o fluxo das células para a obtenção de energia.

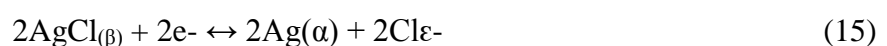
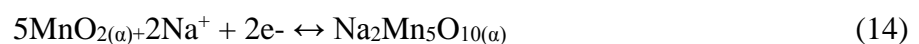
3.4 Pseudocapacitor

O pseudocapacitor é baseado no armazenamento de carga apresentado por Faraday. É constituído por um par de sistemas eletroquímicos reversíveis onde os sais no eletrólito e os eletrodos são os reagentes. Em seguida, os íons são armazenados nos eletrodos. Em comparação com os capacitores EDL, o pseudocapacitor tem uma maior densidade de energia e uma estrutura simples.

Neste caso, para obtenção da energia livre na água com salinidade, o pseudocapacitor é construído segundo as reações a seguir.



Dois eletrodos são utilizados, um eletrodo aniônico de prata que interage com Cl^- e um eletrodo catiônico, MnO_2 que interage com Na^+ . Neste sistema eletroquímico duas reações importantes ocorrem:



Como mostrado na Figura 9, são carregadas as soluções de baixa força iônica removendo Na^+ e Cl^- a partir dos eletrodos iniciais na fase 1. Sucessivamente, eletrodos de baixa força iônica são modificados e concentrados no eletrodo concentrado (água dos oceanos), sendo acompanhado por uma abertura no potencial das células, chamada de fase 2. A partir do alto potencial, o pseudocapacitor de salinidade é descarregado, ânions e cátions são incorporados novamente no eletrodo (Fase 3). A solução de alta força iônica é removida e substituída pelo eletrólito diluído (água dos rios), resultando na diminuição do potencial entre os eletrodos (Fase 4). A troca de solução pode ser realizada por um fluxo processo, que poderia ser atraente para a extração de grande escala de energia.

O pseudocapacitor é também uma tecnologia promissora cuja aplicação prática pode ser uma contribuição significativa para domínio da produção de energia renovável. Neste processo de geração a energia elétrica e a água são recuperadas e exploradas no método de dessalinização da água (JIA et al., 2014).

Alguns organismos na natureza tem a capacidade natural de converter a energia da salinidade em bioeletricidade. Um exemplo é a enguia elétrica, que gera choques elétricos consideráveis através de canais iônicos seletivos e devido sua membrana celular (XU e LAVAN, 2008). Existem ainda os nano-fluidos abióticos que convertem eficientemente a energia livre de Gibbs na forma de gradiente de salinidade em eletricidade (JIA et al., 2014).

4. Conclusões

O gradiente de salinidade constitui-se uma importante forma de geração de eletricidade que busca atender à crescente demanda de energia. Além de gerar eletricidade, ainda pode ser feita a limpeza e dessalinização da água, portanto é uma importante tecnologia.

Novos conceitos e tecnologias precisam ser aprofundados, buscando membranas mais desenvolvidas e a um custo mais acessível. O resultado final da utilização desta tecnologia é o surgimento de fluxos com alto grau de salinidade que se alternam a fluxos sem ou baixa salinidade. Gerando assim um produto, que pode ser utilizado para consumo humano e uma solução mais concentrada de sais pode ser utilizada de diversas formas, como irrigação de plantas, criação de peixes, extração do sal para alimentação, entre outros. Portanto, possui benefícios sociais, além de ser uma fonte de energia limpa e renovável.

Ainda é uma área com grande potencial a ser desenvolvido, necessitando de mais investimentos no setor para maiores aplicações comerciais e aumento da eficiência do sistema.

Reiterando ainda que a água é um recurso ideal e necessário para o desenvolvimento sustentável da humanidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI-GARRAVAND, E., MULLIGAN, C. M., LAFLAMME, C. B. Role of two different pretreatment methods in osmotic power (salinity gradient energy) generation. *Renewable Energy*, v. 96, p. 98-119. 2016.

ANISSIMOV, Y. G. Aspects of mathematical modelling of pressure retarded osmosis. *Membranes*, v. 6, n. 1, p. 13. 2016.

BROGIOLI, D., ZHAO, R., BIESHEUVEL, P. M. A prototype cell for extracting energy from a water salinity difference by means of double layer expansion in nanoporous carbon electrodes. *Energy & Environmental Science*, v. 4, n.3, p. 772-777. 2011.

