



**INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

BIANCA BAUMGART

**ESTUDO DO ESTADO-DA-
ARTE DA UTILIZAÇÃO DE
ALGAS E MICROALGAS PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA
BIOFOTOVOLTAICA**

Florianópolis—SC

2018

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BIANCA BAUMGART

**ESTUDO DO ESTADO-DA-ARTE DA UTILIZAÇÃO DE ALGAS E
MICROALGAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA BIOFOTOVOLTAICA**

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 2018.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BIANCA BAUMGART

**ESTUDO DO ESTADO-DA-ARTE DA UTILIZAÇÃO DE ALGAS E
MICROALGAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA BIOFOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro(a)
Eletricista.

Professor Orientador: Everthon Taghori
Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 2018.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Baumgart, Bianca

Estudo do estado-da-arte da utilização de algas e microalgas para geração de energia Biofotovoltaica / Bianca Baumgart ; orientação de Everthon Sica. - Florianópolis, SC, 2018.

41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Biofotovoltaica. 2. Algas. 3. Geração de energia.
4. Microalgas. I. Sica, Everthon. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
III. Título.

**ESTUDO DO ESTADO-DA-ARTE DA UTILIZAÇÃO DE ALGAS E MICROALGAS
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA BIOFOTOVOLTAICA**

BIANCA BAUMGART

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 4 de julho, 2018.

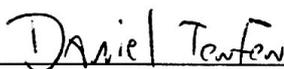
Banca Examinadora:



Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.



Edison A. C. Aranha Neto, Dr. Eng.



Daniel Tenfen, Dr. Eng

RESUMO

O trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre o estado-da-arte da geração de energia elétrica de forma direta com o uso de algas e microalgas. Apresentando conceitos sobre geração distribuída, biomassa e os seus correspondentes papéis na matriz energética brasileira. É apresentado a correlação das tecnologias existentes com a utilização atual das algas como biomassa e em um sistema biofotovoltaico, sendo analisado como estes podem evoluir para a inclusão na geração distribuída. Apesar do crescimento excepcional na extração de energia utilizando algas, a tecnologia ainda é muito nova e pouco explorada, sendo necessários mais investimentos em pesquisas na área para a evolução de um sistema aplicado para geração de energia.

Palavras-chave: Biofotovoltaica. Algas. Geração de energia. Microalgas

ABSTRACT

The work consists of a bibliographic review on the state of the art of electric power generation directly with the use of algae and microalgae. Presenting concepts about distributed generation and biomass and their corresponding roles in the Brazilian energy matrix. Presenting the correlation of existing technologies with the current use of algae as biomass and in a bio-photovoltaic system. Analyzing how these can evolve into inclusion in distributed generation. Despite the exceptional growth in energy extraction using algae, the technology is still very new and little explored, requiring more investments in research in the area for the evolution of a system applied for power generation.

Keywords: Biophotovoltaic. Algae, Energy generation. Microalgae

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	13
Figura 2 - Fontes de biomassa.....	17
Figura 3 - Representação simplificada das principais formas de aproveitamento energético de biomassa.....	18
Figura 4- Curvas de polarização e de potencia da célula Biofotovoltaica com um anodo e um catodo de carbono	27
Figura 5 - Curvas de polarização e de potencia da célula biofotovoltaica com dois anodos de carbono e um catodo de aço inox	28
Figura 6 - Curvas de polarização e de potencia da célula biofotovoltaica com um anodo de aço inox	28
Figura 7 - Representação esquemática do bioeletrodo impresso digitalmente.	29
Figura 8 - Representação esquemática da seção transversal da célula biofotovoltaica que apresenta os fluxos de elétrons, prótons e oxigênio	30
Figura 9 - Comparação direta de saídas de potência de pico para materiais anódicos baseados em ITO e RGO.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	8
1.2	JUSTIFICATIVA	8
1.3	OBJETIVO GERAL	9
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5	METODOLOGIA	9
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	9
2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	11
2.1	INTRODUÇÃO	11
2.2	FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	12
2.3	CONCLUSÃO	15
3	BIOMASSA	17
3.1	QUEIMA DIRETA.....	19
3.2	BIOCOMBUSTÍVEL	19
3.3	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
3.4	CANA-DE-AÇUCAR.....	22
3.5	ALGAS E MICROALGAS	22
3.6	CONCLUSÃO	23
4	BIOFOTOVOLTAICA	25
4.1	PROCESSO DE FOTOSÍNTESE.....	25
4.2	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA	25
4.3	APROVEITAMENTO E APLICAÇÕES BIOFOTOVOLTAICAS	26
4.4	CONCLUSÃO	34
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por energia aumentou rapidamente com o crescimento populacional, aumento do consumo e da produção econômica, assim, acarretando a necessidade do aumento da produção de energia. Porém, existe o impasse do uso de fontes convencionais de energia, como a queima de combustíveis fósseis, este impasse é dado tanto pelo impacto ambiental da queima quanto pela disponibilidade finita do combustível. Como consequência, há um interesse crescente no desenvolvimento de fontes alternativas de energia como, energia solar, energia eólica, energia das ondas, energia geotérmica, termoelétricas à biomassa, entre outras. Em particular, as tecnologias por à energia solar apresentam uma fonte de energia pela qual a energia da luz solar é explorada como uma fonte limpa e sustentável de energia.

A energia da luz pode ser potencialmente aproveitada pela fotossíntese, pois apresenta uma rota eficiente e sustentável para a captação de energia solar. Estudos têm relatado o uso de espécies fotossintéticas que podem ser utilizadas para produzir combustíveis sustentáveis e insumos químicos. Dentre estes organismos estão as algas que são organismos fotossintéticos que aproveitam com sucesso a energia solar e a convertem em energia química por meio da fotossíntese, possuindo rápidas taxas de crescimento e tolerância a ambientes extremos.

Estima-se que a produtividade de biomassa das microalgas seja 50 vezes maior do que a grama terrestre, que é a planta terrestre de crescimento mais rápido e, portanto, as microalgas estão sendo investigadas como matéria-prima para produção de biodiesel, bioetanol, biohidrogênio e bioeletricidade. Além disso, estudos recentes relataram o uso de microalgas em células de combustível, dando origem a uma nova gama de sistemas baseados em biofotovoltaicos (ANDERSON, *et al.*, 2016).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Como citado anteriormente, a demanda de energia aumenta a cada ano, ocasionado pelo crescimento populacional, e conseqüentemente do consumo. Tendo que, por conseqüência aumentar a produção de energia. Porém, tem-se o impasse do uso de fontes convencionais de energia, como por exemplo, a grande utilização dos combustíveis fósseis que são altamente nocivos ao meio ambiente além de serem relativamente escassos já que não são renováveis. Outro exemplo são as usinas Hidroelétricas, que são a principal fonte de energia elétrica no Brasil, apesar de ser considerada uma energia limpa e renovável a implantação de novas usinas possuem algumas limitações como as restrições operativas e do binômio solo-água no entorno das bacias hidrográficas e restrições ambientais ligadas a formação de novos lagos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para conter os problemas futuros com escassez de energia precisam-se encontrar novas fontes de geração energia, e pesquisar melhorias tecnológicas para as fontes já existentes. Uma tecnologia pouco conhecida e pouco explorada é a biomassa de algas, utilizada para biocombustíveis e a biofotovoltaica, que é a conversão direta da energia das algas em energia elétrica.

Ao se estudar a energia proveniente de algas e microalgas, se tem a mitigação de outro problema além da escassez de energia elétrica, a utilização das algas provenientes de regiões eutrofizadas, ou seja, podem-se utilizar as algas de lagos das usinas hidrelétricas para gerarem energia e ainda diminuir o impacto ambiental das hidrelétricas.

Um incentivo para o estudo da biofotovoltaica é a Lei Nº 10.438 de abril de 2002 que institui o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que discorre sobre as regulamentações e incentiva a implementação de fontes alternativas no setor elétrico Brasileiro. (Brasil, 2002)

1.3 OBJETIVO GERAL

Apresentar o estado-da-arte, estudar e averiguar a utilização de algas e microalgas para a geração de energia elétrica a partir de células biofotovoltaicas.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a geração distribuída no Brasil;
- b) Descrever a utilização da biomassa para geração de energia elétrica;
- c) Apresentar as tecnologias existentes para a fabricação de células biofotovoltaicas.

