



GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GMA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SOCIAL DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA: UM ESTUDO DE CASO PARA UMA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA

JOÃO GABRIEL GONÇALVES DE LASSIO(1);DENISE FERREIRA DE MATOS(2);ALESSANDRA MAGRINI;DAVID ALVES CASTELO BRANCO
COPPE/UFRJ(1);CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA CEPEL(2)

RESUMO

O presente trabalho fornece um estudo de caso que aplica a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) para avaliar o desempenho dos quatro sistemas que compõem a Usina Solar Fotovoltaica de Alto do Rodrigues (UFV-AR), localizada no Rio Grande do Norte, com relação a quatro critérios sociais: geração de empregos, aceitação social, saúde e segurança dos trabalhadores e direitos das comunidades locais. De um modo geral, a ACV-S demonstrou um potencial em fornecer análises sociais mais robustas que rompem com o *status quo* do planejamento elétrico nacional, informando aspectos sociais atinentes a cadeia completa de geração de energia.

PALAVRAS-CHAVE

1.0 INTRODUÇÃO

À medida que a sustentabilidade vem se consolidando como um novo paradigma de desenvolvimento global, a necessidade de se buscar um maior equilíbrio entre os aspectos econômicos e socioambientais vem ganhando contornos mais nítidos na agenda internacional. A adoção da “Agenda 2030” pela Assembleia Geral das Nações Unidas, em setembro de 2015, foi um marco importante para esse movimento na medida em que estabeleceu um plano de ação, composto por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para os países signatários perseguirem um desenvolvimento pautado pela sustentabilidade (1).

Seguindo essa tendência, a Agência Internacional de Energia (IEA) vem se esforçando para incorporar os ODS na sua política energética através da concepção de futuros mais ambiciosos para a matriz energética mundial. Atualmente, seus cenários mais otimistas levam em consideração os ODS mais estreitamente ligados à energia: boa qualidade do ar (ODS 3.2), acesso universal à energia (ODS 7) e combate às mudanças climáticas (ODS 13) (2). No Brasil, por outro lado, a política energética tem se apoiado sobre uma lógica predominantemente técnico-econômica, contribuindo pouco para incorporar efetivamente aspectos socioambientais na sua tomada de decisão (3,4).

Quando voltamos nosso olhar mais especificamente para as questões sociais, essa situação tende a se tornar ainda mais delicada para o país na medida em que a noção dominante de sustentabilidade concentra suas atenções em questões majoritariamente ambientais – devido sobretudo ao enfoque sobre as mudanças climáticas e suas consequências sobre o meio ambiente –, relegando a segundo plano e, até mesmo, ignorando a dimensão social (5). Além disso, é importante destacar que o país apresenta riscos de ocorrência de desrespeito aos direitos fundamentais sociais, do trabalho e indígenas que se somam a um período de crise sanitária e econômica, e tendência a deterioração das condições sociais com rebatimento nos respectivos indicadores, além de retrocessos no debate de temas como a igualdade racial e de gênero (6,7).

Um outro movimento estimulado pela ascensão da sustentabilidade como um valor fundamental da sociedade diz respeito ao avanço de fontes renováveis de energia na matriz elétrica mundial. Só no Brasil, as previsões apontam que essas fontes irão responder por cerca de 86% até 2030. Entre as fontes mais promissoras se encontra a solar fotovoltaica, a qual apresentou o maior crescimento na oferta de energia, em termos percentuais, entre 2018 e 2019 (8). Uma das principais características deste tipo de fonte é que a maior parte de seus impactos socioambientais não se concentra na etapa de geração de energia, mas se distribui ao longo de sua cadeia produtiva (9).

