VI ENCONTRO INTERNACIONAL DO CONPEDI - COSTA RICA

DIREITO AMBIENTAL, SUSTENTABILIDADE E DIREITOS DA NATUREZA II

CRISTIANE DERANI

ELCIO NACUR REZENDE

GERMANA DE OLIVEIRA MORAES

Copyright © 2017 Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito

Todos os direitos reservados e protegidos.
Nenhuma parte destes anais poderá ser reproduzida ou transmitida sejam quais forem os meios empregados sem prévia autorização dos editores.

Diretoria – CONPEDI
Presidente - Prof. Dr. Raymundo Juliano Feitosa – UNICAP
Vice-presidente Sul - Prof. Dr. Ingo Wolfgang Sarlet – PUC - RS
Vice-presidente Sudeste - Prof. Dr. João Marcelo de Lima Assafim – UCAM
Vice-presidente Nordeste - Profa. Dra. Maria dos Remédios Fontes Silva – UFRN
Vice-presidente Norte/Centro - Profa. Dra. Julia Maurmann Ximenes – IDP
Secretário Executivo - Prof. Dr. Orides Mezzaroba – UFSC
Secretário Adjunto - Prof. Dr. Felipe Chiarello de Souza Pinto – Mackenzie

Representante Discente – Doutoranda Vivian de Almeida Gregori Torres – USP

Conselho Fiscal:
Prof. Msc. Caio Augusto Souza Lara – ESDH
Prof. Dr. José Querino Tavares Neto – UFG/PUC PR
Profa. Dra. Samyra Haydêe Dal Farra Naspolini Sanches – UNINOVE
Prof. Dr. Lucas Gonçalves da Silva – UFS (suplente)
Prof. Dr. Fernando Antonio de Carvalho Dantas – UFG (suplente)

Secretarias:
Relações Institucionais – Ministro José Barroso Filho – IDP
Prof. Dr. Liton Lanes Pilau Sobrinho – UPF
Educação Jurídica – Prof. Dr. Horácio Wanderlei Rodrigues – IMED/ABEDi
Eventos – Prof. Dr. Antônio Carlos Diniz Murta – FUMEC
Prof. Dr. Jose Luiz Quadros de Magalhaes – UFMG
Profa. Dra. Monica Herman Salem Caggiano – USP
Prof. Dr. Valter Moura do Carmo – UNIMAR
Profa. Dra. Viviane Coêlho de Séllos Knoerr – UNICURITIBA
Comunicação – Prof. Dr. Matheus Felipe de Castro – UNOESC

D597
Direito ambiental, sustentabilidade e direitos da natureza II [Recurso eletrônico on-line] organização CONPEDI/UNA/UCR/IIDH/IDD/UFPB/UFG/Unilasalle/UNHwN;

Coordenadores: Cristiane Derani, Elcio Nacur Rezende, Germana De Oliveira Moraes – Florianópolis: CONPEDI, 2017.

Inclui bibliografia
ISBN: 978-85-5505-389-4
Modo de acesso: www.conpedi.org.br em publicações
Tema: Direitos Humanos, Constitucionalismo e Democracia no mundo contemporâneo.

1.Direito – Estudo e ensino (Pós-graduação) – Encontros Internacionais. 2. Meio Ambiente. 3. Sustentabilidade. 4.Natureza. I. Encontro Internacional do CONPEDI (6. : 2017 : San José, CRC).

CDU: 34

Universidad Nacional de Costa Rica
Heredia – Costa Rica
www.una.ac.cr

Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito Florianópolis – Santa Catarina – Brasil

Universidad de Costa Rica San José – Costa Rica https://www.ucr.ac.cr

VI ENCONTRO INTERNACIONAL DO CONPEDI - COSTA RICA

DIREITO AMBIENTAL, SUSTENTABILIDADE E DIREITOS DA NATUREZA II

Apresentação

O VI Encontro Internacional do CONPEDI ocorreu nas cidades de Heredia, San José e San Ramón, na Costa Rica, em parceria com a Universidad Nacional (UNA) e a Universidad de Costa Rica - Sede Occidente (UCR) e teve como temática central: Direitos Humanos, Constitucionalismo e Democracia no mundo contemporâneo.

O Grupo de Trabalho intitulado Direito ambiental, sustentabilidade e direitos da natureza II, foi coordenado pelos Professores Doutores Germana De Oliveira Moraes (Universidade Federal do Ceará), Cristiane Derani (Universidade Federal de Santa Catarina) e Elcio Nacur Rezende (Escola Superior Dom Helder Câmara).

Assim, tivemos a honra de presenciar a apresentação oral de pesquisas científicas de quilate, realizadas por professores de Direito do Brasil e de outros países.

A partir das pesquisas realizadas, surgiu a oportunidade de apresentarmos à comunidade científica esta coletânea que traduz, em toda sua complexidade, os principais questionamentos do Direito e Sustentabilidade na atualidade.

Em comum, esses artigos guardam o rigor da pesquisa e o cuidado nas análises, que tiveram como objeto o Direito, Meio Ambiente e Sustentabilidade na cotemporaneidade, abrangendo a gestão dos riscos na sociedade hodierna, as políticas públicas e seus instrumentos de implementação.

De Luiz Gustavo Gonçalves Ribeiro e Elcio Nacur Rezende, o artigo A TUTELA PENAL DO AMBIENTE NO BRASIL E NA COSTA RICA, trata da tutela penal do ambiente no Brasil e na Costa Rica e traz considerações sobre essa tutela a partir do comando de ampla proteção ambiental previsto na Constituição dos dois países.