1.5 METODOLOGIA

Este trabalho consiste na revisão bibliográfica sobre geração distribuída, biomassa e biofotovoltaica que foi desenvolvida a partir de materiais publicadas em livros, artigos, dissertações e teses, e é feita fundamentada em uma pesquisa descritiva. O objetivo da revisão bibliográfica é mostrar um acervo do que já foi publicado sobre o assunto trabalhado.

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc (MARCONI; LAKATOS, 2003).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo (i) a introdução, com a definição do problema, justificativa e os objetivos, (ii) revisão bibliográfica sobre geração distribuída, (iii) descrição da biomassa na geração de energia elétrica, (iv) como funciona a geração biofotovoltaica e (v) a conclusão do trabalho.

2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

2.1 INTRODUÇÃO

A geração distribuída (GD) pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada à rede de distribuição ou localizada no diretamente consumidor. No Brasil, a normatização de GD é feita a partir do Artigo 14º do Decreto Lei nº 5.163/2004.

[...] considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei no 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004 (BRASIL, 2004).

O Módulo 1 do PRODIST (ANEEL, 2016) atribui à GD a minigeração distribuída e a microgeração distribuída, diferenciando-as da seguinte forma: microgeração possui potência instalada menor ou igual a 75 kW e a minigeração com potência superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou a 5 MW para demais fontes.

A ANEEL regulamenta e normatiza a geração distribuída, definindo as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Essas condições estão na Resolução Normativa nº482, de 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012).

Segundo Reis (2011), a GD é caracterizada pela proximidade com o cliente final, ou seja, conectada diretamente ao sistema de distribuição, sendo qualquer forma de geração de energia elétrica, porém normalmente qualificada por gerações de pequeno porte. Reis (2011) também cita algumas características atrativas para GD, entre elas estão o aumento da diversidade das fontes utilizadas no sistema com redução dos riscos e o aumento do uso de fontes renováveis, sendo assim, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2018), GD é uma expressão adotada para designar a geração elétrica feita próxima do

consumidor independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Dentro das formas de GD se inclui: co-geradores, geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, geradores de emergência, geradores para operação em horário de ponta, mini e micro geração por painéis fotovoltaicos, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e outras fontes de renováveis de geração.

Também, segundo, o INEE (2018) os principais benefícios do uso da GD sobre a geração central é a possibilidade de protelar os investimentos em transmissão assim gerando uma economia, além de diminuir as perdas neste setor, favorecendo a estabilidade do serviço de energia elétrica, ou seja, com a GD é provável obter maior eficiência energética. Outros benefícios que podem ser citados são os baixos impactos ao meio ambiente, a diversificação da matriz energética nacional e a melhoria do nível de tensão da rede. Já o principal problema que podem ser citado pelo uso das GD's é o aumento da complexidade operativa do sistema e o custo para algumas fontes.

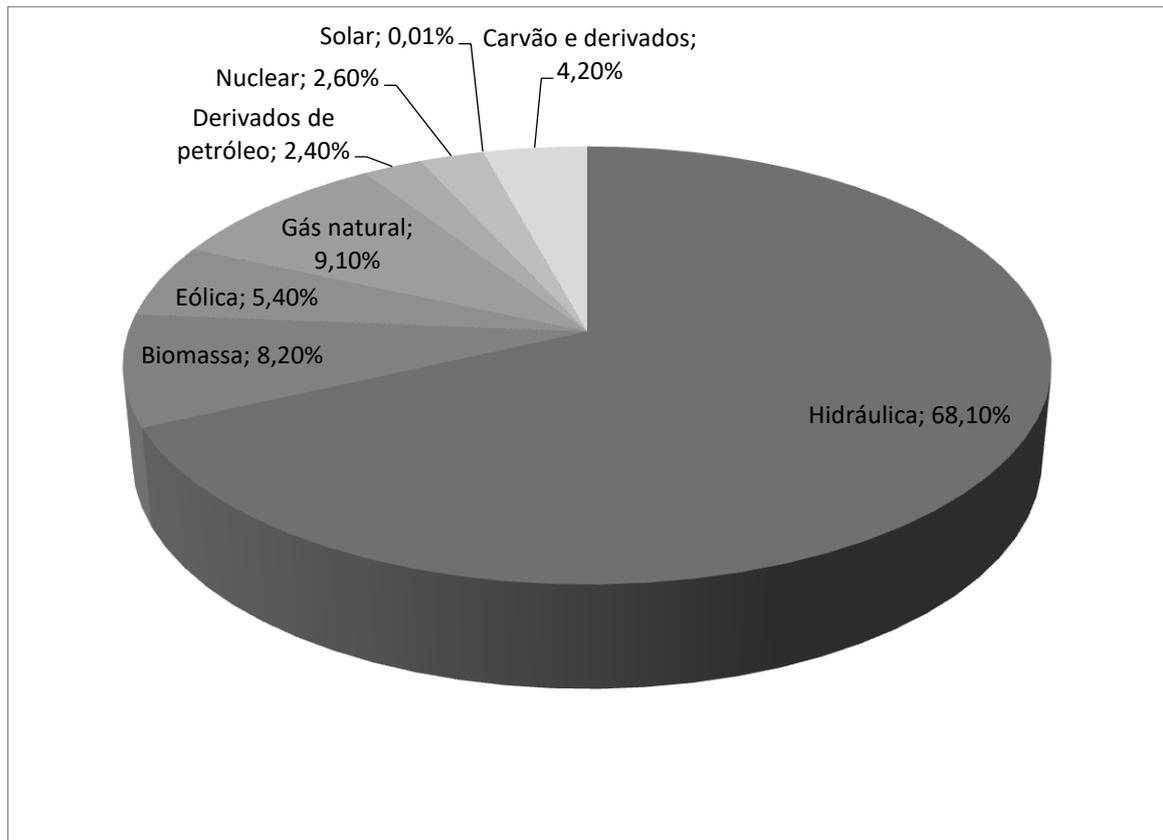
2.2 FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para entender melhor a GD é necessária uma compreensão dos tipos de geração de energia que são comumente utilizadas e a suas influencias na matriz energética brasileira.

O Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2017, referente aos dados de 2016, o qual detém o papel de contabilizar a oferta e demanda de energia elétrica no Brasil, consequência de grandes pesquisas na área. O BEN consiste em uma base de dados para os estudos associados ao planejamento energético nacional (EPE, 2016).

A Figura 1 apresenta um gráfico contendo a subdivisão da oferta interna de energia elétrica em 2016 por fonte geradora.

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: Adaptado de EPE (2016).

A figura demonstra que o país dispõe de uma matriz elétrica de origem principalmente renovável, com destaque para a geração hidráulica que representa por 68,1% da oferta interna. As fontes renováveis somam em seu total 81,7%, ou seja, soma-se a geração por fontes hídrica, biomassa, solar e a eólica, incluindo também a importação de eletricidade que é essencialmente hídrica.

A geração de energia elétrica com a água acontece pela transformação da energia potencial gravitacional da água armazenada, em energia mecânica através de turbinas, que por sua vez acionam o gerador de energia elétrica conectado ao seu eixo. Os aproveitamentos hidro elétricos podem ser a fio d'água ou com reservatório de acumulação. As hidroelétricas a fio d'água são construídas ao longo do rio ou riacho para a tomada de água e a sua vazão mínima será igual ou maior que a da potência das turbinas. Dentro do contexto da GD se tem as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), que são usinas aproveitamentos com

potência instalada entre 1 MW e 30 MW, com área de reservatório menor ou igual a 3 km², segundo a Resolução nº 652 de 2003 (ANEEL, 2003).

A energia eólica é uma das alternativas de geração de energia renováveis mais promissoras e, segundo o BEN (2016) obteve um aumento de 54,9% em relação ao ano anterior à 2016, assumindo um total de 5,4% da geração total da energia elétrica do país. O sistema para geração de energia eólica consiste em transformar a energia cinética dos ventos a partir de uso de pás, que fazem girar um rotor, que por sua vez está conectado ao eixo do gerador (REIS, 2011).

A geração de energia elétrica com a luz solar, ainda é pequena na matriz energética brasileira, totalizando apenas 0,01% da geração de energia no país, com 53,6 GWh de geração em 2016 e 56,9 MW de potência instalada respectivamente dados obtidos do BEN 2016 (EPE, 2016). A geração de energia solar fotovoltaica está ligada principalmente a geradores residenciais.