CLAMPITT, B.H., KIVIAT, F.E. Energy recovery from saline water by means of electrochemical cells. *Science*, v. 194, n. 4266, p. 719-720. 1979.

CRUZ, J. M. B. P. e SARMENTO, A. J. N. A. Energia das ondas – Introdução aos aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais. MARETEC. Instituto Superior Técnico, Wave Energy Centre. Instituto do Ambiente. 2004.

ELLABBAN, O., ABU-RUB, H., BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 748-764. 2014.

ESCOBAR, I.C., SCHAFER, A. I. Sustainable Water for the Future, Water Recycling Versus Desalination, Elsevier Inc., v.2, Singapore. 2010.

HERRING. Energy Technology Division 2016. Disponível em: <<https://www.electrochem.org/what-is-blue-energy/>>. Acesso em: outubro de 2018.

IEA International Energy Agency. Energy efficiency statistics. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/efficiency/>>. Acesso em: abril de 2019

JIA, Z, WANG, B., SONG, S., FAN, Y. Blue energy: Current Technologies for sustainable power generation from water salinity gradient. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 31, p 91-100. 2014.

JUCÁ, S. C. S. Comparação de métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos: Aplicação a uma unidade de eletrodialise. Dissertação de Mestrado, FCCT-DEE. 2004.

KIM, J, JEONG, K., JUN PARK, M., SHON, H. K., KIM, J. H. Recent advances in osmotic energy generation via pressure-retarded osmosis (PRO): a review. *Energies*, v. 8, n. 10, p. 11821-11845. 2015.

LOGAN, B. E., ELIMELECH, M. Membrane-based processes for sustainable power generation using water. *Nature*, v. 488, p. 313-319. 2012.

MARTINS, L. F. M. S. Estudo experimental de sistemas de produção de energia elétrica baseados no uso do gradiente de salinidade. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Gestão de Energia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2014.

PATTLE, R. E. Production of electric power by mixing fresh and salt water in the hydroelectric pile. *Nature*. 1954

PLAZA, R. M. A blue energy option for the Mekong River Basin. An international law analysis on Asian regional cooperation in pioneer osmotic power projects. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 25, p. 75-98. 2018.

POST, J. W., HAMELERS, H. V. M., BUISMAN, C. J. N. Energy recovery for controlled mixing salt and freshwater with a reverseelectro-dialysis system. *Environ Sci Technol*, v. 42, n. 15, p. 5785-5790. 2008.

RAMON, G. Z., FEINBERG, B. J., HOEK, E. M. V. Membrane-based production of salinity-gradient power. *Energy & Environmental Science*, v. 4, p. 4423-4434. 2011.

ROCETTO, L. B., DENIS, W. S., GOWER, A. E., ZENI, M. Preparação e caracterização de membranas íons – seletivas aniônicas e catiônicas de TPU para separação de cloreto de potássio por eletrodialise (ED). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 13, n. 6, p. 307-313. 2012.

RODRIGUES, M. A. Eletrodialise Aplicada ao Tratamento de Efluentes (2012). <<https://www.ufrgs.br/cyted-recmet/wordpress/Guanajuato2012/Marco.pdf>> Acesso em: outubro de 2018.

SCIALDONE, O., GUARISCO, C., GRISPO, S., D'ANGELO, A., GALIA, A. Investigation of electrode material-redox couple stems for reverse electro dialysis processes: Part I: iron redox couples. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 681, n. 1, p. 66-75. 2012.

SHARIF, A. O., MERDAW, A. A., ARYAFAR, M., Nicoll, P. Theoretical and experimental investigations of the potential of osmotic energy for power production. *Membranes*, v. 4, n. 3, p. 447-468. 2014.

SILVA, J. C. Desenvolvimento de membranas de osmose para geração de energia. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Química) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2015.

WANG, Q., GAO, X., ZHANG, Y., HE, Z., JI, Z., WANG, X. GAO, Z. Hybrid RED/ED system: Simultaneous osmotic energy recovery and desalination of high-salinity wastewater. *Desalination*, v. 405, p. 59-67. 2017.

WEC - WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Resources Summary. 2016.