Tais colocações revelam a necessidade de se utilizar ferramentas robustas e desenvolver estudos focados sobre as particularidades de fontes renováveis de energia de modo a avançar o entendimento acerca dos seus impactos socioambientais que são ainda pouco explorados. Assim, o presente trabalho integra uma pesquisa que tem por objetivo desenvolver uma metodologia para avaliar a sustentabilidade de tecnologias de geração de energia de

origem renovável a partir de uma perspectiva de ciclo de vida e segundo aspectos ambientais, sociais e econômicos. Nesse sentido, se concentra sobre a dimensão social da sustentabilidade através da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) em um estudo de caso dedicado a fonte solar fotovoltaica. Vale ressaltar que não se busca questionar o crescente interesse por tal fonte de energia, mas sim, lançar luz sobre seus eventuais impactos sociais de modo a se antecipar aos desafios e potencializar os ganhos atrelados à sua expansão no país.

2.0 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao fazer uso de um recurso capaz de se regenerar em curto prazo, a fonte solar fotovoltaica se apresenta como uma alternativa aos combustíveis fósseis, possibilitando a neutralização ou, pelo menos, uma drástica redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) durante a etapa de geração de energia. Por esse motivo, é comumente celebrada como uma fonte de energia *limpa* ou *verde*. No entanto, não podemos perder de vista que, por de trás de sua aparente neutralidade socioambiental, existem outros impactos e riscos que estão associados às outras etapas de sua cadeia produtiva (9).

Do ponto de vista social, é interessante notar que a transição energética em curso vem projetando um caminho promissor para criação de novos postos de trabalho. Somente em 2019, o número de empregos diretos e indiretos dentro do setor de energia renovável alcançou a marca de 11,5 milhões em todo mundo e a tendência é de que esse número continue a crescer. Tais empregos se concentram sobretudo na evolução da indústria da tecnologia solar fotovoltaica que detém cerca de 33% de toda a força de trabalho do setor (10).

Ainda que esses números sejam favoráveis à redução do desemprego e aumento da qualidade de vida em nível global (11), é importante estar atento também aos aspectos qualitativos dos empregos gerados de modo que a expansão das fontes renováveis não se apoie em esforços de trabalhos excessivos, empregos mal pagos, condições insalubres de trabalho etc. No que diz respeito mais especificamente a tecnologia solar fotovoltaica, sua cadeia de produção pode envolver não só condições de trabalho precárias na etapa de mineração, mas também a exposição dos trabalhadores a metais e outros compostos perigosos na etapa de produção dos seus componentes e no tratamento de resíduos na etapa de fim de vida (7,12).

Um outro aspecto social fundamental que deve ser destacado é a aceitação social das fontes renováveis, principalmente quando se trata da energia eólica. Apesar do grande apoio à geração de energia a partir dos ventos, existem algumas objeções quanto ao local onde são instalados os parques eólicos. Muitas pessoas defendem que as turbinas eólicas devem ser construídas em locais distantes, reproduzindo um fenômeno do tipo “*not in my backyard*” (NIMBY) (13). Parte dessa objeção a alguns empreendimentos energéticos está relacionada a interferência que eles provocam sobre a estética da paisagem natural. No caso da energia solar fotovoltaica, Sovacool e Ratan (14) revelam que o impacto visual produzido por painéis fotovoltaicos, em uma região norte-americana, impulsionou a oposição por parte da comunidade local à energia solar, o que, por sua vez, culminou em uma queda na sua adesão pelos habitantes.

Esses são apenas alguns dos impactos sociais atrelados ao avanço das fontes renováveis na matriz energética mundial, mas que apontam na mesma direção: a necessidade de se adotar um olhar mais atento à todas as etapas que compõem a cadeia completa de geração de energia a partir de fontes renováveis. É dentro desse contexto que as ferramentas baseadas na abordagem do ciclo de vida, tal como a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S), se revelam particularmente interessante uma vez que propõem uma observação crítica sobre o ciclo de vida integral de produtos e serviços. Ou seja, o conjunto de etapas consecutivas nas quais os seus diversos insumos experimentam algum tipo de transformação, desde a extração de matérias-primas até a destinação final dos resíduos.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S)

A Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) corresponde a uma ferramenta, ainda incipiente, que permite analisar os efeitos da cadeia de processos envolvidos na provisão de produtos e serviços sobre o bem-estar humano (15). Tal ferramenta se diferencia de outras metodologias de avaliação de impactos sociais em função do seu objeto (produtos e serviços) e seu escopo (ciclo de vida completo) (16). Sua aplicação segue as mesmas quatro fases definidas pela norma ISO 14.040 (17) para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)¹, sendo elas: [1] definição de escopo e objetivo, [2] análise de inventário do ciclo de vida (ICV), [3] avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) e [4] interpretação de resultados. De um modo geral, a ACV-S pode ser empregada tanto para detectar pontos críticos quanto para monitorar o desempenho social de produtos e serviços ao longo de seus ciclos de vida completos (16).