A conversão direta da energia solar em eletricidade mediante células fotovoltaicas é uma tecnologia de geração de energia elétrica altamente modular e com quase total ausência de emissão de poluentes e ruídos durante seu funcionamento tem baixa ou nenhuma manutenção. O gerador fotovoltaico é composto por módulos onde se encontram as células fotovoltaicas que produzem energia elétrica na forma de corrente contínua quando sobre elas incide a luz solar. Em função da sua baixa densidade energética, adapta-se melhor à geração distribuída do que à geração centralizada, o qual evidencia um claro espaço a ser ocupado por ela. (LORA, et al, 2006)

Ainda segundo LORA (2006) energia solar é pouco explorada por painéis, pois seu rendimento ainda é muito baixo, tecnologias vem sendo estudadas por diversas empresas com o objetivo de melhorar a eficiência das células fotovoltaicas para extração de todo potencial da energia solar.

Uma das formas de geração de energia é a utilização de usinas termoelétricas, que consiste em converter a energia térmica em energia mecânica. A fonte de calor pode ser oriunda de derivados de petróleo, biomassa, gás natural, nuclear e carvão e derivados. Como se pode perceber a característica principal da geração termoelétrica é principalmente o uso de combustíveis não renováveis. Dentro do contexto da GD esse tipo de geradora entra como pequenas centrais geradoras geralmente de óleo diesel e comumente como co-geração.

Na Figura 1 nota-se que a geração de energia elétrica por Biomassa no Brasil é de 8,2 % da geração total do país. A geração de energia elétrica com biomassa compreende a energia derivada de matéria orgânica, como plantas e animais, de resíduos sólidos urbanos, industriais e agrícolas. Podendo ser aproveitada como combustível em diferentes estados da matéria e com diferentes formas de transformação de energia. Dentre estas formas tem-se a sólida, como lenha e lascas de madeira, utilizada para queima direta, a forma líquida, como o etanol e o biodiesel e a gasosa, com o biogás proveniente da decomposição de plantas e resíduos. (NETO; CARVALHO, 2012). A geração de energia por diferentes tipos de biomassa e suas diferentes formas será abordada de forma particular no capítulo 3.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), dados do BEN em 2016, “a geração distribuída atingiu 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,4 MW, [...]”. Detalhes sobre os valores da geração e capacidade instalada de micro e minigeração distribuída no Brasil são apresentados na Tabela 1. (EPE, 2016)

Tabela 1 – Micro e minigeração distribuída

Identificação	2015	2016	Unidade
Geração de eletricidade	35	104	GWh
Não renováveis	0	0	
Renováveis	35	104	
Lenha	0	0	
Bagaço de cana	0	0	
Lixívia	0	0	
Outras renováveis	12	35	
Eólica	0	0	
Solar	20	54	
Hidráulica	3	15	

Fonte: Adaptado de EPE (2016).

2.3 CONCLUSÃO

A geração distribuída é uma forma de explorar melhor as formas de geração de energia elétrica, assim descentralizando a geração no país de

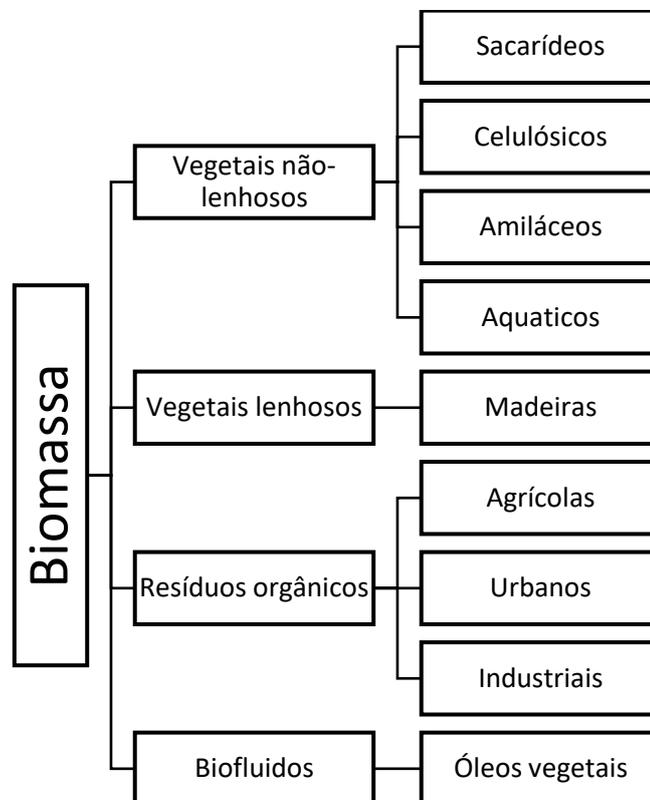
diminuindo a dependência de fontes não renováveis. A fonte com mais disponibilidade no Brasil é a biomassa, porém ainda não é explorada em todo o seu potencial.

3 BIOMASSA

Como já citado, a biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, utilizada na produção de energia. A biomassa é considerada uma energia limpa, pois é obtida através de uma diversidade de recursos renováveis, como plantas, madeira, resíduos agrícolas, excrementos e até resíduos sólidos urbanos. Sendo assim, a biomassa é uma alternativa viável para a substituição dos combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão.

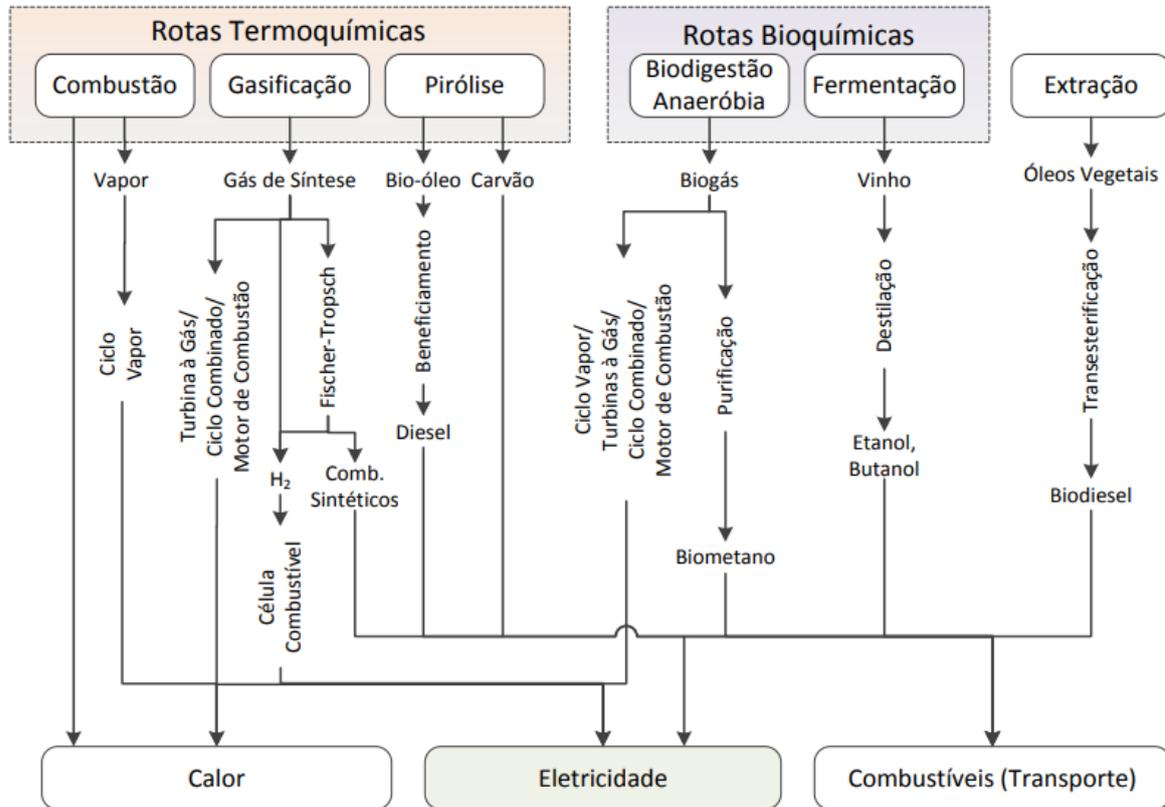
Como mostra a Figura 2, a biomassa pode ser encontrada em algumas formas, como por exemplo: vegetais não-lenhosos, vegetais lenhosos, resíduos orgânicos e os biofluidos, que em sua maioria são os óleos vegetais, estas formas podem ser aproveitadas energeticamente por meio de distintas formas. A Figura 3 apresenta uma representação simplificada das principais configurações para aproveitamento energético de biomassa, mostrando os processos para se obter energia tanto em forma de calor, combustível e eletricidade.

