

ENERGIA FOTOVOLTAICA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

PHOTOVOLTAIC ENERGY AND ITS CONTRIBUTIONS TO REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT

Matheus Emanuel Batista Faustino*

Francisco Vieira de Oliveira**

RESUMO

O desenvolvimento sustentável passou a desempenhar papel muito importante no centro das recentes políticas nacionais, estratégias e planos de desenvolvimento de muitas nações. As fontes de energia renováveis são estratégias que corroboram com os objetivos sustentáveis, são distribuídas de forma uniforme em todo o mundo se comparada com os fósseis e, em geral, são menos comercializadas no mercado. A expressão energia solar “direta” refere-se à base energética para as tecnologias de fontes de energia renovável que se baseiam diretamente na energia do sol. A tecnologia de energia solar é originada a partir da irradiação solar para gerar eletricidade usando energia fotovoltaica. O objetivo de desenvolvimento sustentável sete (energia acessível e limpa) visa garantir que a energia seja limpa, acessível, disponível e acessível a todos e isso pode ser alcançado com fontes de energia renováveis, uma vez que geralmente são distribuídas por todo o planeta. Por meio de uma revisão de literatura, esse estudo tem como examinar as potencialidades e tendências do desenvolvimento sustentável com fontes de energia renováveis e mitigação das alterações climáticas, até que ponto pode ajudar e os potenciais desafios que coloca e como a mudança de fontes de energia fóssil para renováveis é uma maneira segura de mitigar as mudanças climáticas.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade, Redução Efeito Estufa, Tendências do Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

Sustainable development has come to play a very important role at the heart of recent national policies, strategies and development plans of many nations. Renewable energy sources are strategies that support sustainable objectives, are evenly distributed around the world compared to fossils and, in general, are less commercialized in the market. The expression “direct” solar energy refers to the energy base for renewable energy source technologies that rely directly on energy from the sun. Solar energy technology originates from solar irradiation to generate electricity using photovoltaic energy. Sustainable development goal seven (Affordable and Clean Energy) aims to ensure that energy is clean, affordable, available and accessible to all and this can be achieved with renewable energy sources as they are generally distributed across the planet. Through a literature review, this study examines the potential and trends of sustainable development with renewable energy sources and climate change mitigation, to what extent it can help and the potential challenges it poses and how changing energy sources fossil to renewable is a sure way to mitigate climate change.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic Energy, Sustainability, Greenhouse Effect Reduction, Sustainable Development Trends.

1. INTRODUÇÃO

Para compreender o estado da arte da energia solar, alguns aspectos podem ser considerados como formas de obtenção da energia, suas vantagens e desvantagens, aplicações, mercado atual, custos e tecnologias. Aumentar a participação da energia fotovoltaica no mercado das energias renováveis requer, em primeiro lugar, sensibilizar para os seus benefícios; aumentar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias; geração de energia (ABBASI, 2010).

Segundo Ajanovic (2011) embora as células solares de silício cristalino fossem predominantes, outros tipos de células como: Célula Fotovoltaica de Película Fina (Thin Film) Célula Fotovoltaica de Silício Amorfo. Célula Fotovoltaica Disseleneto de Cobre Índio e Gálio (CIGS), células orgânicas como o polímero fotovoltaico, foram desenvolvidos, que podem competir, tanto em termos de redução de custos de produção, quanto em termos de maior eficiência. As principais aplicações são dominadas por telecomunicações, bombeamento de água, iluminação pública, BIPV, agricultura, aquecimento de água, secagem de grãos, dessalinização de água, veículos espaciais e satélites.

Os estudos encontrados sobre energia solar fotovoltaica são todos técnicos, criando assim a necessidade de futuras pesquisas relacionadas à viabilidade econômica, coordenação da cadeia de suprimentos, análise de barreiras e incentivos à energia solar fotovoltaica e estudos mais aprofundados sobre os fatores que influenciam o posicionamento de tais tecnologias no mercado.

Para alcançar uma rede elétrica baseada em geração renovável, fontes intermitentes, incluindo energia solar, devem ser combinadas com armazenamento. O armazenamento de energia térmica é uma solução bastante atrativa devido à sua simplicidade, escalabilidade e baixo custo, principalmente quando comparado ao armazenamento eletroquímico em baterias. No entanto, o armazenamento térmico impede o uso de conversão direta de energia solar em eletricidade com energia fotovoltaica, a menos que sejam usadas temperaturas de armazenamento extremamente altas. Em vez disso, a luz solar é absorvida como calor e usada para acionar imediatamente ou mais tarde (com armazenamento térmico) um motor térmico (ASUMADU, 2016).

As modernas usinas de energia solar concentrada realizam isso com ciclos termomecânicos que usam grandes turbo máquinas, resultando em altos custos de capital. Consequentemente, as usinas de energia solar concentrada geralmente devem ser muito grandes para gerar eletricidade com custo competitivo. Isso ajudou a motivar a pesquisa de motores térmicos alternativos de estado sólido que também poderiam oferecer simplicidade, escalabilidade e baixo custo (ASUMADU-SARKODIE et al., 2016).

Por meio de uma revisão de literatura, esse estudo tem como examinar as potencialidades e tendências do desenvolvimento sustentável com fontes de energia renováveis e mitigação das alterações climáticas, até que ponto pode ajudar e os potenciais desafios que coloca e como a mudança de fontes de energia fóssil para renováveis é uma maneira segura de mitigar as mudanças climáticas.