XU, J., LAVAN D. A. Designing artificial cells to harness the biological ion concentration gradient. *Nature nanotechnology*, v. 3, p. 666-670. 2008. ZHU, L. Membrane Science and Technology, Higher Education Press, Beijing, 2013.

5. ANEXOS

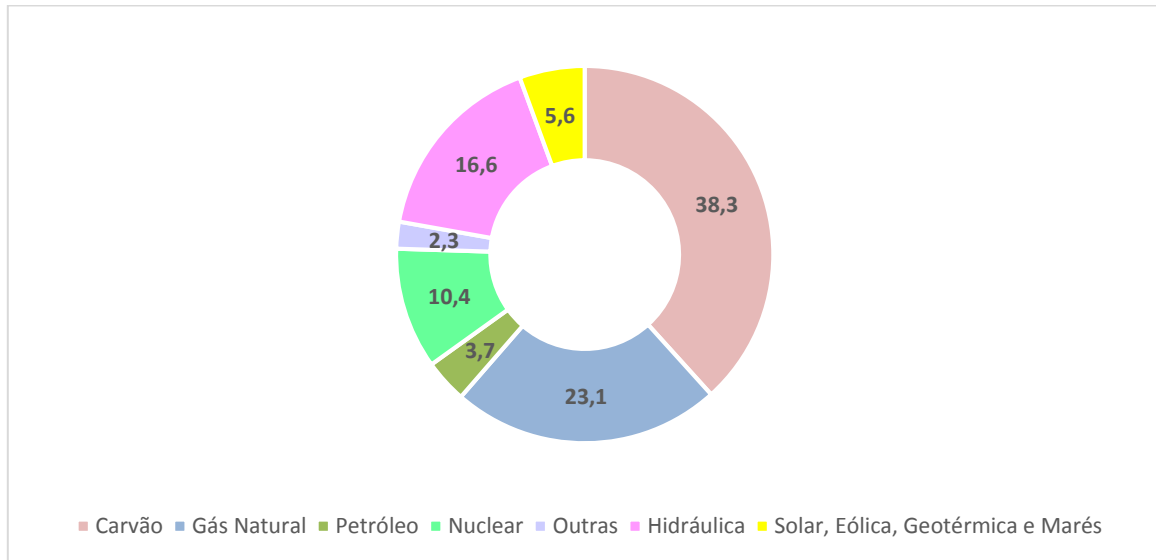


Figura 1 – Produção mundial de eletricidade por fonte (2016). Fonte: IEA, 2019
Figure 1 – World Electricity Production by Source (2016). Source: IEA, 2019

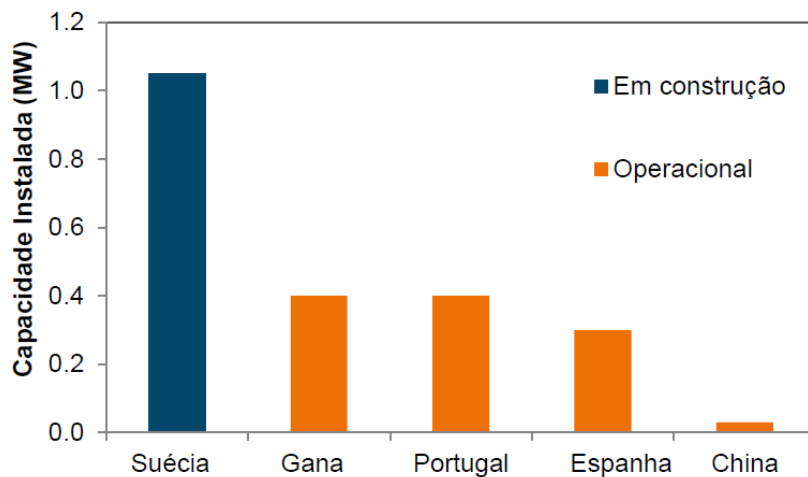


Figura 2 – Capacidade instalada para energia oceânica. Fonte: WEC, 2016
Figure 2 – Installed capacity for ocean energy. Source: WEC, 2016