Lyssandro Norton Siqueira e Beatriz Souza Costa com o artigo intitulado A JUSTIÇA AMBIENTAL E A NECESSIDADE DE MAIOR EFETIVADADE DAS AÇÕES DE REPARAÇÃO POR DANOS AMBIENTAIS: O CASO DE MARIANA identificam a

efetividade das normas legais que exigem das empresas atuação responsável e sustentável, e o entendimento das cortes brasileiras, quanto aos danos ambientais provocados pelas atividades extrativas a partir da maior tragédia ambiental brasileira.

QUESTÕES DA POLÍTICA URBANA SOTEROPOLITANA: NO MEIO DO CAMINHO TINHA UMA AVENIDA, TINHA UMA AVENIDA NO MEIO DO CAMINHO de autoria de Analice Nogueira Santos Cunha e Julio Cesar de Sá da Rocha, explica que a política urbana deve ser construída respeitando os princípios constitucionais e diretrizes legais que determinam um procedimento participativo para construção de um plano diretor, instrumento básico da política urbana, que efetive a cidade sustentável com meio ambiente preservado, e que garanta o bem-estar de seus cidadãos.

O texto RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA de Deilton Ribeiro Brasil apresenta as razões pela qual esta energia seria a tecnologia de produção energética ideal. Todavia alerta para os custos da tecnologia existente mas tem esperança na criação de um mercado competitivo que estimule a redução dos custos.

A LEGITIMIDADE DO MINISTÉRIO PÚBLICO BRASILEIRO PERANTE O SISTEMA INTERAMERICANO DE DIREITOS HUMANOS POR VIOLAÇÃO A DIREITOS HUMANOS AMBIENTAIS é o título do artigo de Jaime Meira do Nascimento Junior e Patrícia Nunes Lima Bianchi. O texto objetiva refletir sobre o alcance das funções institucionais do Ministério Público brasileiro na defesa dos direitos humanos ambientais perante a Corte Interamericana de Direitos Humanos.

Marcelo Kokke Gomes e Márcio Luís de Oliveira escreveram o artigo RESPOSTA SOCIOAMBIENTAL E DIREITO DOS DESASTRES: CONSIDERAÇÕES SOBRE O CASO MARIANA. O trabalho analisa o desastre ambiental de Mariana sob o marco teórico da sociedade de risco, do worst-case scenario doctrine e do Direito dos Desastres.

A NECESSIDADE DO GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS DOCES COMPARTILHADAS NO PAN AMAZÔNIA é o título do trabalho de Leonardo Leite Nascimento e Valmir César Pozzetti, onde sustentam que os países amazônicos tem encontrado dificuldades para viabilizar à gestão conjunta e integrada das águas doces compartilhadas. Assim, o trabalho teve como objetivo analisar a Cooperação Amazônica, efetivada com a criação da Organização do Tratado de Cooperação Amazônica, como solução ao alcance do desenvolvimento sustentável da região e melhora das condições de vida dos habitantes da Bacia Amazônica.

O artigo UM PENSAMENTO OUTRO PARA A SALVAGUARDA DOS SABERES DAS COMUNIDADES QUILOMBOLAS DE PIRATINI/RS de Márcia Rodrigues Bertoldi apresenta possibilidades de salvaguarda dos saberes locais de comunidades quilombolas em vias de extinção. A partir da perspectiva da decolonialidade traz relatos de integrantes da comunidade visando a valorização desses saberes e buscando formas de sua conservação.

TEMPORAL DE AÇO: ANÁLISE DA TRAGÉDIA AMBIENTAL DE MARIANA SOB A PERSPECTIVA DA TESE IX DE WALTER BENJAMIN COM BASE NA OBRA DE MICHEL LÖWY é o artigo de Paulo Velten. O texto pretende analisar a tragédia ambiental de Mariana sob a perspectiva da Tese IX de Walter Benjamin com base na obra de Michael Löwy, relacionando-a, ainda, à ideia de justiça como algo atrelado à natureza.

Desejamos uma excelente leitura, rogando que além do engrandecimento intelectual, o leitor possa se conscientizar ainda mais da importância de vivermos em um Meio Ambiente ecologicamente equilibrado.

Profa. Dra. Germana De Oliveira Moraes - UFC

Profa. Dra. Cristiane Derani - UFSC

Prof. Dr. Elcio Nacur Rezende - ESDHC

RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

Deilton Ribeiro Brasil [1]

Resumo

As fontes convencionais de carbono estão associadas a problemas como as alterações climáticas e a limitação de recursos. O futuro da humanidade se engloba no avanço e no aproveitamento do maior recurso natural existente, o sol, na construção de um mundo mais sustentável. Dentre as energias renováveis, a energia solar fotovoltaica começa a ser competitiva com outras fontes de energia. A pesquisa é de natureza teórico-bibliográfica seguindo o método descritivo-analítico que instruiu a análise de leis e resoluções sobre o tema, bem como a doutrina que informa os conceitos de ordem dogmática.

Palavras-chave: Recursos energéticos renováveis, Desenvolvimento sustentável, Energia solar fotovoltaica, Demanda de energia, Campos de utilização

Abstract/Resumen/Résumé

The conventional carbon sources are associated with problems such as climate changes and the limitation of resources. The future of mankind includes the advancement and the use of the biggest existent natural resource, the sun, in the construction of a more sustainable world. Among the renewable energies, the photovoltaic solar energy begins to be competitive with other sources of energy. It's a theoretical-bibliographical-natured research guided by a descriptive-analytical method about related laws and normative resolutions, as well as the doctrine that informs the concepts of dogmatic order.

Keywords/Palabras-claves/Mots-clés: Renewable energy resources, Sustainable development, Photovoltaic solar energy, Energy demand, Areas of application

[1] Pós-doutorando pela Universidade de Ljubljana-Eslovênia. Professor do PPGD Mestrado em "Proteção dos Direitos Fundamentais" e Graduação da Universidade de Itaúna (UIT) e Centro Universitário Presidente Tancredo de Almeida Neves (UNIPTAN).

