



COGERAÇÃO DE MATERIAL RADIOATIVO USANDO PAINÉIS SOLARES

ARTIGO ORIGINAL

LIMA, Leandro Jose Barbosa¹

LIMA, Leandro Jose Barbosa. **Cogeração de material radioativo usando painéis solares.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 07, Ed. 08, v. 06, págs. 150-161. Agosto. 2022. ISSN:2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/paineis-solares>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/paineis-solares

RESUMO

A demanda global por energia limpa está crescendo, à medida que o mundo busca formas de compensar as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e combater o aquecimento global por meio do que está sendo chamado de transição energética. Nesse contexto, o presente artigo tem como questão norteadora: os painéis solares podem ser utilizados como fontes radioativas para geração de energia? O objetivo deste estudo foi explorar o potencial de uso de painéis solares com fontes radioativas, um potencial de cogeração para sistemas radioativos. Este foi um estudo documental e de revisão de literatura baseado no potencial da interação dos fótons com os painéis solares para aproveitamento máximo de energia. Como conclusão, há uma oportunidade de uso dos painéis solares não apenas para conservação de energia – convertendo áreas de resíduos nucleares em usinas de energia, mas também como uma barreira extra para detectar radiação e prevenir incidentes.

Palavras-chave: Transição Energética, Fonte Radioativa, Painel Solar, Eficiência, Cogeração.

1 INTRODUÇÃO

Para produzir energia para uma população e economia mundial em crescimento, era necessário usar combustíveis fósseis para eletricidade, produção de



alimentos, cozinhar, trabalhos mecânicos e transporte, como exemplos – como resultado da queima de combustíveis fósseis, gases de efeito estufa são liberados de outras poluentes do ar, como o enxofre (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

GEE são gases compostos por moléculas que são capazes de manter a radiação infravermelha refletida do sol da superfície terrestre por longos períodos de tempo fazendo com que a temperatura da terra aumente. A Terra passou por muitos ciclos de aquecimento e resfriamento, que geraram mudanças no clima mundial, mas as temperaturas conhecidas não foram tão altas, e o impacto dessas mudanças climáticas nos últimos anos gerou desastres em todo o globo (UNITED NATIONS, 2022). A poluição do ar por si só causa a morte de 4,2 milhões de pessoas todos os anos (WHO, 2021).

Novas formas de produção de alimentos, preservação de florestas, captura de carbono, novos materiais de construção, reciclagem, tratamento sanitário são formas de reduzir GEE, mas a maior parte das emissões globais de GEE são provenientes da produção de energia, principalmente no hemisfério norte, onde as energias renováveis, energia nuclear (fusão/fissão), sistema de armazenamento de energia e outras formas de produção de energia têm sua parte nisso, mas uma forma de o mundo ganhar energia e reduzir emissões é melhorando a eficiência energética no desenvolvimento de sistemas menos intensivos em energia ou desenvolvendo caminhos para aproveitar toda a energia já produzida por outros sistemas, como faz a cogeração ao recuperar o calor das turbinas a gás/hidrogênio (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2021).

As fontes de radiação estão presentes em diversas indústrias ao redor do mundo, ela emite radiação independente da temperatura, pressão ou qualquer condição, enquanto estiver em uso para sua aplicação industrial, ou quando armazenada no subsolo, por exemplo – o que é um problema para a energia nuclear plantas – o que fazer com ele quando sua vida industrial terminar. Os tipos normais de



radiações são Neutron, Alpha, Beta e Gama, mas Gama pode estar comumente associado aos dois últimos (TAUHATA *et al.*, 2013). A radiação gama é do tipo fóton, então este estudo pretende entender seu potencial de uso para produzir energia através de painéis solares, que também recebem fótons solares para produzir energia.

Nesse contexto, o presente artigo tem como questão norteadora: os painéis solares podem ser utilizados como fontes radioativas para geração de energia? O objetivo deste estudo foi explorar o potencial de uso de painéis solares com fontes radioativas, um potencial de cogeração para sistemas radioativos.