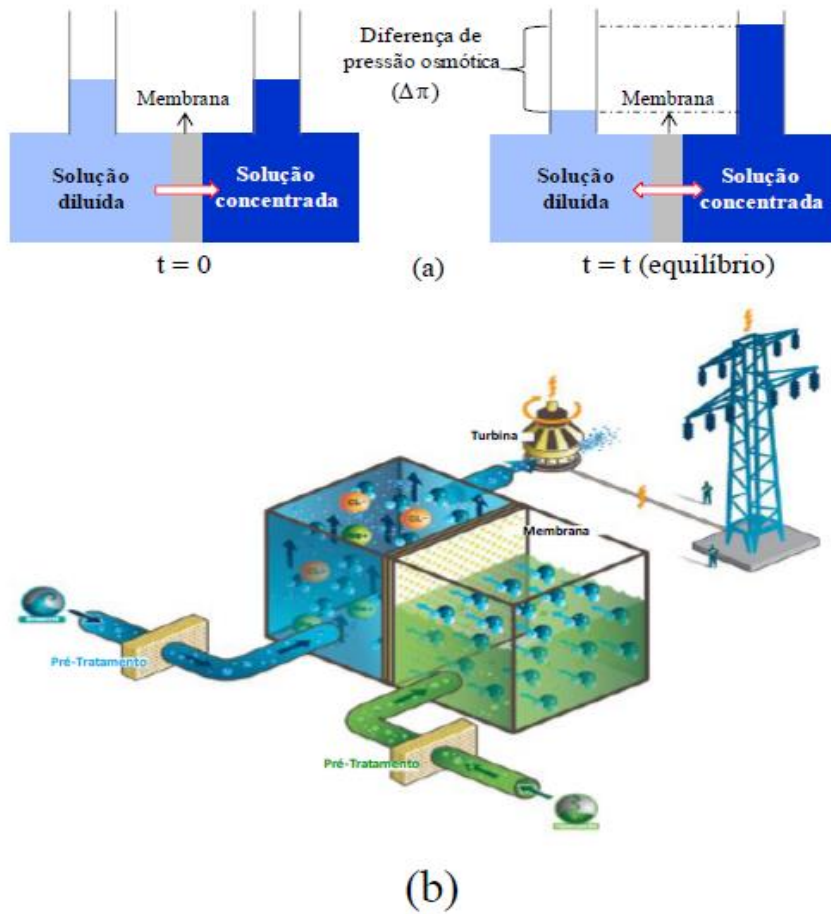


Figura 3 – Processo de osmose: (a) natural e (b) para geração de energia. Fonte: Silva, 2015
 Figure 3 – Osmosis process: (a) natural and (b) for power generation. Source: Silva, 2015

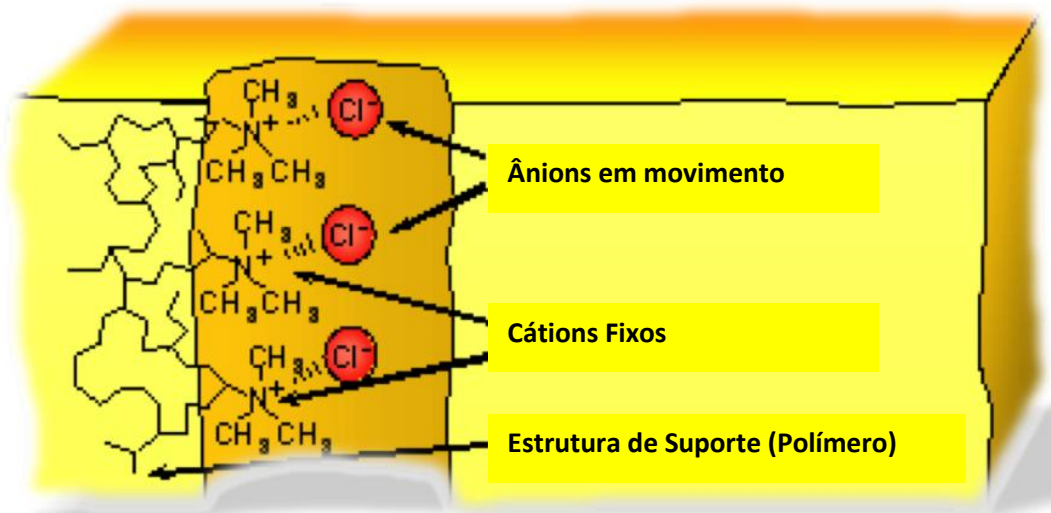


Figura 4 – Transporte de íons atravessando a membrana aniônica. Fonte: Rodrigues, 2012
 Figure 4 – Transport of ions across the anionic membrane. Source: Rodrigues, 2012