INTRODUÇÃO

A energia permeia todos os setores da sociedade – economia, trabalho, ambiente, relações internacionais -, assim como nossas próprias vidas - moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer e muito mais. O uso dos recursos energéticos nos libertou de muitos trabalhos penosos e tornou nossos esforços mais produtivos. Os seres humanos já dependeram de sua força muscular para gerar a energia necessária à realização de seus trabalhos. Hoje, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados depende da força muscular como fonte de energia (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 2).

A demanda global por energia triplicou nos últimos 50 anos e pode triplicar novamente nos próximos 30 anos. A maioria dessa demanda aumentada no passado ocorreu nos países industrializados e 90% dela foi satisfeita por combustíveis fósseis. Projeta-se que o consumo de energia nos países industrializados vá aumentar apenas 1% ao ano nas próximas décadas, enquanto nos países em desenvolvimento essa taxa de crescimento será de aproximadamente 3% por ano. Se tais projeções se tornarem realidade, os países em desenvolvimento estarão consumindo mais energia que os industrializados por volta de 2025 (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 7-8).

O nosso comportamento exerce grandes pressões sobre o planeta. Ao longo do século XX, registrou-se um aumento sem precedentes na utilização de combustíveis fósseis e na extração de recursos materiais (respectivamente, 12 e 34 vezes mais). Até 2050, a procura de alimentos para consumo humano e animal e de fibras poderá aumentar 70%. Se continuarmos a utilizar os recursos naturais ao ritmo atual, serão necessários mais de dois planetas para garantir a nossa subsistência. Dessa forma, é fundamental produzir mais com menos, utilizar os recursos de uma forma sustentável e geri-los mais eficazmente ao longo do seu ciclo de vida (COMISSÃO EUROPEIA, 2015, p. 3-8).

Como os combustíveis fósseis representam 90% do nosso consumo de recursos energéticos, continuamos a aumentar as emissões de dióxido de carbono, que podem alterar irreversivelmente o clima da terra (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 3). A combinação de crescimento da população mundial, o consumo generalizado de energia fóssil e o desenvolvimento tecnológico dentro de um paradigma do carbono intensivo tem sido a causa principal do processo de

aquecimento global. As principais manifestações das mudanças climáticas são os fenômenos climáticos extremos – ondas de calor e frio mais intensas e prolongadas, secas, inundações, tormentas e furacões mais severos – e a retração de geleiras das montanhas, do Ártico e da Antártida, com impacto sobre o nível do mar imbricam-se em situações de vulnerabilidade ambiental (VIOLA, 2010, p. 47).

Segundo Lovelock (2006, p. 15-19), estamos abusando tanto da Terra que ela poderá se insurgir e retornar ao estado quente de 55 milhões de anos atrás e se isso acontecer, a maioria de nós e nossos descendentes morreremos. Ainda que cessássemos neste instante de arrebatar novas terras e águas de Gaia para a produção de alimentos e combustíveis e parássemos de envenenar o ar, a Terra levaria mais de mil anos para se recuperar do dano já infligido.

2. DA METODOLOGIA UTILIZADA

O método utilizado para a realização do trabalho foi descritivo-analítico com a abordagem de categorias consideradas fundamentais para o desenvolvimento do tema sobre os recursos energéticos renováveis e em modo especial da energia solar fotovoltaica. Os procedimentos técnicos utilizados na pesquisa para coleta de dados foram a pesquisa bibliográfica, a doutrinária e a documental. O levantamento bibliográfico forneceu as bases teóricas e doutrinárias a partir de livros e textos de autores de referência, tanto nacionais como estrangeiros. Enquanto o enquadramento bibliográfico utiliza-se da fundamentação dos autores sobre um assunto, o documental articula materiais que não receberam ainda um devido tratamento analítico. A fonte primeira da pesquisa é a bibliográfica que instruíram a análise da legislação constitucional e a infraconstitucional, bem como a doutrina que informa os conceitos de ordem dogmática.

3. COMPREENDENDO O QUE É ENERGIA

Para Simioni (2010, p. 28), a energia geralmente é definida de acordo com o seu uso. Daí a definição da energia como a capacidade de realizar trabalho: levantar um peso, produzir movimento, aquecimento, resfriamento etc. Com referência às dimensões especiais e temporais aparecem os conceitos de potência e força. A potência é a energia relacionada ao tempo e se mede em termos de taxa de

transferência de energia. A força é taxa de transferência de energia em relação à distância percorrida. Sob a forma de taxa de transferência, constroem-se também os conceitos de pressão (em relação ao volume), torque (em relação ao ângulo0, tensão superficial (em relação à superfície) e voltagem (em relação à carga elétrica)

A energia é encontrada em muitas formas, como o vento ou a água corrente e armazenada em matéria, como os combustíveis fósseis – petróleo, carvão, gás natural -, que pode ser queimada para uma "ação vigorosa". A energia é mais bem descrita pelo que ela pode fazer. Não podemos "ver" a energia, apenas seus efeitos, não podemos fazê-la, apenas usá-la; e não podemos destruí-la, apenas desperdiçá-la (ou seja, utilizá-la de forma ineficiente). Melhor explicando, a energia não é criada ou destruída, mas apenas convertida ou redistribuída de uma forma para outra, como, por exemplo, a energia eólica transformada em energia elétrica, ou a energia química em calor. Fontes alternativas de energia incluem a energia hidroelétrica, a biomassa (madeira e derivados), o vento (energia eólica), a energia fotovoltaica e a energia radiante solar para aquecimento, refrigeração e a produção de eletricidade (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 3-12).

3.1 Energia solar

Conforme Hinrichs; Kleinbach; Reis (2012, p. 180), os recursos energéticos renováveis proporcionam muitas vantagens para um mundo carente de energia. Eles podem ser usados de várias maneiras, em conformidade com os esforços globais em políticas públicas voltadas para as questões ambientais, especialmente as relacionadas com a mudança do clima.