¹ A ACV é atualmente a principal técnica baseada na abordagem de ciclo de vida e está focada estritamente nos impactos ambientais, dispõe de uma metodologia internacionalmente padronizada e, conseqüentemente, se encontra em um estágio mais maduro em termos de aplicação.

O grupo de trabalho formado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e pela Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (SETAC) fornece algumas publicações que orientam a condução de uma ACV-S. O primeiro deles, intitulado *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products* (16), foi lançado em 2009 e oferece uma estrutura metodológica para estudos de ACV-S a partir de uma abordagem baseada em um conjunto de *stakeholders* e categorias e subcategorias de impacto social. Esse documento foi recentemente revisado pela UNEP (18), incorporando avanços metodológicos e novas experiências práticas. Paralelamente, o documento *The Methodological Sheets for Sub-Categories in Social Life Cycle Assessment* (19) fornece indicadores genéricos e específicos para cada uma das subcategorias de impacto recomendadas, indicando fontes de dados potenciais para a coleta de ambos os tipos de indicadores. No caso de dados secundários, as fontes podem ser a literatura científica, relatórios de organizações nacionais e internacionais e bancos de dados de ICV (20).

A despeito dessas publicações, a literatura sobre ACV-S disponível tem relatado desafios relativos, sobretudo, à seleção de indicadores sociais apropriados e viáveis. Isso porque a ACV-S está suscetível a utilizar métricas qualitativas através de termos linguísticos muitas vezes ambíguos e imprecisos para traduzir o desempenho de produtos e serviços segundo critérios sociais, ao mesmo tempo que demanda informações muitas vezes restritas e confidenciais às organizações e um tratamento diferenciado para os impactos sociais positivos (4,21).

No presente trabalho, a ACV-S é aplicada sobre os quatro sistemas fotovoltaicos da Usina Solar Fotovoltaica de Alto do Rodrigues (UFV-AR). Para isso, leva em consideração os seus ciclos de vida completos, abarcando desde a etapa de extração das matérias-primas até a etapa de descomissionamento. No que diz respeito às categorias de impacto social, a seleção se baseou nos resultados de estudos prévios dos autores (4), os quais indicam quatro temas sociais acessíveis e relevantes para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no Brasil, são eles: geração de empregos, aceitação social, saúde e segurança dos trabalhadores e direitos das comunidades locais (Tabela 1).

TABELA 1 – Categorias de impacto social consideradas
Fonte: (4)

Categoria de impacto	Código	Unidade
Geração de empregos	SOC01	n.º de empregos.ano
Aceitação social	SOC02	Adimensional
Saúde e segurança	SOC03	n.º de acidentes.ano
Direitos das comunidades locais	SOC04	Adimensional

As informações referentes aos processos de cada etapa da cadeia de geração de energia elétrica a partir das diferentes tecnologias fotovoltaicas consideradas foram obtidas através de dados secundários provenientes da literatura disponível e relatórios de organizações internacionais.