Pela sua natureza, esta pesquisa foi aplicada com o objetivo de encontrar caminhos para continuar usando a energia de resíduos nucleares, e de fontes que são armazenadas quando não estão em uso e também encontrar maneiras de aumentar a utilização de painéis solares que são tão dependentes da presença do sol.

No seu objetivo foi uma pesquisa exploratória, pois procurou-se encontrar na literatura potenciais aplicações para a utilização de painéis solares, que se mostrem adequadas, e uma potencial solução para a produção de eletricidade, contribuindo para a transição energética e foi identificado outra aplicação para um problema conhecido de saúde e segurança.

A abordagem foi qualitativa, pois as informações apresentadas não foram totalmente quantificadas e necessitarão de mais estudos para explorá-las em todo o seu potencial.

No procedimento técnico a pesquisa foi documental com informações de Governos e Órgãos, bibliográfica por meio de artigos e livros publicados, e experimental, pois utilizou informações de informações documentais e bibliográficas para propor uma abordagem prática do problema.



2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PAINÉIS SOLARES

Os painéis solares são dispositivos fotovoltaicos compostos por células solares que transformam a energia luminosa em eletricidade. Esses dispositivos são normalmente feitos de material semicondutor n-p dopado. Este estado dopado faz com que a condição de elétron-buraco, onde a luz com excitação uma reação em cadeia faz o elétron fluir pelo painel (MARQUES e DELVIZIO, 2020).

Esta “luz” é a Radiação Eletromagnética (REM) são medidas por sua intensidade, direção de propagação, frequência e polarização. Os painéis solares são produzidos para melhor otimizar a luz solar para produzir energia, normalmente baixa energia, normalmente quanto maior a energia, maior é a integração da REM com a matéria. A característica da REM varia de acordo com sua frequência, à medida que a frequência aumenta os comprimentos de onda diminuem (XIAO, 2022).

Existem tantos tipos, tamanhos e formas diferentes de painéis solares, o mais comum é a estrutura fixa rígida que normalmente vemos montada no telhado de algumas construções (foto 1), mas existem outros formatos, inclusive através do *design* de vidro e alguns flexíveis, assim como o papel, chamados de segunda (foto 2) e terceira geração (foto 3) (TEIXEIRA, 2018). Estes dois últimos seriam mais adaptáveis para recipientes de fonte de radiação, por exemplo.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

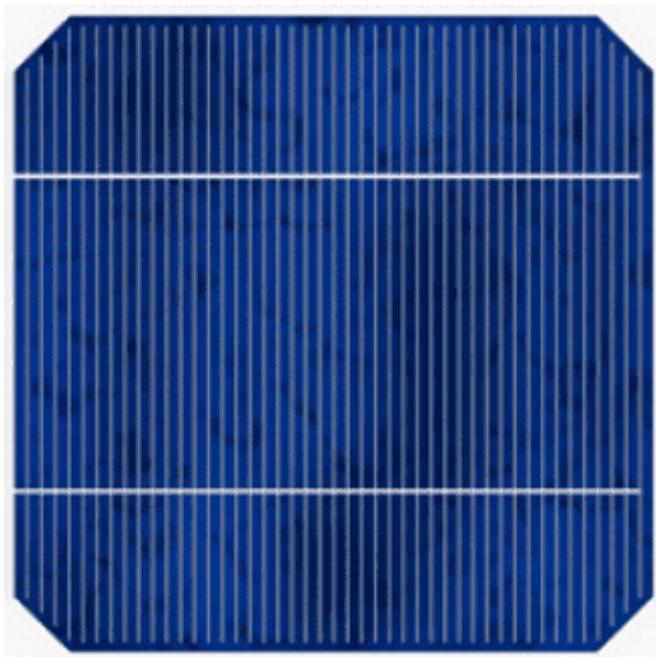
NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO

CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Figura 1. Rígido Policristalino, Primeira Geração



Fonte: Di Souza (2016) apud Teixeira (2018).