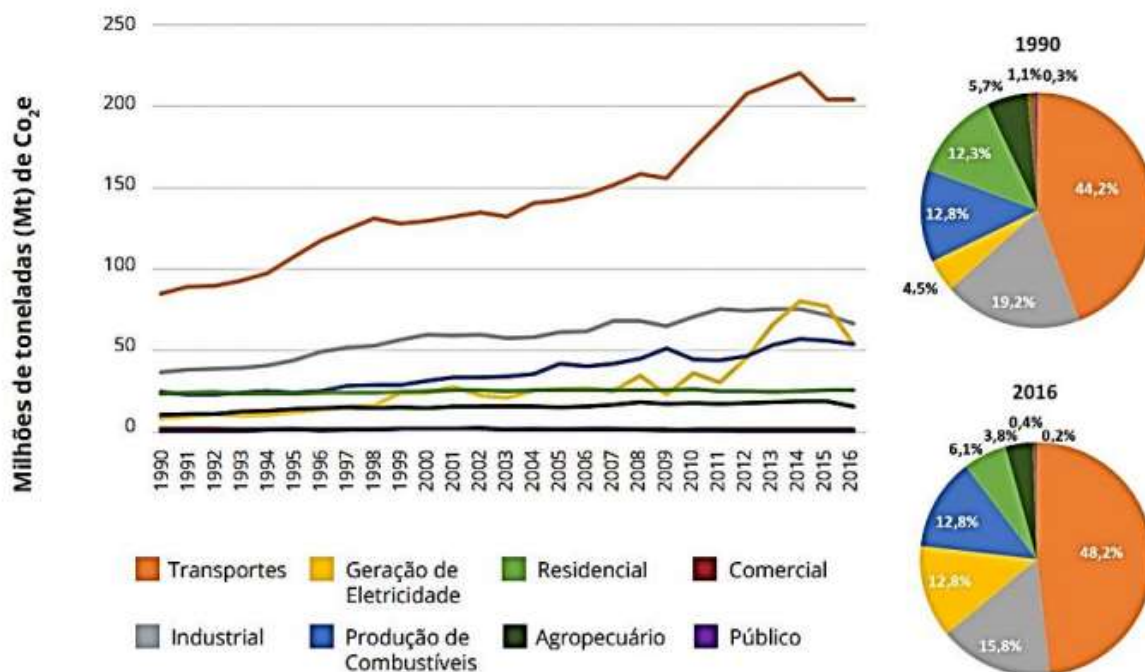
2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Conceito geral sobre energia

Historicamente, a primeira mineração comercial registrada de carvão ocorreu em 1.750, perto de Richmond, Virgínia. Momentaneamente, o carvão tornou-se o combustível preferido para motores a vapor devido à sua maior capacidade de carga de energia do que as quantidades correspondentes de combustíveis à base de biomassa (lenha e carvão). Vale ressaltar que o carvão era comparativamente mais barato e um combustível muito mais limpo nos séculos passados (ABBASI; PREMALATHA, 2011).

O domínio da geração de energia baseada em combustíveis fósseis (Carvão, Petróleo e Gás) e um aumento exponencial da população nas últimas décadas levaram a uma crescente demanda por energia resultando em desafios globais associados a um rápido crescimento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) emissões (ASUMADU; OWUSU, 2016).

Figura 1 - Emissões de CO₂ no setor de energia.



Fonte: Observatório do Clima.

Uma mudança climática significativa tornou-se um dos maiores desafios do século XXI. Seus graves impactos ainda podem ser evitados se forem feitos esforços para transformar os atuais sistemas de energia. As fontes de energia renováveis têm o potencial chave para substituir as emissões de gases de efeito estufa da geração de energia baseada em combustíveis fósseis e, assim, mitigar as mudanças climáticas (EDENHOFER et al., 2011).

O desenvolvimento sustentável tornou-se o centro das recentes políticas nacionais, estratégias e planos de desenvolvimento de muitos países. A Assembleia Geral das Nações Unidas propôs um conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) globais que incluíam 17 metas e 169 metas na ONU em Nova York pelo Grupo de Trabalho Aberto. Além disso, um conjunto preliminar de 330 indicadores foi introduzido em março de 2015 (LU; NAKICENOVIC; VISBECK; STEVANCE, 2015).

Os ODS dão mais valor e demandas à comunidade científica do que os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Ao abordar as mudanças climáticas,

energia renovável, alimentos, saúde e abastecimento de água requerem um monitoramento global coordenado e modelagem de muitos fatores que são sociais, econômico e ambientalmente orientados.

As pesquisas sobre fontes alternativas de energia datam do final dos anos 90, quando o mundo começou a receber o choque da produção de petróleo em termos de aumento de preços (ABBASI et al., 2011). É evidenciado na literatura que a substituição de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis, que incluem: bioenergia, energia solar direta, energia geotérmica, energia hidrelétrica, energia eólica e oceânica (marés e ondas), gradualmente ajudaria o mundo a alcançar a ideia de sustentabilidade.

Governos, agências intergovernamentais, partes interessadas e indivíduos no mundo de hoje esperam alcançar um futuro sustentável devido às oportunidades criadas nas últimas décadas para substituir materiais derivados de petróleo de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis por alternativas em fontes de energia renováveis. O recente lançamento de um conjunto de ODS globais está ajudando a garantir que as mudanças climáticas para o século XXI e seus impactos sejam combatidos, e um futuro sustentável seja assegurado e feito como legado para as gerações futuras (EDENHOFER et al., 20011; LU et al., 2015).

2.2 Energias renováveis

As fontes de energia renováveis certamente desempenharão um papel fundamental na futura geração de energia devido ao rápido esgotamento das fontes convencionais de energia. As energias solar e eólica são as principais fontes de energia renovável que têm potencial para enfrentar, em certa medida, a crise energética. No entanto, tais fontes quando exploradas de forma independente não são totalmente confiáveis devido à natureza imprevisível. Considerando que a sua utilização como sistemas de energia híbridos parece ser mais confiável e rentável, devido à natureza complementar desses dois recursos (EDENHOFER et al., 20011; LU et al., 2015).