Figura 2 - Fontes de biomassa



Fonte: Adaptado de Cortez, Lora e Gómez (2008)

Figura 3 - Representação simplificada das principais formas de aproveitamento energético de biomassa



Fonte: TOLMASQUIM (2016)

Na Figura 3 ao analisar os fluxos que levam ao aproveitamento de biomassa para eletricidade nota-se que ela pode ser obtida através do vapor por meio da combustão, do biogás por meio da biodigestão, ou através dos demais processos termoquímicos e bioquímicos.

Na combustão todos os caminhos levam a geração de eletricidade e calor, é um método bastante utilizado, podem ser feito tanto por queima direta como os caminhos indicam ou a partir dos gases gerados pelos processos das rotas bioquímicas e da pirólise (método que consiste em geração de queima para geração de combustível fóssil, ex: carvão vegetal).

Além disso, a biomassa pode ser extraída para geração de combustível, assim removendo a necessidade de combustível fóssil de derivados de petróleo para uma fonte que pode ser gerada a partir de todas as fontes de biomassa existentes.

As rotas bioquímicas consistem basicamente na utilização de biodigestores e fermentação, consistem no processo químico realizado por bactérias na ausência de oxigênio que geram processos químicos da digestão de matéria orgânica. Podem ser obtidas tanto de resíduos sólidos urbanos, quando de outros materiais como resíduos sanitários provenientes de estações de tratamento de esgoto.

3.1 QUEIMA DIRETA

A biomassa para queima direta como mostra a Figura 3 para a geração de energia elétrica, parte do ciclo de combustão do material, a utilização de caldeiras para a obtenção de vapor e por fim a geração termoelétrica.

Duas principais fontes de biomassa para queima direta são a lenha e resíduos de atividades rurais. A lenha além de ser utilizada para a queima direta pela combustão, também pode ser transformada em carvão vegetal pela pirólise, e assim utilizada como fonte energética em diversos processos. Os resíduos de atividades rurais são restos de matéria orgânica proveniente das atividades rurais como, por exemplo, restos de podas e restos de cultivos que geram grande quantidade de material orgânico (NETO; CARVALHO, 2012).

Outra fonte de matéria orgânica para o aproveitamento de biomassa são alguns tipos de resíduos industriais como o bagaço de cana, que vem de refinarias de cana-de-açúcar, e cavacos de madeira que são rejeitos de indústrias moveleiras e serrarias.

3.2 BIOCOMBUSTÍVEL

Dentre os biocombustíveis tem-se o biodiesel, o biogás e o bioetanol, com as suas fontes de biomassa próprias, suas formas de obtenção e suas próprias políticas de incentivos, segundo Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014). Assim se formulam as seguintes definições:

- O Biodiesel é um tipo de biocombustível produzido a partir de óleos vegetais ou animais, alguns exemplos de matérias primas utilizadas para são os óleos de palma, soja, mamona, girassol entre outras plantas

oleaginosas. A introdução do biodiesel no mercado brasileiro se deu pelo Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNBN) por meio da lei 11.097/2005, que prevê a obrigatoriedade da adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercial (CALEGARI, *et al.*, 2005);

- O Biogás é gás combustível produzido a partir da Biodigestão da biomassa, que é a transformação química de resíduos vegetais e orgânicos através da ausência do ar e a presença de bactérias que, de forma reduzida, digerem o material gerando assim o biogás, consistindo principalmente de uma mistura de metano (55-75%) e CO₂ (25-45%) (CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011);
- O Bioetanol é produzido a partir de biomassa sendo resultado da fermentação de açúcares ou a partir de hidratos de carbono poliméricos, o mais utilizado para a produção do bioetanol no Brasil é a cana-de-açúcar e o milho (GOLDNBERG, 2007).

3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Uma das principais fontes de biomassa são os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Utilizar este material para a geração de energia elétrica tem como principal benefício o aproveitamento dos detritos e a diminuição do uso de aterros sanitários.

Segundo Siqueira (2017), pode se classificar os tipos de RSU das seguintes formas:

- Domiciliar, são originados de residências e podem conter materiais tóxicos.
- Comercial, são originados de estabelecimentos comerciais ou provedores de serviços, geralmente grande volume de papel e plástico.
- Público, originado de limpeza urbana de espaços pertencentes à União, Estado ou Município, lixo urbano e limpezas de espaços (podas, limpezas de margens, praias, galerias, terrenos).
- Serviços de Saúde e Hospitalar, estes resíduos contêm materiais tanto assépticos (são semelhantes aos resíduos domiciliares) quanto sépticos (materiais que podem conter germes patogênicos).
- Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários, materiais comuns como os comerciais, porém, contêm resíduos de

higiene que podem conter germes patogênicos com origem exterior.

- Industrial, originado das atividades industriais, nesta categoria inclui-se a grande maioria dos resíduos considerados tóxicos.
- Agrícola, resíduos que podem tanto ser limpos quanto restos tóxicos devido a aplicação de defensivos agrícolas.

Os RSU são um problema potencial para o Estado, que possui políticas e planos próprios para a sua deposição e utilização. A Lei nº 12.305/2010 trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e define o RSU como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) possibilitou a evolução dos processos de gestão e gerenciamento de Resíduos Sólidos (RS) em todo território. Desta forma o conceito de lixo deu lugar à exploração do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social (BRASIL, 2010). Assim a classificação de lixo nos tempos modernos teve uma grande alteração, como grande parte dos resíduos podem ser reaproveitados de alguma forma a definição de lixo agora pode apenas se referir a materiais sépticos e tóxicos.

Hoje a grande dificuldade encontrada para prefeituras é a coleta seletiva destes resíduos e os espaços para destinação, porém investimentos como explanado em Brasil (2010) tem sido feitos de forma a gerar um valor social novamente a estes dejetos, provendo assim um retorno social e econômico ao País.

Os RSU utilizados como biomassa para a geração de energia elétrica pode ocorrer de duas formas, pela queima direta do RSU, ou pela Biodigestão do material, e que como mostra a Figura 3 pode ser utilizado no ciclo a vapor, em turbinas a gás, turbinas de ciclo simples e combinado, e em motores a combustão.

3.4 CANA-DE-AÇUCAR

Segundo o BEN 2017, a produção total de energia a partir de produtos da cana-de-açúcar foi de 17,2% (EPE, 2016). Devido a sua versatilidade e utilização em diferentes formas, a cana-de-açúcar pode ser considerada a principal fonte de biomassa no Brasil. Tanto pelo uso direto de bioetanol como combustível, como com a utilização do bagaço da cana para a geração termo elétrica. Como consequência é possível para as sucroalcooleiras se tornarem autossustentáveis em sua demanda de energia térmica, elétrica e mecânica, ao adotarem como combustíveis para o processo de produção do açúcar e do álcool, os próprios resíduos (DANTAS, 2010).

3.5 ALGAS E MICROALGAS

A utilização da biomassa de algas para a produção de biocombustíveis já é uma realidade, sendo que elas podem ser cultivadas ou retiradas de ambientes eutrofizados. As microalgas possuem seu cultivo de forma simples podendo ser produzidos em tanques rasos e abertos sendo nutridas com dejetos de suíno cultura ou resíduos de esgotos, não demandando adubos químicos.

As microalgas podem ser cultivadas em tanques de água salgada, assim não necessitando a utilização de água potável (DEFANTI; SIQUEIRA; LINHARES; 2010) e (CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011).

Para se obter o biodiesel das algas é necessário extrair o seu óleo, matéria prima para o biodiesel. Para esta extração o método mais simples e mais popular é a prensagem, podendo ser combinado com outros métodos para melhorar a porcentagem de óleo extraído. Após a extração o óleo é refinado e transesterificado, produzindo o biodiesel (DEFANTI, SIQUEIRA, LINHARES, 2010).

Pode-se obter outro tipo de biocombustível, além do diesel, a partir das algas: o biogás. Para extrair o biogás, utiliza-se a tecnologia de fermentação para a

obtenção de metano através da digestão anaeróbica¹ das algas (CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011).