Como energia solar se descreve a energia obtida do sol, chegando na superfície da Terra como ondas eletromagnéticas (fótons), seja de maneira direta ou difusa. No sol, é a fusão atômica a responsável pela liberação dessa energia – um gigantesco processo termonuclear que converte cerca de 650 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio cada segundo. Na Terra, a energia solar é a origem do ciclo d'água, do vento e da fotossíntese do reino vegetal, do qual depende o reino animal através das cadeias alimentares (DIENSTMANN, 2009, p. 15).

O sol irradia de forma bastante constante. A intensidade dessa irradiação no nível da atmosfera é de cerca 1.367 kW/m², valor também conhecido como constante solar. Uma parte dessa irradiação é refletida pela atmosfera: outra,

absorvida por ela em forma de calor e uma terceira parte atinge a superfície terrestre, sendo parcialmente absorvida e parcialmente refletida novamente para a atmosfera. A divisão entre reflexão, absorção e transmissão depende do estado da atmosfera: umidade do ar, nebulosidade e a distância que os raios solares percorrem atravessando a atmosfera. A média mundial de energia irradiada, mesmo sobre as 24 horas do dia, é de cerca 165 W/m², ou mais do que 5 mil vezes a necessidade energética da humanidade (DIENSTMANN, 2009, p. 15).

A temperatura relativamente constante do planeta é resultante do equilíbrio de energia entre a radiação solar que chega e a energia irradiada pela Terra. A maior parte da radiação infravermelha emitida pelo planeta é absorvida pelo CO_2 e pelo H_2O (e por outros gases) da atmosfera e, então, irradiada de volta para a Terra ou para o espaço exterior. Essa irradiação que volta para a Terra é conhecida como efeito estufa, e é ela que mantém a temperatura da superfície do planeta cerca de 40ºC mais alta do que seria se não houvesse absorção, ou melhor, a temperatura média da superfície da Terra seria em torno de - 15ºC se não existisse a atmosfera (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 183).

O uso da energia solar para aquecimento pode ser rastreado de volta à Antiguidade. Arquimedes comprovadamente utilizou espelhos para direcionar os raios solares e atacar uma frota hostil, em 212 a.C., incendiando suas velas. Nos séculos XVII e XVIII, cientistas concentraram os raios solares em espelhos ou lentes para derreter metais. Antoine Lavoisier (1743-1794), frequentemente chamado de pai da química moderna, atingiu temperaturas próximas a 1.700 ºC (3.100 ºF) usando o sol, temperaturas essas mais altas do que as obtidas por qualquer um naquela época. Aquecedores solares de vapor foram desenvolvidos no fim do século XIX para produzir vapor e movimentar motores (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 189-190).

A utilização da energia solar para cozinhar remonta à metade final do século XVIII. Em 1767, o cientista suíço H. B. DeSaussure obteve temperaturas altas o suficiente para cozinhar em uma caixa isolada com várias camadas de vida. Mouchot aprimorou essa ideia na década de 1860 ao utilizar um refletor parabólico para focalizar a radiação solar em um recipiente de vidro. Ele foi capaz de ferver 3 litros de água em uma hora e meia (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 193).

A energia solar também pode ser convertida em eletricidade de duas maneiras: a) através do efeito fotovoltaico, no qual células feitas de um material

semicondutor, por exemplo, o silício, ao ser exposto à luz (fótons) produz uma corrente elétrica ou b) concentração da energia solar através de espelhos, de forma a aquecer um fluido de trabalho (gás ou líquido pressurizado, que no caso de torres termossolares pode ser até mesmo água do mar) para produzir vapor a elevadas temperaturas (150 a 1000 ℃). O vapor é utilizado para mover turbinas conectadas a geradores elétricos (ABINEE, 2012, p.126).

O Relatório Especial sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação da Mudança Climática publicado pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), agregou a energia solar direta em cinco grandes blocos: 1) solar passiva, onde se insere a arquitetura bioclimática; 2) solar ativa, onde se inserem o aquecimento e a refrigeração solares; 3) solar fotovoltaica, para produção de energia elétrica com e sem concentradores; 4) a geração de energia elétrica a partir de concentradores solares térmicos para altas temperaturas e; 5) um processo inspirado na fotossíntese através do qual, em um reator alimentado por dióxido de carbono (CO^2), água e metal ou óxido metálico, exposto à radiação solar, produz-se hidrogênio, oxigênio e monóxido de carbono. Neste caso, o hidrogênio seria o combustível solar a alimentar células a combustível, não mais produzido a partir de gás natural, mas da quebra da molécula da água através da luz solar (IPCC, 2014).

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente o Nordeste. Na região do semi-árido estão os melhores índices, com valores típicos de 1.732 a 2.190 kWh/m² por ano de radiação incidente. Essa característica coloca o país em vantagem com relação aos países industrializados no que tange à utilização da energia solar fotovoltaica (BRAGA, 2008, p. 21).

Quanto às vantagens, a energia solar fotovoltaica apresenta diversas. Trata-se de uma energia limpa, pois não gera nenhum tipo de poluição. A vida útil dos módulos é superior a 25 anos, requerendo mínima manutenção. A instalação é simples e não há consumo algum de combustível. As vantagens fundamentais são: não produz poluição nem contaminação ambiental; é silencioso; é resistente a condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e umidade); não possui peças móveis e, portanto, exige pouca manutenção (só a limpeza do painel); permite aumentar a potência instalada através de incorporação de módulos adicionais; e gera energia mesmo em dias nublados. As principais desvantagens são: as células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para sua fabricação; o custo de investimento é elevado; o rendimento real de conversão de um módulo é reduzido,

face ao custo de investimento; seu rendimento é atrelado ao índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens, dentre outros (BRAGA, 2008, p. 31-32).

4. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS

4.1 Energia solar: campos de utilização

Neste caso, o interesse é na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica não somente em saber captá-la, mas também em como armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específica de se utilizar a energia solar térmica são os conhecidos como coletores solares (GTES, 2014, p. 48).

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificado em coletores concentradores e coletores planos, em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido pode ser mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final. Os coletores concentradores estão associados a aplicações em temperaturas superiores a 100 ºC, podendo alcançar temperaturas de até 400 ºC para o acionamento de turbinas a vapor e posterior geração de eletricidade. Já os coletores planos são utilizados fundamentalmente para aplicações residenciais e comerciais em baixa temperatura (por volta de 60 ºC), tais como: água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, aquecimento de piscinas, água aquecida para limpeza em hospitais e hotéis, etc. (GTES, 2014, p. 48).

Os sistemas mais comuns para o fornecimento de água quente para propósitos e usos domésticos (AQD) é o coletor de placa plana (CPP). O componente básico desse coletor é uma placa de metal final e plano que absorve a radiação solar. A água nas tubulações entra em contato com a placa absorvedora e é posta em circulação por uma bomba para retirar o calor. A placa é pintada de preto para aumentar sua capacidade de absorção e geralmente é coberta por uma ou duas placas de plástico ou vidro transparentes. No caso do aquecimento de piscinas, normalmente a placa absorvedora não é coberta, já que temperaturas mais baixas de água são aceitáveis. O aquecimento da água em um recipiente coberto

com vidro é similar ao que acontece em uma estufa agrícola ou em um carro estacionado com todas as janelas fechadas. Mesmo em um dia frio de inverno, quando o sol brilha, um carro pode ter a sua temperatura interna elevada a níveis desconfortáveis. No coletor, o vidro tem dois objetivos: atuar como um escudo de radiação que aprisiona o calor emitido pela placa absorvedora e como uma tampa que reduz a perda de calor por convecção vertical simples. O vidro é opaco para a radiação de comprimento de onda emitida pela placa aquecida, mas pode transmitir 90% da radiação incidente. Isolamento térmico atrás e dos lados da placa absorvedora reduz as perdas por condução (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2012, p. 198-199).

4.2 Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações

O efeito fotovoltaico, primeiramente descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, implica no aparecimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz. Em 1876 foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico advindo dos estudos da física do estado sólido e, apenas em 1956, iniciou-se a produção industrial, seguindo o crescimento da área de eletrônica (GTES, 2014, p. 52).

Inicialmente, o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a chamada “corrida espacial”. A célula fotovoltaica era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo, peso e segurança) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de alimentação de equipamentos eletroeletrônicos no espaço (GTES, 2014, p. 52).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão. As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração é dividida em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia

consolidada e confiável, e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível (GTES, 2014, p. 50-51).

A segunda geração, comercialmente denominada de filmes finos, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta menor eficiência do que a primeira e tem uma modesta participação do mercado, competindo com a tecnologia c-Si. Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala (GTES, 2014, p. 51).

A terceira geração, ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*), células sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) e células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*). A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou ter um potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora o seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que atualmente dominam o mercado (GTES, 2014, p. 51).

Dessa forma, as células fotovoltaicas são os elementos responsáveis pela conversão direta da luz solar em eletricidade. É nelas que ocorre o efeito fotoelétrico. A primeiras células produzidas possuíam baixo rendimento, em torno de 2%, e custavam em média US$ 600/W. Porém, atualmente já se pode encontrar células com rendimento acima de 10%, podendo atingir 18% dependendo do material utilizado e com custo médio de US$ 6,00/W, tendendo a diminuir cada vez mais. Elas podem ser fabricadas usando-se diversos tipos de materiais semicondutores. Porém as mais utilizadas são as de silício, que podem ser constituídos e classificados de acordo com a sua estrutura molecular, que são os monocristalinos, policristalinos e silício amorfo (BRAGA, 2008, p. 33).

A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Esse processo atinge um grau de pureza entre 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para funcionar como célula fotovoltaica necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de

pureza maior, devendo chegar à faixa de 99,9999%. Para utilizar o silício na indústria eletrônica, além do alto grau de pureza, o material deve ter a estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede. O processo mais utilizado para chegar às qualificações desejadas é chamado “processo Czochralski” (BRAGA, 2008, p. 33-34).

As células de silício policristalino (também conhecido como silício multicristalino), são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação às células de silício monocristalino. Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos somente o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. A eficiência teórica máxima do processo de conversão de luz solar em energia elétrica é de 27%, mas valores nas faixas de 15 a 18% são encontrados em produtos comerciais (BRAGA, 2008, p. 35).

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil. Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências apontadas, são elas: a) processo de fabricação relativamente simples e barato; b) possibilidade de fabricação de células com grandes áreas; c) baixo consumo de energia na produção (BRAGA, 2008, p. 36).

Os dispositivos de filmes finos são fabricados pela pulverização de finas camadas de silício sobre uma base feita de material rígido ou flexível. O custo dos filmes finos é menor, pois em sua fabricação não há serragem de lingotes,

ocorrendo menos desperdício de material e menor consumo de energia, pois os processos de fabricação empregam temperaturas menores do que as utilizadas na fabricação do silício cristalino. Além disso, a fabricação é menos complexa, tornando mais simples a automatização dos processos e facilitando a produção em grande volume (GAZOLI, VILLALVA, GUERRA, 2012, p. 52).