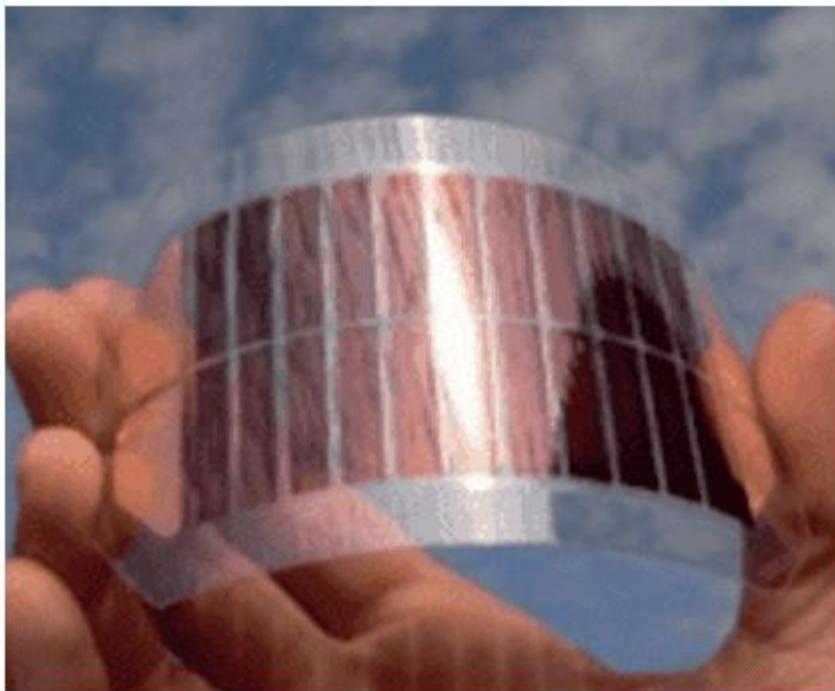
Figura 2. Flexível, Segunda Geração



Fonte: Botteon (2017) apud Teixeira (2018).



Figura 3. Célula Orgânica Flexível



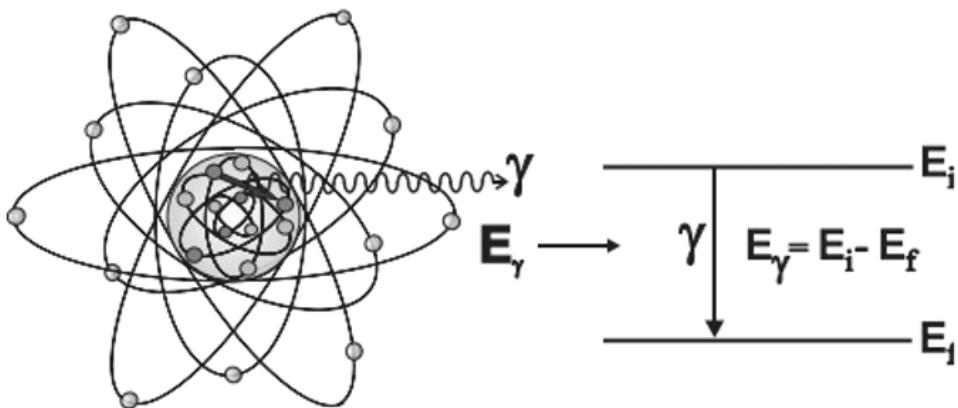
Fonte: Flandoli (2017) apud Teixeira (2018).

2.2 RADIAÇÃO NUCLEAR

Os átomos são compostos por elétrons, prótons e nêutrons – prótons e nêutrons estão dentro do núcleo dos átomos, enquanto os elétrons ficam do lado de fora. As emissões de radiação resultam de um desequilíbrio ou instabilidade energética no núcleo de alguns átomos, normalmente átomos de alta massa – é daí que vem o termo energia nuclear. Nem sempre um átomo fica estável após sua emissão nuclear, podendo eventualmente haver uma mudança na natureza do elemento (TAUHATA *et al.*, 2013).



Figura 4. Representação da Emissão Gama do Núcleo Atômico



Fonte: Tauhata et al. (2013).