Outra forma de uso das algas e microalgas é para a fabricação de painéis biofotovoltaicos, assim utilizando-as para a geração direta de energia elétrica e não só como biocombustível.

3.6 CONCLUSÃO

Nos últimos anos, por meio do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, muitas concessionárias de geração de energia elétrica investiram na obtenção e produção de microalgas para a geração de energia. Contudo a maioria dos projetos de pesquisa e desenvolvimento objetiva a extração de microalgas para a produção de biodiesel. Todavia, o estado-da-arte encontra-se no uso de microalgas para produção de energia elétrica de forma direta: Biofotovoltaica.

¹ Método o qual a matéria orgânica é digerida a partir de bactérias em um meio ausente de oxigênio. (HAMAWAND; BAILLIE, 2015)

4 BIOFOTOVOLTAICA

A biofotovoltaica consiste em células microbianas que exploram a capacidade de cianobactérias e microalgas para converter a energia da luz em corrente elétrica usando água como fonte de elétrons. É uma tecnologia promissora para gerar energia renovável dado que é baseada em organismos vivos como catalizadores baratos (FACCHINI, 2017).

4.1 PROCESSO DE FOTOSINTESE

O processo de fotossíntese é utilizado por plantas para converter a energia luminosa proveniente do sol em energia química através de um processo químico. Neste processo água e dióxido de carbono (CO_2) são convertidos em glicose (que futuramente é quebrado em outros processos químicos para produção de energia para plantas) e oxigênio (CAMPBELL; FARRELL, 2016).

O processo de fotossíntese é muito importante para o nosso ecossistema, pois ele absorve o dióxido de carbono presente na atmosfera e fixa o mesmo nos organismos fotossintéticos gerando oxigênio para o meio.

A fotossíntese é composta de duas fases, a fase clara e a fase escura, na fase clara a absorção da energia do sol é absorvida e transforma a água em oxigênio, em Trifosfato de adenosina (ATP, substância envolvida em muitos processos de geração de energia e quebra de glicose) e na substância NADPH_2 . Na fase escura a ATP e a NADPH_2 realizam o processo de fixação da molécula de carbono a partir do Ciclo de Calvin, processo químico complexo que fixa as moléculas de CO_2 (utilizando a ATP e a NADPH_2) em moléculas de glicose, que são convertidas em energia para planta por processos químicos (CAMPBELL; FARRELL, 2016).

4.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Durante o processo de fotossíntese elétrons são liberados e absorvidos durante o processo, durante a fase clara o fóton atinge a clorofila está libera um elétron e esses elétrons são captados por moléculas chamadas aceptadores de

eletrões que enviam estes elétrons para os citocromos que assim iniciam a cadeia redox que produz ATP (CAMPBELL; FARRELL, 2016). A biofótovoltaica aproveita a liberação destes elétrons utilizando estes para a produção de uma corrente elétrica e por sua vez uma diferença de potencial entre dois eletrodos. A eficiência do processo é interligada diretamente a capacidade fotossintética das algas e cianobactérias, do meio participante do processo químico e da capacidade dos eletrodos em absorverem estes elétrons (NG; *et al*, 2014).

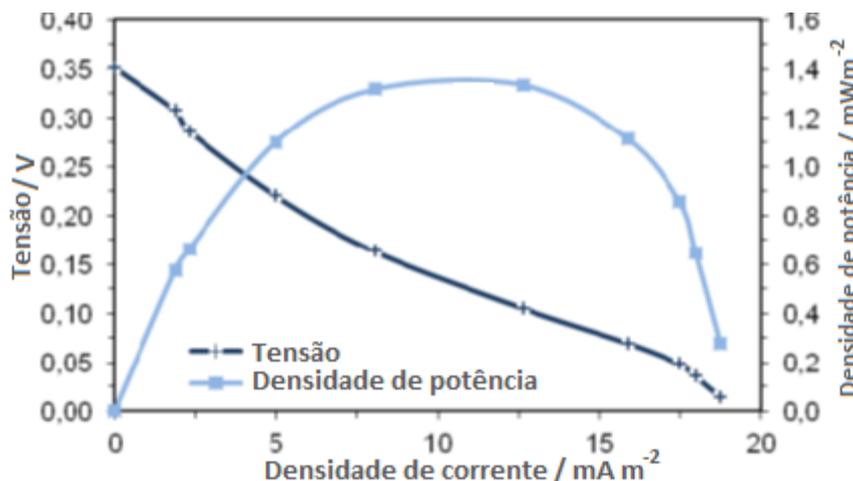
NG (2014) explica que a capacidade dos eletrodos é extremamente importante, muitos são compostos de materiais condutores internamente e externamente de materiais que são capazes de interagir melhor forma com os organismos fotossintéticos assim diminuindo a impedância e melhorando a capacidade dos eletrodos em absorver os elétrons provenientes da fotossíntese.

4.3 APROVEITAMENTO E APLICAÇÕES BIOFOTOVOLTAICAS

Para avaliar a produção de bioeletricidade descentralizada Martins (2014) realizaram três tipos de testes, dos quais se basearam na construção da célula biofotovoltaica, uma célula de combustível microbiana de sedimentos (SMFC), em um reator aberto com aproximadamente um litro de volume. Neste reator foi acrescentada uma camada de sedimentos recolhidos na lagoa de Furnas com aproximadamente 0,4 dm³ e 0,6 dm³ de volume de água. O ânodo foi imerso nos sedimentos, em uma profundidade superior a 2 cm e o cátodo foi colocado diretamente na água. *“A produção de densidade de potência ao longo do tempo da foi medida em volts (V) em função do tempo e registada e armazenada contínua e automaticamente, a cada 30 minutos”* Martins (2014). Os resultados obtidos estão na Figura 4, Figura 5 e Figura 6 Curvas de polarização e de potência para as diferentes configurações, sendo a primeira com um ânodo e um cátodo de carbono, a segunda com dois ânodos de carbono e um cátodo de aço inox e a terceira com um ânodo de aço inox. Os resultados são:

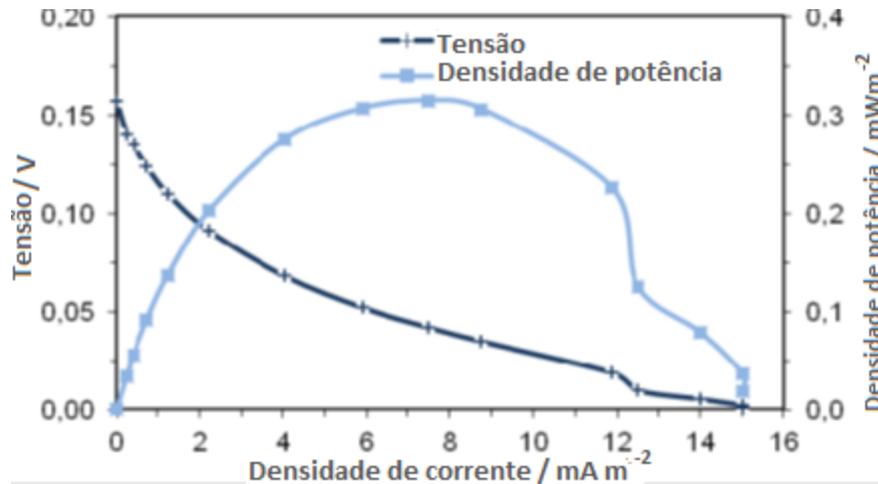
[...] a voltagem em função da densidade de corrente, obtidas durante a fase estável de geração de energia com resistências variando de 71 k Ω a 10 Ω (correspondendo a densidades de corrente entre 1.9 a 18.75 mA/m² para o ânodo de carbono, 0.25 a 15.0 mA/m² para o ânodo com dois elétrodos de carbono e 0.04 a 0.74 mA/m² para o ânodo de aço inoxidável). Os resultados indicaram que a resistência ótima, isto é, a resistência para a qual se obteve a maior densidade de potência, foi de 2100 Ω para a situação com apenas ânodo de carbono, cerca de 700 Ω para a configuração com dois ânodos de carbono nos sedimentos e de 5000 Ω para o ensaio com o ânodo de aço inoxidável. As alterações efetuadas na SMFC permitiram verificar que a introdução de um novo elétrodo nos sedimentos resulta num aumento na produção de bioeletricidade (de ~26 mV para ~70 mV). Pelo contrário, a substituição do cátodo de carbono por aço inoxidável e a adição de acetato, não resultaram numa alteração significativa, tendo-se mantido a tendência de queda da produção devido a limitação de fonte de carbono. Em suma, a tecnologia das MFC (célula de combustível microbiana) aplicada a sistemas sedimentares apresenta-se como uma interessante oportunidade de valorização em sistemas aquáticos eutrofizados. (MARTINS; *et al.*, 2014)