De acordo com Edenhofer (2011), a implementação de energia renovável traz inúmeras vantagens, incluindo redução do custo de transmissão de energia e minimização dos problemas de aquecimento global. A investigação dos parâmetros operacionais que influenciam, bem como a otimização do sistema de energia solar são os principais fatores para aumentar a eficiência da conversão de energia. Os diferentes métodos de otimização em aplicações de energia solar foram utilizados para melhorar a eficiência do desempenho. No entanto, o desenvolvimento de métodos ótimos sob a natureza intermitente dos recursos de energia solar continuam sendo questões-chave a serem exploradas.

As fontes de energia renováveis se reabastecem naturalmente sem se esgotarem na terra; eles incluem bioenergia, energia hidrelétrica, energia geotérmica, energia solar, energia eólica e energia oceânica (marés e ondas). Tester (2005) define energia sustentável como “uma harmonia dinâmica entre a disponibilidade equitativa de bens e serviços de uso intensivo de energia para todas as pessoas e a preservação da terra para as gerações futuras” (TIWARI; MISHRA, 2011).

A crescente necessidade de energia do mundo, juntamente com o aumento da população, levou ao uso contínuo de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis (Carvão, Petróleo e Gás) que se tornaram problemáticas ao criar vários desafios como: esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, emissões de gases de efeito estufa e outras preocupações, conflitos geopolíticos e militares e as

contínuas flutuações dos preços dos combustíveis. Esses problemas criarão situações insustentáveis que eventualmente resultarão em ameaças potencialmente irreversíveis às sociedades humanas (UNFCCC, 2015). Não obstante, as fontes de energia renovável são a alternativa mais destacada e a única solução para os crescentes desafios (TIWARI; MISHRA, 2011).

Em 2012, as fontes de energia renovável forneceram 22% da geração total de energia mundial (US Energy Information Administration, 2012), o que não era possível há uma década. O fornecimento confiável de energia é essencial em todas as economias para aquecimento, iluminação, equipamentos industriais, transporte etc. (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2014).

O fornecimento de energia renovável reduz significativamente a emissão de gases de efeito estufa se substituído por combustíveis fósseis. Uma vez que os suprimentos de energia renovável são obtidos naturalmente a partir de fluxos contínuos de energia em nosso entorno, ele deve ser sustentável. Para que a energia renovável seja sustentável, ela deve ser ilimitada e fornecer produtos e serviços ambientais não prejudiciais. Por exemplo, um biocombustível sustentável não deve aumentar as emissões líquidas de CO₂, não deve afetar desfavoravelmente a segurança alimentar, nem ameaçar a biodiversidade (TWIDELL; WEIR, 2015).

Apesar das vantagens marcantes das fontes de energia renovável, existem algumas deficiências como: a descontinuidade da geração devido às variações sazonais, pois a maioria dos recursos de energia renovável são dependentes do clima, por isso sua exploração requer métodos complexos de projeto, planejamento e otimização de controle. Felizmente, os contínuos avanços tecnológicos em hardware e software de computadores estão permitindo que pesquisadores científicos lidem com essas dificuldades de otimização usando recursos computacionais aplicáveis ao campo de energia renovável e sustentável (BAÑOS et al., 2011).

Atualmente, o termo “mudanças climáticas” é de grande interesse para o mundo em geral, tanto nas discussões científicas quanto políticas. O clima vem mudando desde as últimas décadas, mas o que é alarmante é a velocidade das mudanças nos últimos anos e pode ser uma das ameaças que a Terra enfrenta. A taxa de crescimento do dióxido de carbono aumentou nos últimos 36 anos (1979–2014) (ASUMADU; OWUSU, 2016), “com uma média de cerca de 1,4 ppm por ano antes de 1995 e 2,0 ppm por ano depois” (EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATÓRIO, 2015).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas define mudança climática como sendo atribuída direta ou indiretamente a atividades humanas que alteram a composição da atmosfera global e que, por sua vez, exibe variabilidade no clima natural observada em períodos de tempo comparáveis (FRÄSS-EHRFELD, 2009).

Por mais de uma década, o objetivo de manter o aquecimento global abaixo de 2°C tem sido o foco principal do debate climático internacional (ASUMADU-SARKODIE et al., 2013). Desde 1850, o uso global de combustíveis fósseis aumentou para dominar o fornecimento de energia, levando a um rápido crescimento nas emissões de dióxido de carbono. Dados do final de 2010 confirmaram que o consumo de combustíveis fósseis era responsável pela maior parte das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), cujas concentrações aumentaram para mais de 390 ppm (39%) acima dos níveis pré-industriais (EDENHOFER et al., 2011).

As tecnologias renováveis são consideradas fontes limpas de energia e o uso otimizado desses recursos diminui os impactos ambientais, produz resíduos

secundários mínimos e são sustentáveis com base nas necessidades econômicas e sociais atuais e futuras. As tecnologias de energia renovável oferecem uma oportunidade excepcional para mitigar a emissão de gases de efeito estufa e reduzir o aquecimento global através da substituição de fontes de energia convencionais (baseadas em combustíveis fósseis) (PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011).