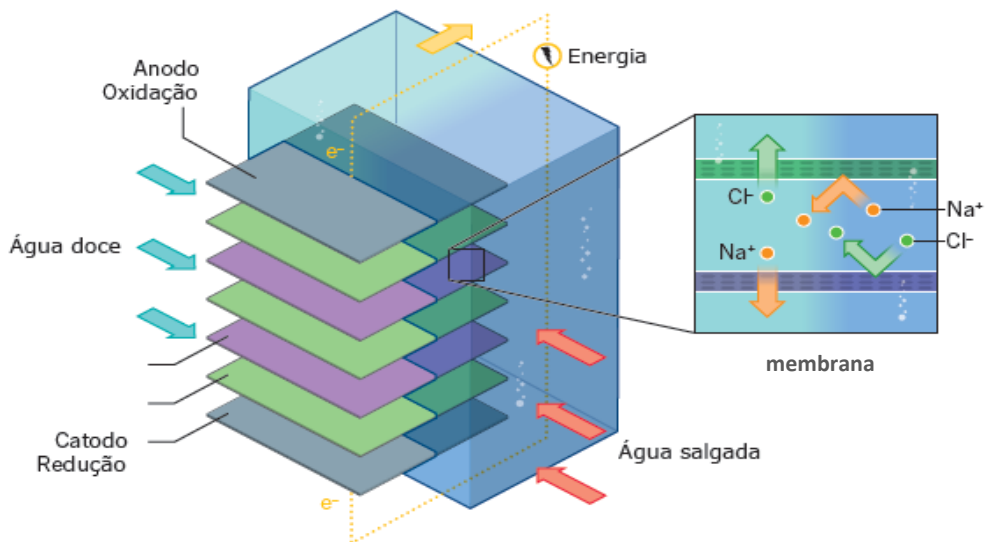


Figura 5 – Trabalho principal do sistema RED. Fonte: Logan e Elimelech, 2012
 Figure 5 – Main work of the RED system. Source: Logan e Elimelech, 2012

Tabela 1 – Resultados de Densidade de Potência.
 Table 1 – Power Density Results.

| Pesquisador | Ano | Densidade de Potencia (W/m ²) | Espaçador (mm) |
|-------------------|------|-------------------------------------------|----------------|
| Pattle | 1954 | 0,05 | 0,7 |
| Weinstein e Leitz | 1976 | 0,17 | 1,00 |
| Jagur et al | 1986 | 0,41 | 0,55 |
| Turek | 2007 | 0,46 | 0,19 |
| Suda | 2007 | 0,26 | 1,0 |
| Veerman et al | 2009 | 1,18 | 0,2 |
| Gilstrap | 2013 | >1,2 | 0,5 |
| Sang Woo Lee | 2016 | >1,2 | não informado |

Fonte: POST, 2008.
 Source: POST, 2008.

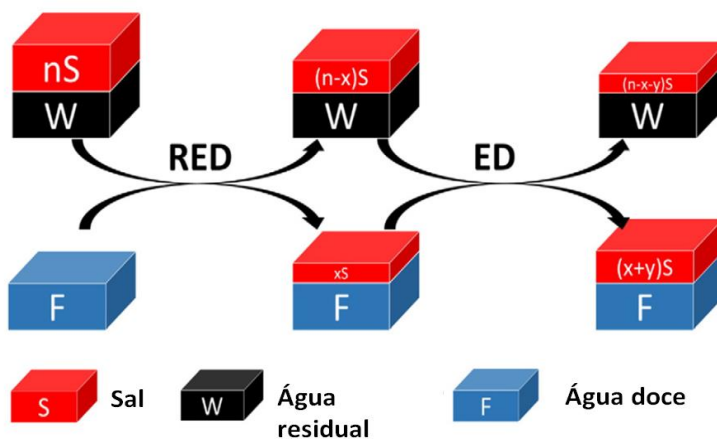


Figura 6 – Uma comparação esquemática entre o sistema RED ou ED e o sistema híbrido RED/ED. Fonte: Wang et al., 2017
 Figure 6 – A schematic comparison between the RED or ED system and the RED / ED hybrid system. Source: Wang et al., 2017