Figura 4- Curvas de polarização e de potencia da célula Biofotovoltaica com um anodo e um catodo de carbono



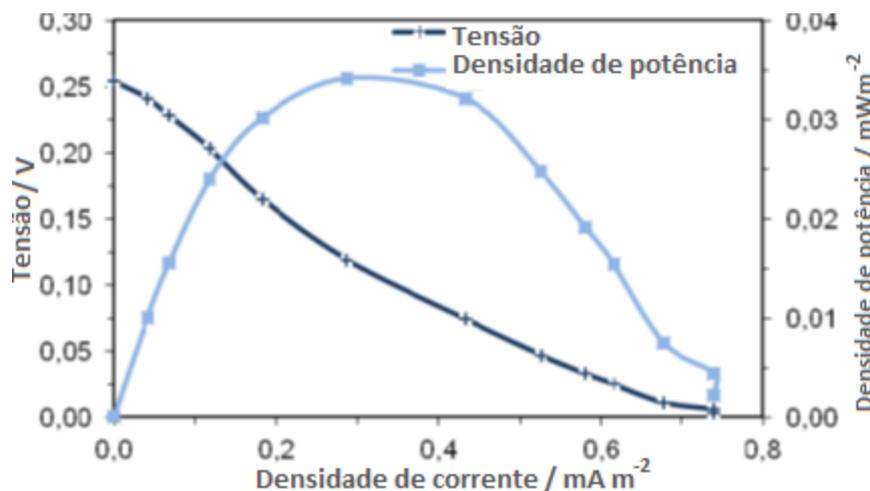
Fonte: MARTINS, *et al.* (2014)

Figura 5 - Curvas de polarização e de potencia da célula biofotovoltaica com dois anodos de carbono e um catodo de aço inox



Fonte: MARTINS, *et al.* (2014)

Figura 6 - Curvas de polarização e de potencia da célula biofotovoltaica com um anodo de aço inox



Fonte: MARTINS, *et al.* (2014)

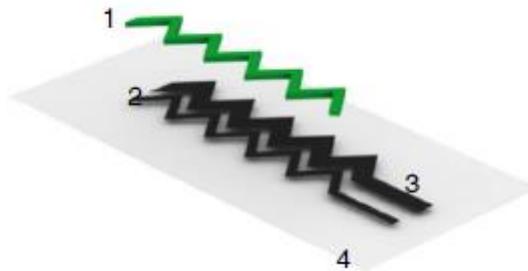
Ao observar as Figura 4, Figura 5 e Figura 6 pode-se comparar a eficiência, tanto para o valor de tensão (V), quanto para as densidades de corrente (mA/m²) e potencia (mW/m²) dos diferentes anodos e catodos empregados, do qual ao utilizar o anodo e o catodo de carbono (Figura 4) se tem um pico maior de densidade de potencia.

Os autores Wei, *et al.*, (2017) desenvolveram um estudo com células biofotovoltaicas em pequenas dimensões, com o objetivo futuro de integrá-las com microdispositivos simples e autossustentados. O estudo dos mesmos consistiu em desenvolver um dispositivo biofotovoltaico de duas câmaras baseado em

membranas em microfluídica, exigindo a introdução contínua de ferricianeto de potássio como um receptor de elétrons². Obtendo um densidade de potência máxima no primeiro protótipo de 7,09 nW/cm² e cerca de 2,3 MΩ de resistência interna, após dois anos o dispositivo evoluiu para 90 nW/cm² de potência. Nos últimos dispositivos desenvolvidos foram obtidos 6,05 μW/cm² e 2,7 μW/cm² para duas microalgas diferentes.

Sawa, et al (2017) descrevem um método inovador para melhorar a miniaturização e a produção em larga escala de células biofotovoltaicas. Empregara a impressão a jato de tinta para as células 'semi-secas de filme fino', como mostra a Figura 7, nas quais um gel absorvente de água é usado para substituir o pesado reservatório de líquido, comumente utilizados, e demonstram que este tipo de dispositivo é capaz de produzir corrente contínua por mais de 100 h.

Figura 7 - Representação esquemática do bioeletrodo impresso digitalmente.



Fonte: SAWA, et al. (2017)

A Figura 7 mostra o projeto de um sistema biofotovoltaico totalmente impresso, com a sua representação esquemática em vista semi-explodida do módulo, onde em 1 são os organismos fotossintéticos³ impressos em verde; em 2 o ânodo de nano tubos de carbono (CNT) impresso, em 3 o cátodo de CNT impresso; e em 4 é o substrato de papel. O módulo consiste de um ânodo em ziguezague e um

² Neste caso o Ferricianeto de potássio é utilizado na forma de catalisador, recebendo os elétrons do anodo e transmitindo-os para o catodo. Método utilizado para diminuir a impedância entre eletrodos e meio com as algas (CAMPBELL; FARRELL. 2016)

³ Organismos fotossintéticos são todas as plantas verdes, algas, cianofíceas (algas verdes e azuladas) e alguns tipos de bactérias (CAMPBELL; FARRELL, 2016).

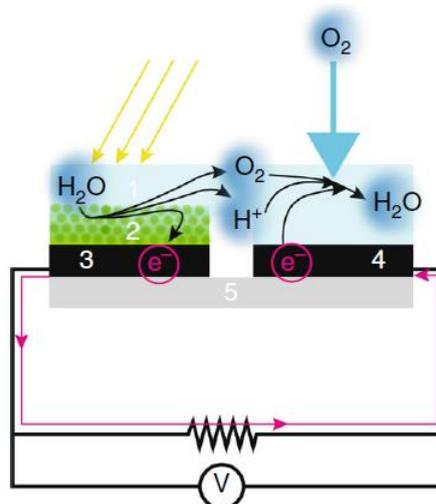
cátodo em ziguezague com áreas de superfície de 1,36 cm² e 2,73 cm², respectivamente. Os processos químicos no qual são numerados os envolvidos sendo: o primeiro envolvido o meio em que o organismo se encontra no caso a água, segundo o organismo fotossintético, terceiro o ânodo, quarto o catodo e quinto o substrato isolante.

Figura 8 é a representação esquemática em corte da célula biofotovoltaica que apresenta os fluxos de elétrons, prótons e oxigênio, os números representam os mesmos da Figura 7 e o 5 é o meio sólido. Os resultados obtidos pela utilização deste novo processo de produção das células foram:

Testes detalhados do bioeletrodo impresso em uma célula biofotovoltaica híbrida revelaram uma potência de 0,38 mW/m² na luz e 0,22 mW/m² no escuro. Esta faixa de potência se compara bem com resultados anteriores obtidos com dispositivos BPV baseados em cultura líquida convencional (0,2 a 0,3 mW/m²) (SAWA, *et al.*, 2017).

Os processos químicos no qual são numerados os envolvidos sendo: o primeiro envolvido o meio em que o organismo se encontra no caso a água, segundo o organismo fotossintético, terceiro o ânodo, quarto o catodo e quinto o substrato isolante.