2.3 Energia fotovoltaica e sua importância como energia renovável

A expressão energia solar “direta” refere-se à base energética para as tecnologias de fontes de energia renovável que se baseiam diretamente na energia do Sol. Algumas tecnologias renováveis, como a eólica e a térmica oceânica, usam a energia solar depois de absorvida na terra e convertida em outras formas. A tecnologia de energia solar é obtida a partir da irradiação solar para gerar eletricidade usando energia fotovoltaica (PV) (ASUMADU; OWUSU, 2016) e energia solar concentrada (CSP), para produzir energia térmica, atender às necessidades de iluminação direta e, potencialmente, produzir combustíveis que possam ser utilizados para transporte e outros fins (EDENHOFER et al., 2011). De acordo com o Conselho Mundial de Energia (2013), “a energia total da radiação solar que incide sobre a terra foi mais de 7.500 vezes o consumo total anual de energia primária do mundo de 450 EJ”.

A energia renovável tem uma relação direta com o desenvolvimento sustentável por meio de seu impacto no desenvolvimento humano e na produtividade econômica (ASUMADU-SARKODIE & OWUSU, 2016). As fontes de energia renováveis oferecem oportunidades em segurança energética, desenvolvimento social e econômico, acesso à energia, mitigação das mudanças climáticas e redução de impactos ambientais e de saúde (ASUMADU-SARKODIE & OWUSU, 2016).

A noção de segurança energética é geralmente utilizada, porém não há consenso sobre sua interpretação precisa. No entanto, a preocupação com a segurança energética baseia-se na ideia de que existe um fornecimento contínuo de energia que é fundamental para o funcionamento de uma economia (KRUYT, van VUUREN, de VRIES, & GROENENBERG, 2009).

Dada a interdependência do crescimento econômico e do consumo de energia, o acesso a um fornecimento estável de energia é importante para o mundo político e um desafio técnico e monetário para países desenvolvidos e em desenvolvimento, pois interferências prolongadas gerariam sérias dificuldades econômicas e de funcionalidade básica para a maioria das sociedades.

As energias renováveis são distribuídas de forma uniforme em algumas partes do mundo em comparação com os fósseis e, em geral, menos comercializadas no mercado. As energias renováveis reduzem as importações de energia e contribuem para a diversificação do portfólio de opções de fornecimento e reduzem a vulnerabilidade de uma economia à volatilidade dos preços e representam oportunidades para aumentar a segurança energética em todo o mundo.

A introdução de energias renováveis também pode contribuir para aumentar a fiabilidade dos serviços energéticos, nomeadamente em áreas que muitas vezes sofrem de acesso insuficiente à rede. Um portfólio diversificado de fontes de energia, juntamente com uma boa gestão e design do sistema, pode ajudar a aumentar a segurança (EDENHOFER et al., 2011).

Geralmente, o setor de energia tem sido percebido como chave para o desenvolvimento econômico com uma forte correlação entre crescimento econômico e expansão do consumo de energia. Globalmente, a renda per capita está positivamente correlacionada com o uso de energia per capita e o crescimento

econômico pode ser identificado como o fator mais essencial por trás do aumento do consumo de energia nas últimas décadas. Por sua vez, cria emprego; estudo de energia renovável em 2008, provou que o emprego de tecnologias de energia renovável era de cerca de 2,3 milhões de empregos em todo o mundo, o que também melhorou a saúde, educação, igualdade de gênero e segurança ambiental (EDENHOFER et al., 2011).

O objetivo de desenvolvimento sustentável busca garantir que a energia seja limpa, acessível, disponível para todos e isso pode ser alcançado com fontes de energia renováveis, uma vez que geralmente são distribuídas por todo o globo. As preocupações com o acesso precisam ser entendidas em um contexto local e na maioria dos países há uma diferença óbvia entre eletrificação nas áreas urbanas e rurais, especialmente na África Subsaariana e na região do sul da Ásia (BREW, 2010).

As redes distribuídas baseadas em energia renovável são geralmente mais competitivas em áreas rurais com distâncias significativas da rede nacional e os baixos níveis de eletrificação rural oferecem aberturas substanciais para sistemas de mini rede baseados em energia renovável para fornecer acesso à eletricidade (EDENHOFER et al., 2011).

As fontes de energia renováveis usadas na geração de energia ajudam a reduzir os gases de efeito estufa que mitigam as mudanças climáticas, reduzem as complicações ambientais e de saúde associadas aos poluentes provenientes de fontes de energia de combustíveis fósseis. No entanto, houve variação em países membros individuais, enquanto houve uma diminuição nas emissões de GEE em 22 países do Espaço Econômico Europeu (EEE), houve um aumento em 11 países do EEE.

As fontes de energia renováveis podem se tornar a principal opção de fornecimento de energia em economias de energia de baixo carbono. Alterações disruptivas em todos os sistemas de energia são necessárias para explorar fontes de energia renováveis amplamente disponíveis. Organizar a transição energética de energia não sustentável para energia renovável é frequentemente descrito como o grande desafio da primeira metade do século XXI (VERBRUGGEN et al., 2010).

É evidente que uma grande barreira para o uso de fonte de energia renovável depende da política de um país e do instrumento de política que, por sua vez, afeta o custo e as inovações tecnológicas. Além disso, as inovações tecnológicas afetam o custo das tecnologias de energia renovável, o que, por sua vez, leva a falhas de mercado e baixa patrocínio da tecnologia de energia renovável. À luz disso, uma política de energia renovável eficaz deve levar em consideração a interconexão de fatores que afetam o fornecimento de energia renovável e a sustentabilidade (AYOUB; ABDULLAH, 2012).