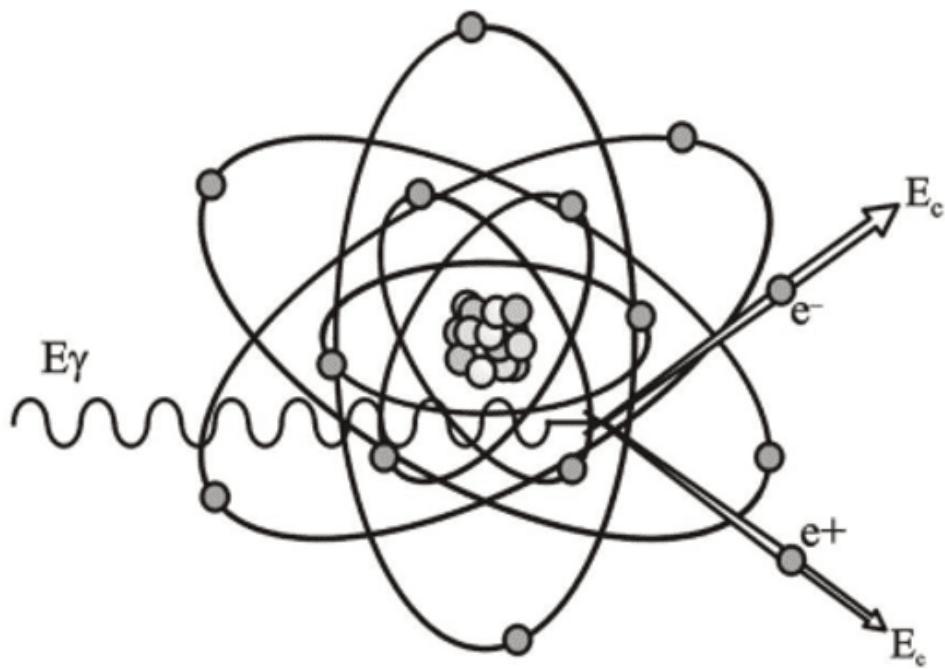
Existem quatro tipos de radiação emitida por um átomo: Nêutron, Alfa, Beta e Gama. Os três primeiros tipos são como partículas, o nêutron é um nêutron real ejetado do núcleo do átomo com uma massa de 1 e sem carga, sua velocidade e valor de alcance de acordo com sua energia inicial, o alfa é uma combinação de dois prótons e dois nêutrons somando uma massa de 4 e carga de +2, que pode viajar cerca de 0,1c, por 1cm no ar, quando captura 2 elétrons de outros elementos e se transforma em Hélio; a radiação Beta também é um tipo de radiação de partícula, mas tem uma massa muito pequena 1/1840 a.m.u., portanto atinge uma velocidade de 0,9c, mas como tem uma carga de +1 para pósitron ou -1 para elétron, atinge cerca de 10 cm no ar antes de ser capturado por um átomo. A radiação gama ao contrário das demais não é como partícula, é um excesso de energia, assim como um fóton, normalmente associado a decaimentos de átomos anteriores, sua velocidade é de cerca de 1c, não tem passagem e tem alcance de quilômetros no ar (TAUHATA et al., 2013).

Todos os tipos de radiação acima, são capazes de ionização, os tipos de partículas com carga como Alfa ou Beta, ionizam átomos no ambiente tomando elétrons, como o tipo Alfa ou combinando com outros átomos como o tipo beta, o nêutron interage com as matérias por choques no núcleo de outros átomos, mas a



radiação gama interage de 3 maneiras possíveis: efeito Compton, efeito fotoelétrico ou formação de pares, todos dependendo da quantidade de energia da fonte, fontes de alta energia, com mais de 1,2MeV têm maior probabilidade de par efeito de formação, mas abaixo deste nível de energia, isso não é possível. Para este estudo estamos mais interessados no efeito fotoelétrico que é exatamente como os painéis solares funcionam (TAUHATA *et al.*, 2013).

Figura 5. Representação da Formação de Pares



Fonte: Adaptado de Tauhata *et al.* (2013).