Apesar do baixo custo de fabricação, os dispositivos de filmes finos têm baixa eficiência e exigem maior área instalada para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas, tornando mais elevados os custos de instalação. Uma vantagem dos filmes finos é o seu baixo coeficiente de redução de potência com o aumento da temperatura, o que os torna mais adequados para locais com temperaturas muito elevadas. Os módulos de filmes finos sofrem degradação de maneira mais acelerada do que os cristalinos, o que pode ser um aspecto muito inconveniente para esta tecnologia (GAZOLI, VILLALVA, GUERRA, 2012, p. 52).

5. AÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA O APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica foram instalados no Brasil no final dos anos 90 em concessionárias de energia elétrica, universidades e centros de pesquisa. A CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco foi pioneira nesta área ao instalar um sistema fotovoltaico de 11 kWp em 1995, em sua sede em Recife-PE. Outros sistemas pioneiros foram instalados na USP - Universidade de São Paulo, na UFSC – Universidade de Santa Catarina, na UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul e no CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica no Rio de Janeiro (GTES, 2014, p. 62).

A regulamentação para sistema fotovoltaicos conectados à rede de distribuição, associados a unidade consumidores foi regulamentada pela ANEEL por intermédio da Resolução Normativa nº 482/2012, que trata da micro e minigeração distribuída, correspondendo, respectivamente, a potências iguais ou inferiores a 75 kWp, e superiores a 75 kWp até 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada e o sistema de compensação de energia elétrica, de acordo com o qual é feito um balanço entre a energia consumida e a gerada na unidade consumidora (modelo *net-metering*).

Nesse sentido, o *net-metering* subsidia apenas a energia produzida líquida, ou seja, o apoio é dado à diferença entre a energia produzida e a energia consumida. Em outras palavras, o sistema *net-metering* é um tipo de autoconsumo, que usa a rede como sistema de armazenagem e como recurso de energia, se o sistema não produzir energia para satisfazer as necessidades energéticas. Isto pode significar uma mudança de comportamento no uso da energia e uma poupança na fatura da eletricidade.

Para efeitos da Resolução Normativa nº 482/2012, ficam adotadas as seguintes definições conforme art. 2º:

> I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)
> II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)
>
> III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)
>
> [...]

O sistema de medição deve atender às mesmas especificações exigidas para unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da microgeração ou minigeração distribuída, acrescido da funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica (medição de consumo e de geração). A medição bidirecional pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais, um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a energia elétrica ativa gerada, caso seja a alternativa de menor custo ou haja solicitação do titular da unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída. A distribuidora é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o

acessante no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição (ANEEL, 2016, p. 11).

No caso de conexão de minigeração distribuída, o acessante é responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição, nos termos da regulamentação específica. Para o caso de conexão de central geradora em unidade consumidora existente, sem necessidade de aumento da potência disponibilizada[1], a distribuidora não pode exigir a adequação do padrão de entrada da unidade consumidora em função da substituição do sistema de medição existente, exceto se for constatado descumprimento das normas e padrões técnicos vigentes à época da sua primeira ligação, ou se houver inviabilidade técnica devidamente comprovada para instalação do novo sistema de medição no padrão de entrada existente (ANEEL, 2016, p. 12).

5.1 Sistema de compensação de energia elétrica

Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses (ANEEL, 2016, p. 15)

Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios), em local diferente do ponto de consumo, definidas da seguinte forma conforme ANEEL (2016, p. 15-16): a) Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores,

[1] Por potência disponibilizada (inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414/2010), considera-se a potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da unidade consumidora, calculada da seguinte forma: a) unidade consumidora do grupo A: a demanda contratada, expressa em quilowatts (kW);e b) unidade consumidora do grupo B: a resultante da multiplicação da capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção geral da unidade consumidora pela tensão nominal, observado o fator específico referente ao número de fases, expressa em quilovolt-ampère (kVA). Para exemplificar o caso de consumidor do grupo B, se a capacidade do disjuntor da unidade consumidora for de 30 A (ampères), a tensão de atendimento for 220 V (volts) e instalação trifásica, tem-se: Potência disponibilizada = 30 A x 220 V x 3 = 19800 VA = 19,8 kVA. Assim, para o exemplo apresentado, considerando-se uma fator de potência de 0,92 para a instalação, pode-se instalar uma microgeração de até 18,216 kW (= 19,8 kVA x 0,92) nessa unidade consumidora atendida em baixa tensão

dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada; b) Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada; c) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento

Importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada (ANEEL, 2016, p. 16).

O sistema de compensação de energia tem seu modo de faturamento estabelecido no art. 7º da Resolução Normativa nº 482/2012, podendo-se resumir a seguir os procedimentos adotados quando a geração está instalada no mesmo local de consumo conforme regras da ANEEL (2016, p. 17) : a) A energia injetada em determinado posto tarifário (ponta, fora de ponta ou intermediário), se houver, deve ser utilizada para compensar a energia consumida nesse mesmo posto; b) Se houver excedente, os créditos de energia ativa devem ser utilizados para compensar o consumo em outro posto horário, se houver, na mesma unidade consumidora e no

mesmo ciclo de faturamento; c) O valor a ser faturado é a diferença positiva entre a energia consumida e a injetada, considerando-se também eventuais créditos de meses anteriores, sendo que caso esse valor seja inferior ao custo de disponibilidade, para o caso de consumidores do Grupo B (baixa tensão), será cobrado o custo de disponibilidade; d) Para os consumidores do Grupo A (alta tensão), não há valor mínimo a ser pago a título de energia. Contudo, os consumidores continuam sendo normalmente faturados pela demanda; e) Após a compensação na mesma unidade consumidora onde está instalada a micro ou minigeração distribuída, se ainda houver excedente, um percentual dos créditos poderá ser utilizado para abater o consumo de outras unidades escolhidas pelo consumidor no mesmo ciclo de faturamento; e f) Os créditos remanescentes podem ser utilizados por até 60 meses após a data do faturamento.