De acordo com Abdullah (2012), a eletricidade produzida por painéis solares é limpa, renovável e livre de emissões. Considerando que a maior parte da eletricidade gerada nos EUA é produzida pela queima de combustíveis fósseis como carvão e gás natural, a geração de eletricidade com energia solar e outros recursos renováveis – como eólica e hidrelétrica – não resulta em emissões de dióxido de carbono ou poluentes atmosféricos locais

E embora extrair e usar combustíveis fósseis seja caro e prejudicial ao meio ambiente, a energia solar é gratuita e prontamente abundante – se pudéssemos capturar toda a energia do sol brilhando na Terra por apenas uma hora, poderíamos abastecer o mundo inteiro por um ano (AYOUB; ABDULLAH, 2012).

A geração de eletricidade com energia solar em vez de combustíveis fósseis pode reduzir drasticamente as emissões de gases de efeito estufa, principalmente o

dióxido de carbono (CO₂). Os gases de efeito estufa, que são produzidos quando os combustíveis fósseis são queimados, levam ao aumento das temperaturas globais e às mudanças climáticas. As mudanças climáticas já contribuem para graves problemas ambientais e de saúde pública em todo o país e no mundo, desde incêndios florestais no Oeste até grandes tempestades cada vez mais frequentes e graves no Leste (BAÑOS et al., 2011).

Ao adotar a energia solar, você pode reduzir a demanda por combustíveis fósseis, limitar as emissões de gases de efeito estufa e diminuir sua própria pegada de carbono. De fato, apenas uma casa instalando um sistema de energia solar tem um efeito mensurável no meio ambiente (BAÑOS et al., 2011).

Tomemos um exemplo de casa em Connecticut, que não é particularmente conhecida por seu clima ensolarado. De acordo com a Administração de Informações sobre Energia dos EUA, uma casa média com painéis solares em Connecticut usa 8.288 quilowatts-hora (kWh) de eletricidade por ano. Para aquela casa na não tão ensolarada Connecticut, mudar de combustíveis fósseis para energia solar tem o mesmo efeito de redução de emissões que plantar cerca de 150 árvores todos os anos durante a vida útil do sistema de painéis solares (BARBIER, 2002).

Escolher uma fonte limpa de eletricidade, como painéis solares, pode eliminar a mesma quantidade de emissões de carbono que resultariam da queima de mais de 5.000 libras de carvão por ano (BARBIER, 2002).

Um dos maiores benefícios da energia solar é que ela resulta em muitos poucos poluentes do ar. Uma análise do Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL) descobriu que a adoção generalizada da energia solar pode reduzir significativamente as emissões de óxidos nitrosos, dióxido de enxofre e partículas em suspensão, que podem causar problemas de saúde. O laboratório descobriu que, entre outros benefícios para a saúde, a energia solar resulta em menos casos de bronquite crônica, problemas respiratórios e cardiovasculares e dias de trabalho perdidos relacionados a problemas de saúde (BARBIER, 2002).

2.4 Modelo de polímero fotovoltaico

A coleta de energia do sol está atraindo cada vez mais atenção devido aos desafios decorrentes de nossa dependência contínua de combustíveis fósseis. Nas últimas duas décadas, os polímeros fotovoltaicos (PV) baseados na estrutura bulk-heterojunction (BHJ) tornaram-se uma opção promissora de energia alternativa devido às suas propriedades leves, respeito ao meio ambiente e processabilidade da solução.

A capacidade de processamento de soluções oferece especialmente a possibilidade de fabricar dispositivos orgânicos em substratos flexíveis e em grandes áreas de dispositivos com equipamentos relativamente simples e de baixo custo. O certificadoa eficiência de conversão de energia (PCE) do PV orgânico (OPV) já ultrapassou 12% por uma combinação de novos materiais e otimização da morfologia (EDENHOFER et al., 2011).

Devido à natureza dos orbitais moleculares, os espectros de absorção dos semicondutores orgânicos não são contínuos como nos semicondutores inorgânicos. Isso resulta em uma grande deficiência para dispositivos fotovoltaicos de polímero de junção única em termos de absorção de luz insuficiente. No entanto, essa “desvantagem” do polímero fotovoltaico pode realmente abrir uma porta para uma nova oportunidade: transparência visível da região.

A camada ativa em um dispositivo fotovoltaico orgânico transparente (TOPV) é necessária para exibir alta transparência na região visível. Para simplificar as condições em diferentes transparências ópticas, usamos "TOPV" para representar OPV transparente, semitransparente e translúcido. De acordo com a distribuição de energia do espectro solar AM 1,5G, 51% da energia solar é distribuída na região do infravermelho (IR). Como resultado, o PCE teórico do polímero PV com apenas absorção IR pode ser tão alto quanto o dispositivo com apenas absorção visível, ou até melhor (FRÄSS-EHRFELD, 2009).

Segundo Baños (2011), embora atenção intensiva tenha sido dada à OPV desde a década de 1990, o potencial do TOPV não foi realizado até 2006. Na última década, o progresso no desenvolvimento de TOPV foi relativamente lento devido para o baixo PCE. Recentemente, devido ao rápido desenvolvimento de semicondutores e eletrodos novos e visivelmente transparentes, estudos importantes sobre diferentes aspectos do TOPV foram realizados. Aqui, apresentamos uma perspectiva de revisão sobre os desenvolvimentos de dispositivos TOPV e suas aplicações potenciais, com o objetivo de inspirar novas ideias que possam alcançar transparência e PCE superiores.

Para comparar o desempenho do TOPV (excluindo PCE), é essencial avaliar três propriedades principais do dispositivo: região de absorção, transmitância média visível (AVT) e índice de renderização de cores (CRI). Para alcançar a absorção IR do OPV, é necessário reduzir o intervalo de banda entre o orbital molecular desocupado de menor energia (LUMO) e o orbital molecular ocupado de maior energia (HOMO).