Figura 8 - Representação esquemática da seção transversal da célula biofotovoltaica que apresenta os fluxos de elétrons, prótons e oxigênio



Fonte: SAWA, *et al.* (2017)

Na figura se observa entrada da luz da água (H₂O) e do oxigênio (O₂) no sistema, a quebra destes elementos para a liberação dos elétrons e novamente a junção, fechando assim o ciclo dos elétrons gerando corrente elétrica. Este é um

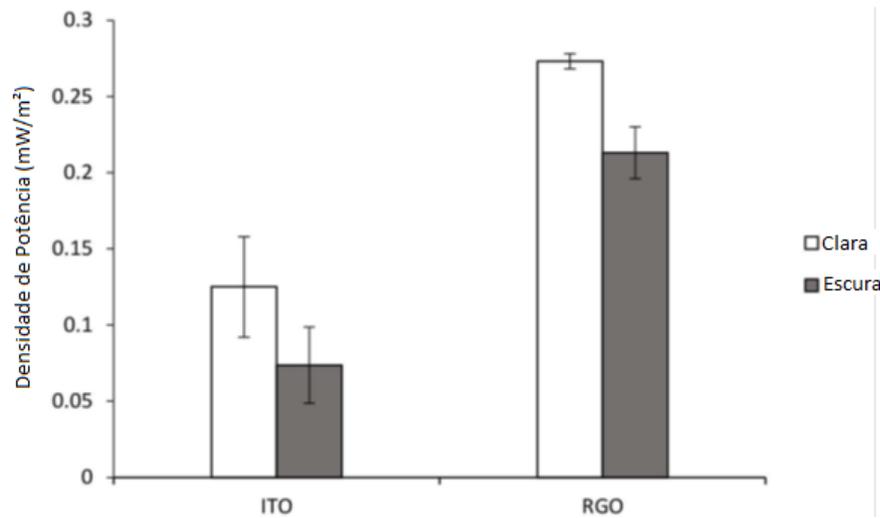
esquema simplificado, porém existem outros tipos de sistemas que dependem de elementos dispostos dentro do sistema.

Outra forma de aperfeiçoar o aproveitamento biofotovoltaico utilizando algas é melhorar a transmissão de energia por meio da tecnologia e do material empregado na fabricação dos ânodos, para que assim a transferência de elétrons seja facilitada, pois um grande problema é alta impedância entre os organismos e os eletrodos. As células biofotovoltaicas mais utilizadas incorporam ânodos de óxido de índio e estanho (ITO) para fins de transferência de carga, devido às suas propriedades elétricas inerentes. Contudo, outros materiais, como o óxido de grafeno reduzido (RGO), podem proporcionar maior eficácia devido às suas propriedades elétricas intrínsecas e compatibilidade biológica⁴. Ao observar a Figura 9 pode-se comparar o desempenho de biofilmes⁵ de algas cultivados em ânodos RGO e ITO, os resultados apresentam uma potência de pico melhorada de 0,1481 mW/m² usando o eletrodo RGO e um melhora na eficiência de 119%, ilustrando o potencial do RGO como um material anódico para aplicações em dispositivos e sistemas derivados de biofilme (NG, *et al.*, 2014).

⁴ Compatibilidade biológica se refere a qualidade do material em receber os elétrons no meio solúvel com organismos transmissores de elétrons. Quanto maior a compatibilidade menor é a impedância entre ânodo e catodo (NG, *et al.*, 2014).

⁵ Biofilme se refere a uma película fina de elementos biológicos. No caso é uma película fina de uma alga (NG, *et al.*, 2014).

Figura 9 - Comparação direta de saídas de potência de pico para materiais anódicos baseados em ITO e RGO



Fonte: Adaptado de NG, et al. (2014)

A Figura 9 mostra o desempenho de dois biofilmes diferentes durante a fase clara da fotossíntese (com luz) e durante a fase escura, explicitando assim a possibilidade de geração de energia mesmo na ausência da luz. Não se deve confundir fase escura dos organismos fotossintético com o funcionamento ausente de luz, a fase escura ocorre concomitantemente à fase clara, onde ocorre a fixação da molécula de carbono na célula para se efetuar o Ciclo de Calvin.

Uma outra abordagem aplicável com finalidade de melhorar a potência das células biofotovoltaicas é através da redução da distância entre ânodo e cátodo e aumento da quantidade de material exposta ao meio para troca de elétrons. Essa flexibilidade na geometria do dispositivo e a possibilidade de eletrodeposição *in situ* do ânodo reforçam a versatilidade da litografia suave como meio de geração de energia elétrica. A Tabela 2 apresenta uma lista de dispositivos biofotovoltaicos da literatura recente, incluindo abordagens microfluídicas⁶ prévia que não requerem entrada adicional de energia, para comparação do desenvolvimento das tecnologias utilizadas para células biofotovoltaicas. As tecnologias utilizadas são (BOMBELLI, *et al.*, 2014):

⁶ Ciência que estuda o fluxo de fluídos em escalas reduzidas, deriva da hidrodinâmica.

- o filme de Nafion sobre a câmara catódica e o cátodo Au (N-Au);
- o Cátodo de sacrifício químico (CSC);
- o Catódico de carbono-platina impregnado de um lado com Nafion (N-CPt);
- o Papel carbono revestido com uma fina camada de platina (Pt-C);
- o Óxido de índio e estanho (ITO);
- o Óxido de estanho dopado com flúor (FTO);
- o Tinta de carbono com polipirrol (PPCP);
- o Nanotubos de carbono em papel carbono (CNTCP);
- o Benzoquinona (BQ).

Tabela 2 - Lista de dispositivos biofotovoltaicos da literatura recente - incluindo abordagens microfluídicas prévias - que não requerem entrada adicional de energia.

Estudo	P_{out} mW/m²	Ânodo/ Catodo	Meio	Organismo Fotossintetizante
Chiao, 2006	0,0004	Au/N-Au-csc	Azul de metileno	Anabaena sp.
Bombeli, 2011	1.2	ITO/N-CPt	K ₃ [Fe (CN) ₆]	Synechocystis sp. PCC 6803
McCormick, 2011	10	ITO/Pt-coated glass	Livre	Synechococcus sp. WH 5701
Thorne, 2011	24	FTO/carbon cloth	K ₃ [Fe(CN) ₆]	Chlorella vulgaris
Bombelli, 2012	0,02	ITO/Pt-C	Livre	Oscillatoria limnetica
Madiraju, 2012	0,3	Fibra de Carbono	Livre	Synechocystis sp. PCC
Bradley, 2013	0,2	ITO/N-CPt	K ₃ [Fe(CN) ₆]	Synechocystis TM
Lan, 2013	13	Grafite pré-tratado/csc		Chlamydomonas reinhardtii
Lin, 2013	10	Malha de Au/ Revestimento de Grafite	K ₃ [Fe(CN) ₆]	Spirulina platensis
Luimstra, 2013	6	PPCP/Revestimento de carbono com Pt	Livre	Pauschulzia pseudovolvor

Sekar, 2014	35	CNTCP/ Laccase on CNTCP	Livre	Nostoc sp.
Sekar, 2014	100	CNTCP/ Laccase on CNTCP	BQ	Nostoc sp.
Bombelli, 2014	105	Liga de InSnBi/Pt	Livre	Synechocystis sp. PCC

Fonte: Adaptado de BOMBELLI, et al. (2014)

Ao analisar a Tabela 2 percebe-se que das pesquisas feitas em 2006 até 2014 teve uma melhora grande na potencia de saída, de aproximadamente 250 mil por cento. Também fica clara a variação das tecnologias empregadas, variando os materiais de anodos e catodos, o meio em que a alga se encontra, e modificar a alga (organismo fotossintetizante) para melhorar a eficiência das células biofotovoltaicas.

4.4 CONCLUSÃO

O crescimento de energia adquirida com os sistemas estudados vem mostrando grandes crescimentos com o tempo, infelizmente ainda não há uma perspectiva comercial onde os estudos se encontram, pois, a energia obtida para grandes aplicações é irrelevante para a matriz energética. Analisando em questão de circuitos de baixa potência, o sistema biofotovoltaico oferece uma opção sustentável para alimentação de circuitos de baixa potência.

Se fizermos uma quantificação simples da eficiência mais atual do sistema utilizando o estudo mais atual como base e utilizarmos como exemplo o Rio Xingu onde está sendo instalada a usina de Belo Monte. Segundo Heckenberger et al. (2008) o lago onde está sendo instalada a usina tem uma área de 516 km², utilizando os dados da Tabela 2, o sistema biofotovoltaico em sua melhor forma ocupando toda dimensão do lago forneceria 54,18 MW, mas a dificuldade de inserção de eletrodos em toda área coberta do lago e o custo destes é um fator crucial que impede a utilização desta energia.