5.2 Tecnologias de reciclagem das células fotovoltaicas

Embora a fonte solar seja caracterizada como limpa, é preciso considerar eventuais obstáculos de natureza ambiental. A produção de energia elétrica por células fotovoltaicas tem baixo impacto ambiental. Não há emissão de CO_2 na geração de energia elétrica. Em relação aos impactos visuais negativos os mesmos têm sido contornados e até transformados em aspectos positivos por meio da integração das instalações com as edificações. Ressalta-se que a produção de silício em grau solar consome grande quantidade de energia elétrica, o que pode ofuscar os ganhos positivos a depender da fonte de geração utilizada no processo produtivo. A emissão de poluentes no processo de fabricação de células fotovoltaicas é reduzida e controlada, pois a indústria tem interesse em preservar a imagem de a fonte solar ser limpa. Ademais, a energia produzida por um módulo de silício ao longo de 30 anos (prazo de sua vida útil) é 9 a 17 vezes maior que a energia consumida em sua produção (ABINEE, 2012), (SILVA, 2015, p. 38-39).

Abinee (2012) e Silva (2015) reconhecem que tecnologias de reciclagem para reuso das células de silício ainda não estão disponíveis em grande escala. Alguns países, todavia, têm buscado estratégias de reuso de materiais dos módulos, envolvendo o aproveitamento do silício, vidro, película de etileno-vinil-acetato (película de EVA) que é uma resina petroquímica.

Inatomi e Udaeta (2008) apontam os seguintes impactos ambientais negativos da fonte de energia solar: a) emissões associadas à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento dos sistemas; b) emissões de produtos tóxicos durante o processo da matéria prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO_2, SO_2, NOx, e particulados; c) ocupação de área para implantação do projeto e possível perda de habitat, se não for possível que os sistemas fotovoltaicos utilizem áreas e estruturas já existentes, como telhados, fachadas, etc.; d) impactos visuais, minimizados em função da escolha de áreas não sensíveis; e) riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo); f) necessidade de se disporem e reciclarem corretamente as baterias e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e nos componentes elétricos e eletrônicos.

A etapa de beneficiamento de silício, insumo para a produção dos módulos fotovoltaicos, produz resíduos (substancias tóxicas e corrosivas) que necessitam de cuidados especiais, em razão dos potenciais danos ambientais que podem provocar. Entretanto, o desenvolvimento da rota metalúrgica para a produção de silício grau solar, em fase experimental, demanda menos energia e reduz os impactos ao meio ambiente. Cumpre observar que a periculosidade na produção do silício já existe, e independe de seu aproveitamento como insumo na produção dos paineis fotovoltaicos (EPE, 2012), (SILVA, 2015, p. 40).

Os módulos fotovoltaicos são produzidos com incorporações de metais pesados, os quais possuem resistência à biodegradação. Materiais bromados, com chumbo e cromo hexavalente, podem estar presentes na parte eletrônica dos sistemas de geração, podendo gerar danos significativos aos ecossistemas e aos seres humanos. Assim, o descarte deverá ser adequado à presença dessas substâncias (REIS, 2015).

O descarte inadequado das baterias de chumbo-ácido utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados pode ocasionar impactos socioambientais, representando riscos à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente devido à possível contaminação do solo e de águas subterrâneas (TOLMASQUIM, 2016, p. 384)

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabeleceu princípios a serem observados por agentes econômicos, pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos municípios, quais sejam:

> Art. 37 - A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados se o responsável comprovar capacidade técnica e econômica e condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos;
>
> Art. 38 - As pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento, são obrigadas a se cadastrar no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos.
>
> Art. 39. As pessoas jurídicas referidas no art. 38 são obrigadas a elaborar plano de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-lo ao órgão competente do SISNAMA e, se couber, do SNVS, observado o conteúdo mínimo estabelecido no art. 21 e demais exigências previstas em regulamento ou em normas técnicas (BRASIL, 2010).

]Dessa forma, os problemas ambientais relacionados aos subprodutos, na fabricação e no descarte (após a vida útil) dos módulos fotovoltaicos, podem ser mitigados se os princípios da lei da Política Nacional de resíduos sólidos forem observados. Caso não sejam atendidos os requisitos legais, a consequência óbvia seria a inviabilidade do aproveitamento da fonte solar (SILVA, 2015, p. 40).

No entanto, apesar de a energia solar fotovoltaica ser avaliada como uma fonte limpa deve-se analisar com mais profundidade todo o processo e ciclo de vida da tecnologia para se ter um melhor entendimento. Ela apresenta no seu ciclo de fabricação e funcionamento etapas que necessitam de uma maior atenção em função dos impactos ambientais. Os processos de extração, beneficiamento e purificação do silício apresentam efeitos nocivos ao ambiente e devem ser considerados quando da análise da geração de energia através dos paineis fotovoltaicos (REIS, 2015, p. 16).

O processo de fabricação dos paineis fotovoltaicos se assemelha muito ao processo produtivo da indústria eletrônica. As duas tecnologias se baseiam na utilização do silício como matéria-prima, objetivando a fabricação de semicondutores com um grau de pureza elevado do silício. Dessa forma muitos dos impactos e

riscos presentes na indústria eletrônica estão presentes na fabricação dos componentes fotovoltaicos (REIS, 2015, p. 16).

No Brasil, atualmente não existe um grande desenvolvimento na purificação de silício até o grau solar em nível comercial, a maior parte da produção se concentra no silício em grau metalúrgico (IPT, 2015). O processo de desenvolvimento da tecnologia no país se encontra em fase muito inicial, se concentrando nas pesquisas em laboratórios. Os detalhes das atividades presentes no processo produtivo do módulo fotovoltaico são pouco conhecidos e dessa maneira os impactos ambientais advindos da cadeia produtiva são pouco estudados (REIS, 2015, p. 17).