Para reduzir o bandgap de materiais orgânicos, a abordagem geral é diminuir o valor de alternância de comprimento de ligação (BLA), que é a média da diferença de comprimento entre ligações carbono-carbono adjacentes em uma cadeia de polieno. À medida que a contribuição quinoide na cadeia polimérica é aumentada, como a formação de uma estrutura mesomérica, as ligações simples carbono-carbono entre dois anéis adjacentes pode adotar mais características de ligação dupla e o BLA começa a diminuir (TIWARI; MISHRA, 2011).

A outra maneira útil de diminuir o BLA é incorporar unidades doadoras ricas em elétrons conjugadas e unidades aceptoras deficientes em elétrons conjugadas juntas na mesma estrutura polimérica, que geram uma forte força motriz push-pull e, assim, aumentar a deslocalização de elétrons. Com base na estrutura do DA, fortalecer uma das unidades doadoras, unidades aceitadoras ou ambas no mesmo backbone do polímero pode reduzir ainda mais o bandgap. Além disso, potencializando a conjugação intermolecular, como o fortalecimento polarização entre unidades aromáticas adjacentes formando ligações covalentes ou não covalentes adicionais, também pode diminuir o BLA induzindo interações paralelas do orbital p que estendem a conjugação e facilitam a deslocalização.

O espectro visível é de 380 a 760 nm, que corresponde aos comprimentos de onda dos fótons incidentes que podem ser percebidos a olho nu. O equilíbrio entre AVT e absorção na região visível deve ser cuidadosamente considerado. Para minimizar a absorbância desnecessária de outras camadas além da fotoativa, a espessura do eletrodo de metal tradicional deve ser reduzida ou, alternativamente, um novo material condutor, como o grafeno, deve ser usado como eletrodo (TIWARI; MISHRA, 2011).

De acordo com Lu (2015), para um TOPV usado em aplicações relacionadas à visão humana, a precisão da cor demonstrada também deve ser levada em consideração. Para examinar a qualidade da cor do TOPV, o espaço de cores da

Comissão Internacional de Eclairage (CIE) 1931 é usado como padrão, pois pode definir quantitativamente cores físicas puras do espectro visível percebido pelos olhos humanos. Os espectros solares padrão do iluminante de luz do dia D65 ou AM 1.5G são frequentemente usados como referência para avaliar a neutralidade de cor do dispositivo de interesse.

Se a coordenada de cor (x , y) do dispositivo fotovoltaico sob iluminação estiver mais próxima da região de luz branca definida pela coordenada de acromaticidade CIE 1931, o dispositivo fotovoltaico é mais adequado para uso em janelas ou aplicações de visão humana devido a uma melhor neutralidade de cor. Para comparar numericamente ainda mais a diferença de cor entre a cor da fonte original e a transmitida, o CRI é usado em uma escala de 0 a 100, e cor real mais próxima de como a fonte de luz original faz. Uma das estratégias que podem ser utilizadas para aumentar o CRI do dispositivo é modular o acoplamento de luz utilizando uma estrutura ensanduichada de materiais dielétricos/metal e materiais fotoativos de baixo bandgap. O trabalho relacionado é discutido e elaborado nas seções seguintes.

Em primeiro lugar, serão introduzidos materiais do tipo polímero. Alguns dos polímeros orgânicos visivelmente transparentes que são mais comumente usados como doadores. Dicotopirrolpirrol (DPP) é um pigmento vermelho amplamente utilizado em tintas, dispositivos eletroluminescentes e transistores. Tem uma estrutura conjugada com fortes interações π - π . Além disso, seu grupo lactâmico tem forte efeito de retirada de elétrons, o que leva à alta afinidade eletrônica geral do DPP.

Como resultado, os níveis de energia LUMO e HOMO do DPP ficam relativamente mais baixos, tornando o DPP uma unidade aceitadora ideal para materiais visivelmente transparentes. Com base nesta unidade, Huo et al. sintetizou uma série de polímeros baseados em DPP para coletar fótons na região do infravermelho próximo (EDENHOFER et al., 2011; LU et al., 2015).

2.5 A energia fotovoltaica e investimentos sustentáveis

A eletricidade fotovoltaica tem grande apoio social e governamental, pois durante sua operação não são liberadas emissões nocivas. Ao longo de todo o ciclo de vida de um sistema fotovoltaico, ele devolve a energia investida e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) liberadas durante sua produção várias vezes. Como os sistemas fotovoltaicos operam por um período de até 30 anos, há uma defasagem significativa entre os investimentos, em termos de demanda cumulativa de energia e emissões de gases, e os benefícios obtidos com a entrega de eletricidade e substituição de alta - eletricidade de impacto ambiental proveniente de fontes de combustíveis fósseis.

Aliar o rápido crescimento do PV com este contexto de investimentos iniciais levou a algumas preocupações, em relação à sustentabilidade ambiental da indústria PV. Um rápido crescimento da capacidade fotovoltaica instalada pode resultar na criação de um sumidouro de energia, pois a indústria fotovoltaica pode incorporar energia em sistemas fotovoltaicos a uma taxa superada pela capacidade desses sistemas de devolvê-la. O mesmo pode ser verdade para as emissões de GEE, quando a produção de sistemas fotovoltaicos libera mais emissões de GEE do que a eletricidade produzida com PV pode compensar substituindo a eletricidade mais intensiva em GEE. Embora haja evidências que mostrem que as emissões de CED e GEE estão correlacionadas, isso não é necessariamente o caso (BAÑOS et al., 2011).