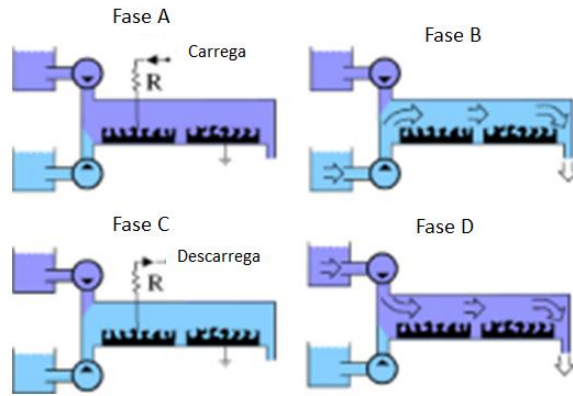


Figura 7 – Ciclo de extração de energia por EDL. Fonte: Jia et al., 2014
 Figure 7 – Energy extraction cycle by EDL. Source: Jia et al., 2014

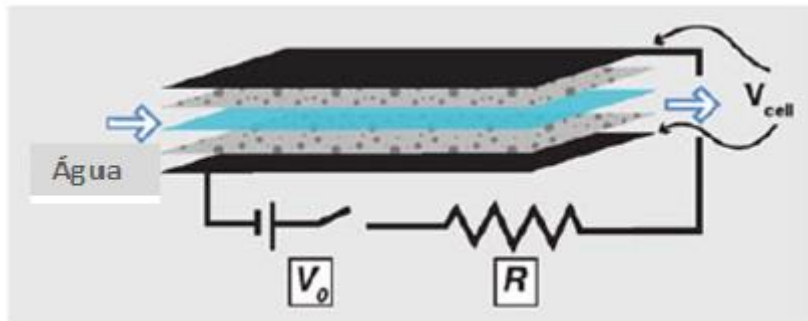


Figura 8 – Esquema do fluxo das células para extração de energia capacitiva a partir do fluxo sequencial de água salgada e água doce, e o necessário circuito elétrico. Fonte: Brogioli et al., 2011
 Figure 8 – Scheme of the flow of cells for the extraction of capacitive energy from the sequential flow of salt water and fresh water, and the necessary electric circuit. Source: Brogioli et al., 2011

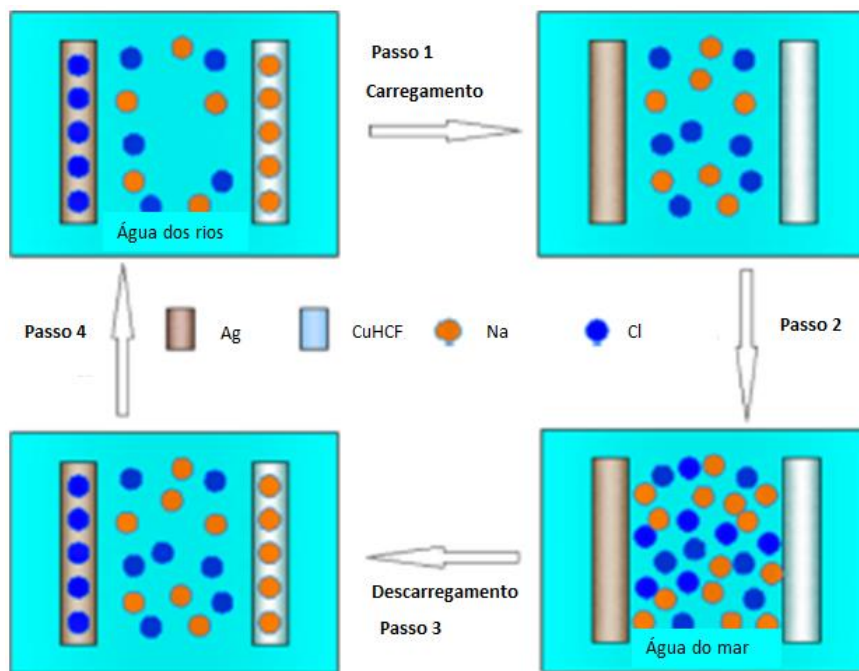


Figura 9 – Representação do pseudocapacitor. Fonte: Jia et al., 2014
 Figure 9 – Representation of the pseudocapacitor. Source: Jia et al., 2014