2.3 ARMAZENAMENTO, ACIDENTES E AVALIAÇÃO DE RISCO

Como esta aplicação se concentra em otimizar o desperdício de energia em fontes temporárias, figura 6, ou permanentes armazenadas ou rejeitos, como mostra a figura 7, não deve haver riscos adicionais, pois o sistema pode ser instalado quando as fontes não estiverem presentes, e eventuais manutenção ou



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

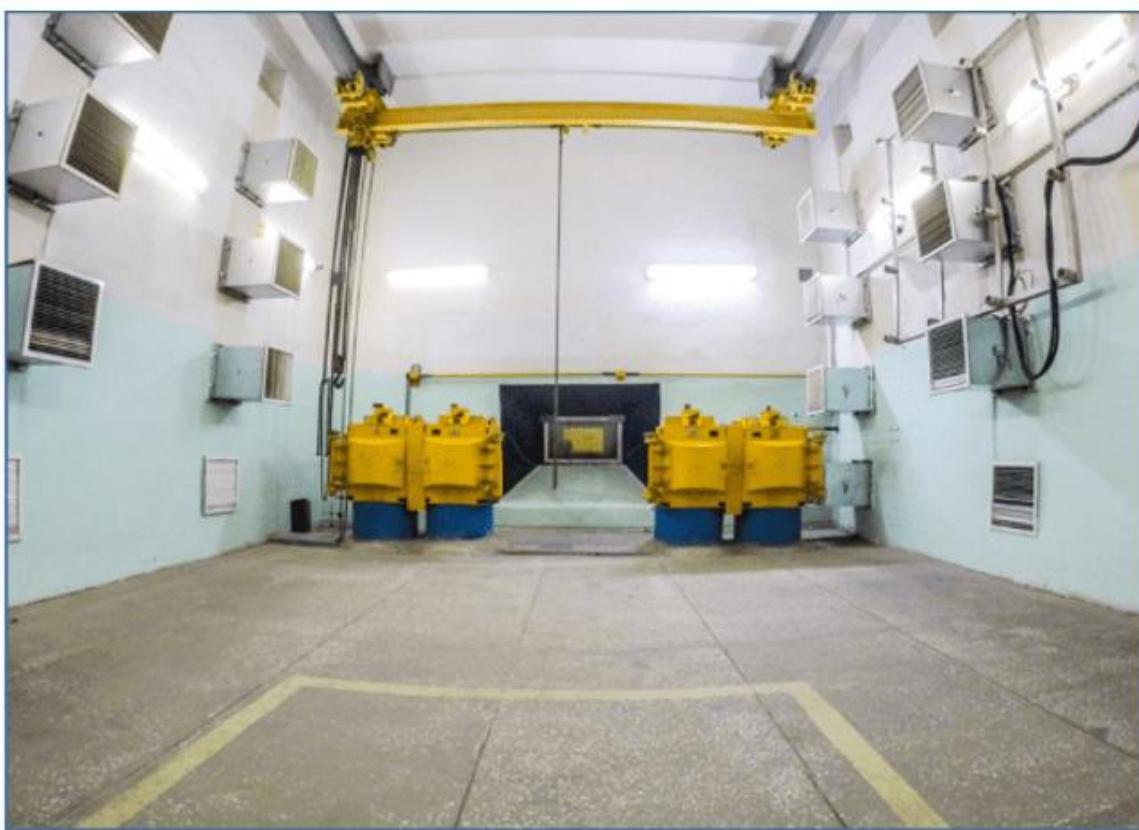
NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

substituição pode ser feita em condições semelhantes. Quando armazenadas as fontes ficam contidas em blindagens especialmente calculadas para manter os níveis de radiação fora dela A.L.A.R.A. (Tão Baixo quanto Razoavelmente Exequível) (MENDONÇA; FIGUEIRO e GAVAZZA, 2022).

Figura 6. Representação de um *Bunker Radioativo*, utilizado para armazenar fontes não utilizadas



Fonte: Agência Internacional de Energia Atômica (s.d.).



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Figura 7. Armazenamento permanente de rejeitos nucleares *Yucca Mountain*



Fonte: CBS NEWS (2019).