Hoje os estudos ainda que não tem publicação ainda finalizada são baseados em microdispositivos de alta durabilidade que podem totalmente descartados no meio ambiente, pois, são facilmente absorvidos pela natureza por

não conterem metais pesados, elementos tóxicos e resíduos de grande tempo de decomposição. Uma área bastante focada é a de baterias recarregáveis a partir de energia solar que precisam ser apenas alimentadas com resíduos orgânicos para as cianobactérias realizarem seus processos químicos, isso colabora muito com a política de descarte de resíduo, pois, baterias fornecidas nos dias de hoje contêm em sua grande maioria metais pesados e resíduos tóxicos para o meio ambiente.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho apresentou um contexto geral sobre a Geração Distribuída (GD), possibilitando seu entendimento frente ao cenário nacional, também apresentando a importância do uso da biomassa para desenvolvimento consciente da produção de energia elétrica. Ao evidenciar a biomassa como uma fonte promissora de geração de energia, pois possui diversos métodos de se obter energia e possui diversas fontes para se obter energia, fontes estas como resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de cana-de-açúcar, algas, entre outros resíduos orgânicos que seriam descartados.

A biomassa de algas já é empregada para a produção do biogás e do biodiesel, pois as algas se reproduzem mais rápido que plantas terrestres, precisam de pouco substrato e podem ser cultivadas em água salgada, facilitando o cultivo e tendo alta produtividade. Porém uma área pouco estudada é a biofotovoltaica, que é a transformação da energia da luz em energia elétrica a partir da fotossíntese de microalgas e cianobactérias.

Apresentar um estudo sobre essa tecnologia é importante, pois é inovadora e na área de geração de energia elétrica precisa-se de constantes descobertas para suprir as demandas do sistema. Por ser uma tecnologia nova e pouco estudada existem poucas aplicações práticas para tal.

Uma aplicação existente para são células biofotovoltaicas miniaturizadas, é a possibilidade de integrar a tecnologia com microdispositivos simples e autossustentados.

Um desenvolvimento grande para o futuro da biofotovoltaica é necessário para que esta tecnologia possa competir com a solar fotovoltaica na GD, contudo a tecnologia desenvolve significativamente a cada estudo com um aumento percentual considerável com a melhora das tecnologias empregadas, tanto na escolha das algas e microalgas utilizadas quanto na melhora dos materiais para os ânodos e catodos.

Algumas vantagens que as células biofotovoltaicas terão, quando estiverem com tecnologia para produção comercial, em relação às células

fotovoltaicas convencionais seria o baixo custo da obtenção da matéria prima principal, podendo ser utilizadas algas de lagos eutrofizados, outra vantagem é que células biofotovoltaicas não produzem energia apenas na presença da luz, por ser um sistema baseado na fotossíntese dos organismos, a energia é produzida tanto na fase clara da fotossíntese quanto na fase escura (na ausência de luz). Além do fato da obtenção de energia, o processo é limpo, contribui para o ecossistema com a biofixação do CO_2 , assim reduzindo o impacto ambiental causado ao ecossistema pela utilização de combustíveis fósseis e a emissão de CO_2 gerado pelas indústrias.

Estudos no Brasil pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica da ANEEL têm maior ênfase na área da utilização das algas como combustível, biodiesel, e para a biofixação de CO_2 e de NO_x (ANEEL, 2018).

Como já mencionado, o estudo sobre células biofotovoltaicas ainda está em seu estágio inicial, e com aplicações para baixa potência, portanto como sugestão para evolução da pesquisa na área deve-se desenvolver uma célula com a tecnologia já existente, estudar as dificuldades encontradas e propor soluções para o aumento de potência e implementação de possíveis sistemas para a geração em maior escala.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, A., LAOHAVISIT, A., BLABY, I. K., BOMBELLI, P., HOWE, C. J., MERCHABT, S. S., et al. (2016). Exploiting algal NADPH oxidase for biophotovoltaic energy. *Plant Biotechnology Journal*, 22-28.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (2003). Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/leitura_arquivo/arquivos/res2003652.pdf> Acesso em: 23 mar. 2018
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. (2016). PRODIST - MODULO 1..
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/transparencia-na-spe/656831?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fprograma-de-p-d%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_ahiml6B12kVf%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_stat%3E> Acesso: 02 de jun 2018
- BOMBELLI, P., MÜLLER, T., HERLING, T. W., HOWE, C. J., KNOWLES, T. P. (21 de nov de 2014). A High Power-Density Mediator-Free Microfluidic Biophotovoltaic Device for Cyanobacterial Cells. *physics bio*.
- BRASIL. Decreto Nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM> Acesso em: 24 mar 2018.
- BRASIL. Lei nº 10438, de 26 de abril de 2002. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.
- BRASIL. Lei Nº 12.305. de 2 de agosto de 2010 Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>> Acesso em: 24 mar 2018.
- BRASIL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=342518>> Acesso: 27 mar 2018.

- CALEGARI, L., FOELKEL, C. E., HASELEIN, C. R., ANDRADE, J. L., SILVEIRA, P., SANTINI, E. J. (2005). Características de Algumas Biomassas Usadas na Geração de Energia no Sul do Brasil. *Biomassa & Energia*, 2(1), 37-46.
- CAMPBELL, Mary K.; FARRELL, Shawn O. *Bioquímica*. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- CARDOSO, A. D., VIEIRA, G. E., MARQUES, A. K. (2011). O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Biociências*, 9(4), 542-549.
- CORTEZ, L. A., LORA, E. E., GÓMEZ, E. O. (2008). *Biomassa para energia*. Campinas: UNICAMP.
- DANTAS, D. N. (2010). Mestrado: Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exérgica e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. São Carlos: EESC/USP.
- DEFANTI, L. S., SIQUEIRA, N. S., LINHARES, P. C. (2010). Produção de biocombustível a partir de algas fotossintetizantes. *Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, 1, 11-21.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2016). *Balanco Energético Nacional 2017: ano base 2016*. Rio de Janeiro, 2017.
- FACCHINI, C. F. (2017). Desenvolvimento de células biofotovoltaicas por meio de deposição de filme do fotossistema em superfície texturizada de silício. Campinas: UNICAMP.
- GOLDNBERG, J. (2007). *Programa de bioenergia do estado de São Paulo*. São Paulo: USP.
- HAMAWAND, Ihsan; BAILLIE, Craig. Anaerobic Digestion and Biogas Potential: Simulation of Lab and Industrial-Scale Processes. *Energies*, [s.l.], v. 8, n. 1, p.454-474, 13 jan. 2015. MDPI AG.
- HECKENBERGER, M. J. et al. Pre-Columbian Urbanism, Anthropogenic Landscapes, and the Future of the Amazon. *Science*, [s.l.], v. 321, n. 5893, p.1214-1217, 29 ago. 2008. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1159769>.
- HINRICHS, R. A., KLEINBACH, M., & REIS, L. B. (2014). *Energia e Meio Ambiente (5ª ed.)*. São Paulo: Cengage Learning.
- INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. (2018). O que é geração distribuída. Disponível em <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp> Acesso em: 14 de jan de 2018,
- LORA, E. E. S.; ADDAD, J.; ETAL. *Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

- MARCONI, M. d., LAKATOS, E. M. (2003). Fundamentos de metodologia científica (5. ed.). São Paulo: Atlas.
- MARTINS, G., PEIXOTO, L., TAVARES, P., RODRIGUES, A. C., & BRITO, A. G.). Avaliação de desempenho de uma célula de combustível microbiana em sedimento de sistemas aquáticos eutrofizados. 12º Congresso sa Água. (março de 2014)
- NETO, M. R., CARVALHO, P. C. (2012). Geração de energia elétrica: fundamentos (1. ed.). São Paulo: Érica.
- NG, F.-L., MUHAMMAD M, J, S.-M. P., CHAN, Z., SALLEH, N. A., AZMI, S. Z., YANUS, K., et al. Reduced Graphene Oxide Anodes For Potential Application in Algae Biophotovoltaic Platforms. Scientific Reports. (22 de dez de 2014)
- REIS, L. B.. Geração de energia elétrica (2011) (2 ed.). Barueri, SP: Manole.
- SAWA, M., FANTUZZI, A., BOMBELLI, P., HOWE, C. J., HELLGARDT, K., NIXON, P. J.. Electricity generation from digitally printed cyanobacteria. Nature communication, 2017.
- SIQUEIRA, Arthur Mendonça Quinhones. **Uma proposta de avaliação integrada do uso energético dos resíduos sólidos urbanos por meio da teoria de utilidade multiatributo (MAUT)**. 2017. 165 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- TOLMASQUIM, M. T. (2016). Energia Termelétrica: Gás Natural, Bioassa, Carvão, Nuclear. Rio de Janeiro: EPE.
- WEI, X. et al. A microscale biophotovoltaic device. 2016 Ieee Sensors, [s.l.], p.1-3, out. 2016.