Para evitar a criação de um sumidouro de energia e/ou GEE, em geral, o crescimento da indústria deve ser limitado em $1/PBT$, onde PBT (payback time) é o tempo em que os investimentos iniciais em CED ou GEE emissões são reembolsadas. No entanto, os sumidouros de energia e GEE de períodos de crescimento superiores a $1/PBT$ podem ser compensados por taxas de crescimento diminuídas (ou PBT decrescente) em estágios posteriores. Assim, a dinâmica de crescimento precisa ser levada em consideração, ao invés de sempre apontar para um crescimento limitado de $1/PBT$, como é discutido por Emmott et al (FRÄSS-EHRFELD, 2009).

Segundo Edenhofer (2011), o conceito da indústria fotovoltaica como sumidouro de energia e, mais recentemente, sumidouro de GEE é bem conhecido na comunidade fotovoltaica, foram um dos primeiros a abordar esta questão em termos de energia, afirmando que para maximizar o impacto (positivo) das tecnologias solares, elas devem ter um tempo de retorno de energia curto (EPBT) e longa vida útil. Quando o crescimento da indústria fotovoltaica começou a acelerar, outros indicaram a necessidade de fortes diminuições no tempo de retorno de energia.

Outros também analisaram a relação entre o crescimento da indústria e EPBT e concluíram que para PV monocristalino, uma taxa de crescimento sustentável deve ser limitada a cerca de 7%, no entanto, esse resultado foi baseado em uma medição estática da pegada energética dos sistemas fotovoltaicos e, portanto, não levou em conta a diminuição da pegada energética dos sistemas fotovoltaicos ao longo do tempo. Estudos mais recentes também analisaram sumidouros de GEE.

Aqui, revisamos a evolução do impacto ambiental da produção de sistemas fotovoltaicos ao longo do tempo, com foco na emissão de gases de efeito estufa e na demanda de energia, e analisando apenas os sistemas baseados em silício mono e policristalino, uma vez que cobrem mais de 90% da capacidade total instalada.

Reunimos resultados de um total de 40 estudos de avaliação do ciclo de vida (LCA) de sistemas fotovoltaicos (incluindo inversores e estrutura de suporte) realizados de 1976 a 2014, e acoplamos esses resultados ao desenvolvimento de números de capacidade instalada cumulativa, para mostrar o desenvolvimento de energia demanda e emissões de gases de efeito estufa da produção fotovoltaica em função da capacidade instalada e estabelecer curvas de experiência e taxas de aprendizado para esses parâmetros (PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011).

Os modelos obtidos são usados em conjunto com cenários de desempenho de PV para calcular as contribuições líquidas da indústria PV como um todo, em termos de energia e emissões de gases de efeito estufa, e para calcular quando ocorre o ponto de equilíbrio entre investimentos e benefícios ambientais. Uma abordagem semelhante foi usada anteriormente por Dale e Benson, que se concentraram em eletricidade líquida, e analisaram estudos em um período de tempo mais estreito entre 1990 e 2010.

Os autores concluíram que o ponto de equilíbrio cumulativo ocorrerá em algum lugar antes de 2020. Outros estudos se concentraram em GEE emissões mesmo levando em consideração o efeito gradual das emissões de GEE no forçamento radiativo. Os dois últimos estudos, no entanto, concentraram-se em estudos de caso ou metas de instalação fotovoltaica. Aqui, levando em consideração o crescimento real da indústria fotovoltaica e analisando o impacto ambiental usando estudos de LCA de um período de tempo mais amplo. Há fortes tendências de queda tanto para a demanda de energia quanto para a emissão de GEE da produção fotovoltaica, e que essas tendências seguem a lei da curva de experiência (URBAN; MITCHELL, 2011).

2.6 Redução de gases de efeito estufa por meio da energia fotovoltaica

Para cada duplicação da capacidade fotovoltaica instalada, há uma diminuição no uso de energia de 13% e 12% e na pegada de gases de efeito estufa da produção de 17 e 24%, para sistemas fotovoltaicos baseados em poli e monocristalino, respectivamente. Como resultado, há um ponto de equilíbrio desde 2011 entre os prejuízos acumulados e os benefícios do PV, em termos de uso de energia e emissões de gases de efeito estufa para um cenário que leva em consideração a localização de produção fotovoltaica ao longo do tempo e um cenário realista de desempenho fotovoltaico. Levando em consideração o pior cenário de desempenho fotovoltaico e as incertezas do modelo, o equilíbrio ocorre em 2017 para energia líquida e em 2018 para evitar emissões de gases de efeito estufa.

O mundo está rapidamente se tornando uma aldeia global devido à crescente necessidade diária de energia por toda a população em todo o mundo, enquanto a Terra em sua forma não pode mudar. A necessidade de energia e seus serviços relacionados para satisfazer o desenvolvimento social e econômico humano, bem-estar e saúde está aumentando. Todas as sociedades clamam pelos serviços de energia para atender às necessidades humanas básicas como: saúde, iluminação, culinária, conforto do espaço, mobilidade e comunicação e servem como processos generativos (EDENHOFER et al., 2011).

Garantir o fornecimento de energia e reduzir a contribuição da energia para as mudanças climáticas são os dois principais desafios do setor de energia no caminho para um futuro sustentável (ABBASI, 2010; KAYGUSUZ, 2012). É impressionante saber no mundo de hoje que 1,4 bilhão de pessoas não têm acesso à eletricidade, enquanto 85% delas vivem em áreas rurais. Como resultado disso, o número de comunidades rurais que dependem do uso tradicional de biomassa está projetado para aumentar de 2,7 bilhões hoje para 2,8 bilhões em 2030.