Instalações como as das fotos 6 e 7 seriam ótimas para a cogeração radioativa usando painéis solares, pois só há desperdício de energia.

A exposição à radiação pode levar a diferentes efeitos em humanos, uma exposição aguda, baseada em um limiar, pode levar à chamada doença da radiação, conforme figura 8 (TAUHATA et al., 2013). Qualquer quantidade de radiação ao longo dos anos, mesmo a natural, o que chamamos de exposição estocástica, aumentaria seu risco de desenvolver câncer, conforme modelado pela Agência Internacional de Energia Atômica (1996).



Figura 8. Efeitos determinísticos baseados na exposição aguda à radiação

Deterministic Effects (Tissue Reactions)	Prodromal Phase of Acute Radiation Syndrome and Exposure Doses				
Symptom	Mild (1-2 Gy)	Moderate (2-4 Gy)	Severe (4-6 Gy)	Very severe (6-8 Gy)	Lethal (> 8 Gy)
Vomiting	2 hours or later after exposure (Rate of incidence) Up to 50%	1 to 2 hours 70 to 90%	Within 1 hour 100%	Within 30 minutes 100%	Within 10 minutes 100%
Diarrhea	None	None	Moderate	Severe	Severe
Headache	Very mild	Mild	Moderate	Severe	Severe
Consciousness	Unaffected	Unaffected	Unaffected	Affected	Loss of consciousness
Body temperature	Normal	Slight fever	Fever	High fever	High fever

Gy: Grays Source: Prepared based on IAEA Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries" (1998)

Fonte: Governo do Japão (2021).

Um tipo de incidente em aplicações industriais de fontes radioativas é quando a fonte é deixada para trás, fora de seu recipiente ou blindagem, conforme ilustrado na figura 9. Esses tipos de incidentes têm o potencial de expor muitos trabalhadores da área (BBC, 2010).



Figura 9. Exemplo de recipiente de transporte de radiação ou blindagem, usado em radiografia industrial



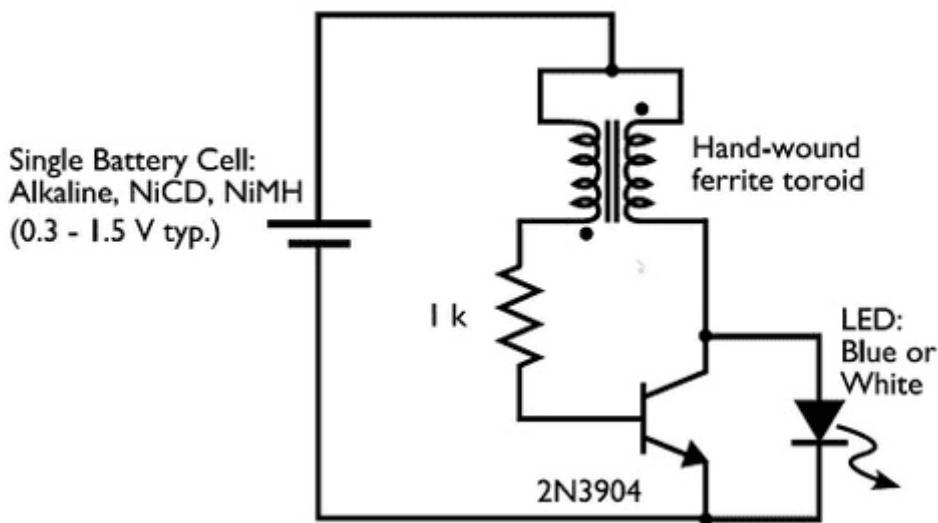
Fonte: Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA (2022).

O Diodo Emissor de Luz (LED), pode operar com uma quantidade mínima de corrente e tensão para produzir luz, conforme demonstrado no circuito abaixo, mesmo com 0,3 volts é possível ter alguma luz fora do LED. No circuito abaixo, a Célula de Bateria Única, na Figura 10, seria substituída por uma célula solar flex (ASPENCORE, 2013).