A inserção de uma nova tecnologia na matriz elétrica brasileira exige uma cuidadosa avaliação do seu impacto no longo prazo, que considere as especificidades do setor elétrico nacional. Analisar a viabilidade passa por pensar nas questões do licenciamento ambiental e dispor de uma metodologia que oriente, direcione e agilize neste processo. Essa ponderação é de extrema importância para se conseguir desenvolver e implementar a tecnologia, impulsionando o país para se tornar referência do setor. O licenciamento ambiental deve ser visto como uma ferramenta para avaliar e mitigar os inevitáveis impactos ambientais gerados pela colocação de mais essa tecnologia na matriz energética do país. Qualquer fonte de geração de energia elétrica produz impactos sobre o meio ambiente e sobre a sociedade. O que deve ser procurado é viabilização dos processos e técnicas para que haja vantagem socioambiental deste empreendimento (REIS, 2015, p. 18).

CONCLUSÕES

A utilização de fontes alternativas de energia, mais especificamente a energia solar fotovoltaica se faz necessária por se constituir em um tipo de geração de energia limpa que atua como vetor de preservação do meio ambiente atendendo os preceitos constitucionais insculpidos na Constituição Federal de 1988.

O custo das células fotovoltaicas é, ainda hoje, um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas voltaicos em larga escala. No entanto, a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, em razão, tanto dos seus custos decrescentes quanto dos custos

crescentes das demais formas de produção de energia, inclusive em razão dos impactos ambientais (GTES, 2014, p. 57).

A Resolução Normativa - REN nº 482, de 17/04/2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente.

Uma inovação trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012 é o sistema de compensação de energia elétrica. Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um "crédito de energia" que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses.

Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a "sobra" da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Em outra palavras, esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente. Também há a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltipas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condônimos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

Dessa forma, a instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vai contribuir para o aumento da disponibilidade de eletricidade do país, ajudando a poupar água nos reservatórios das hidrelétricas nos períodos de seca. Além disso, os sistemas fotovoltaicos vão reduzir a necessidade de se construir usinas baseadas em fontes poluentes, contribuindo assim para a manutenção da característica da matriz elétrica brasileira, predominantemente limpa e renovável.

A base do desenvolvimento sustentável é um sistema de mercados abertos e competitivos em que os preços refletem com as transparências dos custos, inclusive os ambientais, pode-se dizer que a existência de um mercado competitivo estimulará a queda nos preços dos sistemas de produção de energia solar, de modo que se busque criar novas tecnologias que, sob o viés econômico e ambiental, tornam a produção energética mais eficiente, minimizando a poluição e os impactos

ambientais. Assim, na medida em que se obtêm avanços tecnológicos e um mercado mais competitivo, os custos tendem a diminuir, visando no futuro à perspectiva de que a energia solar possa concorrer com os preços de fontes de geração de energia impactantes ao meio ambiente, como as oriundas de combustíveis fósseis (ALMEIDA, 2002).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **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: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 18 jun. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Micro e minigeração distribuída**: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ALMEIDA, Fernando. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - ABINEE. **Propostas para a inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. Grupo setorial de sistemas fotovoltaicos da ABINEE: LCA-PSR, jun.-2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2016.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos e aplicações. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Departamento de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília - Distrito Federal, 18 outubro de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil-03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 16 jun. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Publicada no **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 19 jun. 2016.

BRASIL. Decreto nº 2.335, de 06 de outubro de 1997. Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos cargos em comissão e funções de confiança e dá outras providencias. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 out. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2335.htm>. Acesso em: 16 jun. 2016.

COMISSÃO EUROPEIA. **Compreender as políticas da União Europeia**: um ambiente saudável e sustentável para as gerações atuais e vindouras. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2015.

DIENSTMANN, Gustavo. **Energia solar**: uma comparação de tecnologias. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24308>. Acesso em: 17 jun. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanço energético nacional 2012 - ano base 2011**: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

GAZOLI, Jonas Rafael; VILLALVA, Marcelo Gradella; GUERRA, Juarez. Energia solar fotovoltaica. In: **Revista Eletrônica "O setor elétrico"**. Edição 81, out.- 2012. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/revista-eletronica.html>. Acesso em 19 jun. 2016.

HINDRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e meio ambiente**. Trad. Técnica Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana - Escola Politécnica; Instituto de Eletrotécnica e Energia. Universidade de São Paulo - USP. 2008. Disponível em: <http://seeds.usp.br/portal/uploads/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Rota metalúrgica para produção de silício grau solar**. Disponível em: <http://www.ipt.br/projetos/5.htm>. Acesso em: 20 jun. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2014**: mitigation of climate change. Working group III contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, *et al.* (Eds.). New York: Cambridge University Press, 2014.

LOVELOCK, James. **A vingança de gaia**. Tradução de Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.

MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Grupo de trabalho de Energia Solar – GTES**. Edição atualizada e revisada. PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antônio (Orgs.). Rio de Janeiro, mar.- 2014.

REIS, Dartisson de Castro. **Análise crítica do processo de licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas**. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia. 2015. UFMG. Disponível em: <http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/1138M.PDF>. Acesso em 20 jun. 2016.

SILVA, Rutelly Marques. **Energia solar no Brasil**: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, fev.-2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 20 jun. 2016.

SIMIONI, Rafael Lazzarotto. **Direito, energia e tecnologia**: a reconstrução da diferença entre energia e tecnologia na forma da comunicação jurídica. Curitiba: Juruá, 2010.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VIOLA, Eduardo J. Evolução da mudança climática na agenda internacional e transição para uma economia de baixo carbono, 1990-2009. *In:* FERREIRA, Heline Sivini; MORATO, José Rubens; BORATTI, Larissa Verri (Orgs.). **Estado de direito ambiental**: tendências. 2. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2010.