Perante este pano de fundo, o estudo procura examinar as potencialidades e tendências do desenvolvimento sustentável com fontes de energia renováveis e mitigação das alterações climáticas, até que ponto pode ajudar e os potenciais desafios que coloca e como a mudança de fontes de energia fóssil para renováveis é

uma maneira segura de mitigar as mudanças climáticas. Para atingir esse objetivo, conceitos, técnicas e periódicos revisados por pares são analisados e revisados criteriosamente (AJANOVIC, A. 2011).

3. CONCLUSÃO

A energia é um requisito em nossa vida cotidiana como forma de melhorar o desenvolvimento humano, levando ao crescimento econômico e à produtividade. O retorno às energias renováveis ajudará a mitigar as mudanças climáticas é uma tecnologia que deve ser empregada em diversos países, mas precisa ser sustentável para garantir um futuro sustentável para as gerações atenderem suas necessidades energéticas. O conhecimento sobre as inter-relações entre o desenvolvimento sustentável e as energias renováveis em particular ainda é limitado.

Apesar de, o ciclo de vida completo das fontes de energia renovável não tem emissões líquidas que ajudarão a limitar as futuras emissões globais de gases de efeito estufa, o custo, o preço, o ambiente político e as condições de mercado tornaram-se barreiras que impedem os países em desenvolvimento, menos desenvolvidos e desenvolvidos de utilizarem plenamente seus potenciais.

Dessa forma, a criação de oportunidades globais por meio da cooperação internacional que apoie os países menos desenvolvidos e em desenvolvimento para a acessibilidade de energia renovável, eficiência energética, tecnologia de energia limpa e pesquisa e investimento em infraestrutura energética reduzirá o custo da energia renovável, eliminará as barreiras à energia eficiência (alta taxa de desconto) e promover novos potenciais para a mitigação das mudanças climáticas. o ambiente político e as condições de mercado tornaram-se barreiras que impedem os países em desenvolvimento, menos desenvolvidos e desenvolvidos de utilizarem plenamente seus potenciais.

Esse estudo trouxe à luz as oportunidades associadas às fontes de energia renováveis; segurança energética, acesso à energia, desenvolvimento social e econômico e mitigação das mudanças climáticas e redução dos impactos ambientais e de saúde. Existem desafios que tendem a dificultar a sustentabilidade das fontes de energia renovável e sua capacidade de mitigar as mudanças climáticas. Esses desafios são: falhas de mercado, falta de informação, acesso a matérias-primas para implantação futura de recursos renováveis e, mais importante, nossa maneira (humana) de utilizar a energia de maneira ineficiente.

REFERÊNCIAS

ABBASI, T., & ABBASI, S. (2010). **Fontes de energia renovável: seu impacto no aquecimento global e na poluição**

AJANOVIC, A. (2011). **Biocombustíveis versus produção de alimentos: A produção de biocombustíveis aumenta os preços dos alimentos.**

ASUMADU-SARKODIE, S., & OWUSU, PA (2016). **Viabilidade do sistema de aquecimento de biomassa na Universidade Técnica do Oriente Médio, campus**

do Norte de Chipre.

AYOUB, M., & ABDULLAH, AZ (2012). Revisão crítica sobre o cenário atual e a importância do glicerol bruto resultante da indústria de biodiesel para uma indústria de energia renovável mais sustentável.

BAÑOS, R., MANZANO-AGUGLIARO, F., MONTOYA, F., GIL, C., ALCAYDE, A., & GÓMEZ, J. (2011). Métodos de otimização aplicados a energias renováveis e sustentáveis: Uma revisão.

BREW-HAMMOND, A. (2010). Acesso à energia em África: Desafios à frente. Política Energética.

EDENHOFER, O., PICHSMADRUGA, R., SOKONA, Y., SEYBOTH, K., MATSCHOS S, P., KADNER, S., ... VON STECHOW, C. (2011). Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas.

FRÄSS-EHRFELD, C. (2009). Fontes de energia renováveis: Uma chance de combater as mudanças climáticas

KAYGUSUZ, K. (2012). Energia para o desenvolvimento sustentável: Um caso de países em desenvolvimento.

KRUYT, B., VAN VUUREN, DP, DE VRIES, H., & GROENENBERG, H. (2009). Indicadores de segurança energética.

LU, Y., NAKICENOVIC, N., VISBECK, M., & STEVANCE, A.-S. (2015). Política: Cinco prioridades para os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU.

OWUSU, PA, ASUMADU-SARKODIE, S., & AMEYO, P. (2016). Uma revisão da gestão dos recursos hídricos do Gana e as perspectivas futuras.

PANWAR, N., KAUSHIK, S., & KOTHARI, S. (2011). Papel das fontes de energia renovável na proteção ambiental: Uma revisão.

TIWARI, GN, & MISHRA, RK (2011). Fontes de energia renováveis avançadas. Sociedade Real de Química.

TWIDELL, J., & WEIR, T. (2015). Recursos energéticos renováveis.

URBAN, F., & MITCHELL, T. (2011). Mudanças climáticas, desastres e geração de eletricidade.

VERBRUGGEN, A., FISCHEDICK, M., MOOMAW, W., WEIR, T., NADAÏ, A., NILSSO N, LJ, ... SATHAYE, J. (2010). Custos de energia renovável, potenciais, barreiras: questões conceituais.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Análise das emissões de GEE no Brasil (1970- 2016) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. São Paulo: Observatório do Clima, 2018.

Matheus Emanuel Batista Faustino

**ENERGIA FOTOVOLTAICA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA REDUÇÃO
DO IMPACTO AMBIENTAL**

APROVADA EM: 18/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Vieira de Oliveira
Orientador

Prof. Dr. David Levi da Silva Macedo
Banca Examinador

Prof^a(a). Dr (a). Aline Nascimento Lins
Banca Examinador (a)