O exemplo da Figura 10 não é o único tipo de circuito que pode ser usado para esse fim, outros circuitos podem ser usados dependendo do tipo de fonte, sua intensidade, conforme as especificações do LED e do painel solar.



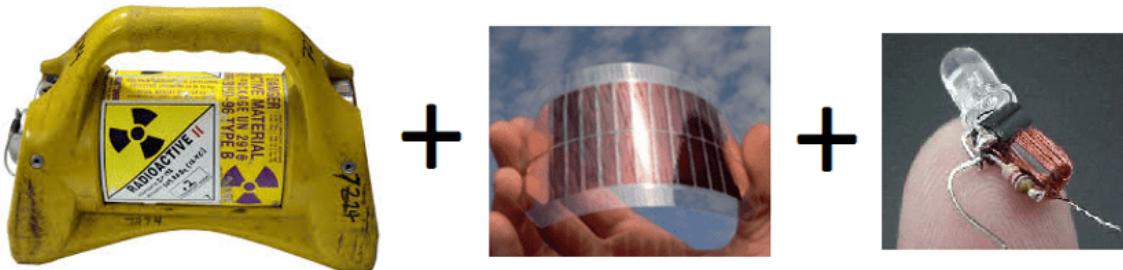
Figura 10. Circuito de LED de alimentação de baixa tensão da EEWeb



Fonte: Aspencore (2013).

Se for instalado um pequeno painel solar dentro da blindagem com um LED acoplado, a blindagem indicaria se a fonte está dentro ou não, na montagem proposta na Figura 11.

Figura 11. O sistema propôs combinar esses elementos para ter uma blindagem que pudesse indicar ou não a presença de uma fonte de radiação



Fonte: adaptado de Aspencore (2013), U.S. Department Of Health & Human Services (2022) e Flandoli (2017) apud Teixeira (2018).



Independentemente das condições, as fontes são armazenadas em *bunkers* após sua aplicação, e nunca se desliga, toda essa energia é desperdiçada quando é armazenada em seu lugar. Como os painéis solares trabalham com fótons para produzir energia, a instalação de painéis solares dentro de locais de armazenamento permanente ou temporário da fonte de radiação pode permitir a absorção e utilização dessa energia para produção de eletricidade com custo mínimo, pois a fonte radioativa sofre decaimento, mas emite radiação por longo período de tempo, ainda por cima, se for considerado que em algumas aplicações as fontes são armazenadas permanentemente, qualquer benefício com isso compensaria o espaço de armazenamento, enquanto em outras aplicações industriais o tempo em que a fonte não está gerando renda para sua função pretendida, irá gerar energia limpa e gratuita.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste novo mundo dependente de energia limpa, não há espaço para desperdício de energia. Caminhos para aproveitar a energia disponível ou para aumentar a eficiência energética do sistema devem ser usados e considerados. Nesse contexto, este artigo teve como objetivo responder: os painéis solares podem ser utilizados como fontes radioativas para gerar energia? sendo possível verificar que a Radiação ionizante possui alguns princípios importantes a serem observados: justificação, qualquer decisão que altere a situação de exposição à radiação deve ser mais benéfica do que prejudicial; a otimização determina que a probabilidade de exposição, o número de pessoas expostas ou a dose de radiação sejam mantidos A.L.A.R.A. (tão baixo quanto razoavelmente possível); e limites de dose, pois as doses devem ser mantidas dentro dos limites legais.

Uma aplicação adicional disso é no lado da segurança, pois pequenos painéis solares podem ser instalados dentro da blindagem da fonte para confirmar a presença da fonte e, assim, evitar um tipo de incidente radiológico que é o envio



de contêineres sem a fonte, vivendo-a para trás com o risco de expor os trabalhadores sem radiação.

Entendendo que esta não é a forma mais eficiente de utilização dos painéis solares, pela forma como os fótons solares interagem com ele, em comparação com a luz solar, e considerando que esta proposta aumentaria o benefício da fonte de radiação para a sociedade sem afetar seus níveis de exposição ou sua segurança e proteção, o método proposto pode ser aplicado e melhorar a eficiência energética mundial. Em resumo, isso poderia transformar depósitos de resíduos nucleares em fontes permanentes de energia, usinas de energia. No entanto, mais estudos são necessários para desenvolver painéis solares especiais que possam produzir energia com mais eficiência a partir de material radioativo, produzir fótons e ser adaptados a certas áreas onde o material radioativo pode ser armazenado, considerando maior umidade ou ambiente úmido e temperaturas.

BIBLIOGRAFIA

ASPENCORE. Circuit Project: 0.3 to 1.5V LED Flashlight. **EEWeb**, 2013. Available in: <https://www.eeweb.com/circuit-project-0-3-to-1-5v-led-flashlight/>. Access in: July 26, 2022.

BBC. Schlumberger fined £300,000 over North Sea radiation. **BBC News**, 2010. Available in: <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-north-east-orkney-shetland-11928010>. Access in: July 26, 2022.

CBS NEWS. A rare tour of the tunnel that is ground zero for a nuclear waste controversy. CBS Mornings - **CBS NEWS**, 2019. Available in: <https://www.cbsnews.com/news/yucca-mountain-nuclear-waste-storage-controversy/>. Access in: July 26, 2022.

GOVERNMENT OF JAPAN. BOOKLET to Provide Basic Information Regarding Health Effects of Radiation. Ministry of the Environment, **Government Of Japan**, 2021. Available in: <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/03-03-03.html>. Access in: July 26, 2022.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure. **International Atomic**



Energy Agency, Vienna, p. 1-55, April 1996. Available in: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_870_web.pdf. Access in: August 12, 2022.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Database of Industrial Irradiation Facilities. Gamma Facilities. **International Atomic Energy Agency**, s.d. Available in: <https://nucleus.iaea.org/sites/diif/Pages/GammaRT.aspx>. Access in: July 27, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Net Zero by 2050**. Paris, 2021. Available in: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf. Access in: August 12, 2022.

MARQUES, I. C. de A.; DELVIZIO, E. da S. Estudo de Viabilidade Técnica de Microgeração Residencial Fotovoltaica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, n. 5, p. 166-203, May 2020. Available in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/microgeracao-residencial>. Access in: August 12, 2022.

MENDONÇA, L. C. F. de; FIGUEIREDO, T. G. da S.; GAVAZZA, S. Atenuação de Fótons em Barreiras de Proteção de Concreto. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 5, n. 2, p. 66-106, February 2022. Available in: DOI: [10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/barreiras-de-protecao](https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/barreiras-de-protecao). Access in: August 12, 2022.

TAUHATA, L. et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD, v. 9, 2013.

TEIXEIRA, M. F. Energia fotovoltaica e suas novas_tecnologias e conceitos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 7, n. 10, p. 87-100, October 2018. Available in: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/tecnologias-e-conceitos>. Access in: August 12, 2022.

UNITED NATIONS. The Clean Development Mechanism. **United Nations**, 2022. Available in: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>. Access in: April 02, 2022.

US DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES. Understanding Shipping Labels and Placards for Radioactive Materials. **Radiation Emergency Medical Management**, 2022. Available in: https://remm.hhs.gov/transportation_hazard_id.htm. Access in: July 26, 2022.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO

CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Air pollution. **World Health Organization**, july, 2021. Available in: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Access in: August 12, 2022.

XIAO, G. A Theory for Electromagnetic Radiation and Electromagnetic Coupling. **TechRxiv**, p. 1-14, January 2022. Available in: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.16686112.v3>. Access in: August 12, 2022.

Enviado: Julho, 2022.

Aprovado: Agosto, 2022.

¹ Graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA), e Graduado em Tecnologia Mecânica com ênfase em Automação Industrial pelo CEFET/RJ. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), MBA em Gestão de Projetos pela Fundação de Apoio ao CEFET/RJ, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Candido Mendes (UCAM), Especialista em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estácio de Sá (UNESA) e Supervisor de Radioproteção certificado pela CNEN. ORCID: 0000-0002-6647-3914.