3.2 Estudo de Caso: Usina Solar Fotovoltaica de Alto do Rodrigues (UFV-AR)

A UFV-AR é uma usina de geração solar fotovoltaica centralizada pertencente a Petrobrás que está situada no mesmo terreno da Usina Termelétrica Jesus Soares Pereira, no município de Alto do Rodrigues, Rio Grande do Norte. Ela corresponde a uma área de cerca de 30.000 m² sobre os quais se distribuem seus quatro sistemas. Conforme ilustrado na Figura 1, o sistema 1 (S1) é composto por módulos de silício policristalino (multi-Si) montados em rastreadores de um eixo horizontal norte-sul e com potência instalada de 1,0 MW_p. O sistema 2 (S2) é também composto por módulos multi-Si, mas montados em estruturas fixas com potência instalada de 0,05 MW_p. Já o sistema 3 (S3) corresponde a um conjunto de módulos de silício amorfo (a-Si) montados em estruturas fixas com potência instalada de 0,025 MW_p. Finalmente, o sistema 4 (S4) é constituído por módulos de filme fino de disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS) montados em estruturas fixas com potência instalada de 0,025 MW_p (22).

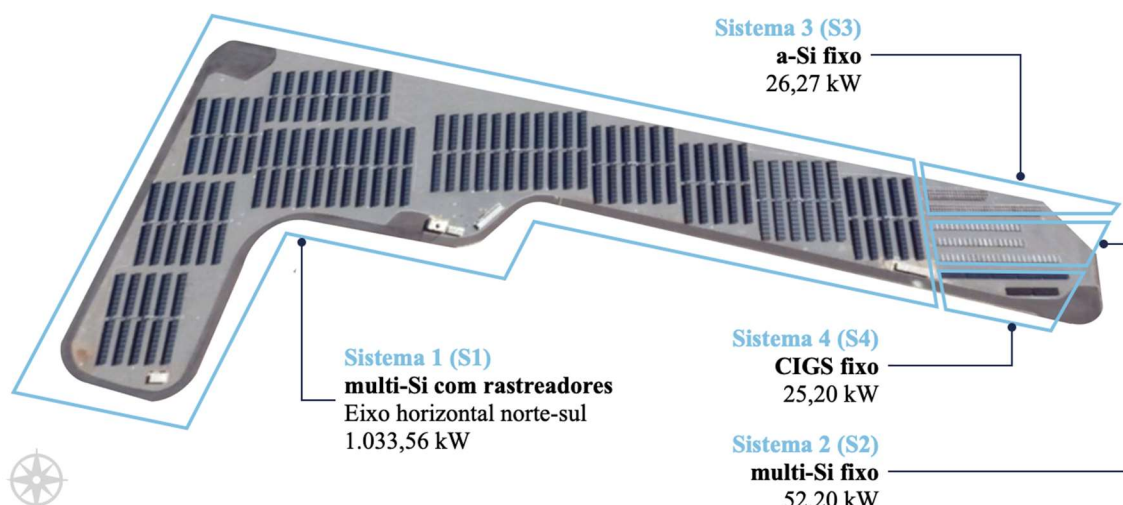


FIGURA 1 – UFV-AR e seus sistemas solares fotovoltaicos
Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Google Maps 2021.

Além dos componentes mencionados acima, a UFV-AR é composta por um centro de seccionamento, dois transformadores, duas subestações e seis inversores, além de instalações e outros equipamentos elétricos. A Tabela 2 traz algumas das principais informações técnicas dos seus quatro sistemas solares fotovoltaicos.

TABELA 2 – Principais características dos sistemas solares fotovoltaicos da UFV-AR
Fonte: (22)

Parâmetro técnico	Sistema			
	S1	S2	S3	S4
Tecnologia	multi-Si	multi-Si	a-Si	CIGS
Nº de módulos	3.564 un.	180 un.	185 un.	210 un.
Capacidade instalada	1.033,56 kW	52,20 kW	26,27 kW	25,20 kW
Fator de capacidade	21,54%	19,11%	19,28%	15,98%
Estrutura	Com rastreador	Estrutura fixa	Estrutura fixa	Estrutura fixa
Inversores	2 un. (519 kW)	2 un. (25 kW)	1 un. (25 kW)	1 un. (25 kW)
Transformadores	1.000 kVA	100 kVA	100 kVA	100 kVA

Para avaliar o desempenho social dos sistemas da UFV-AR, foi necessário ainda adotar algumas premissas. A primeira delas corresponde a vida útil da usina que foi estabelecida em 25 anos, período sobre o qual as tecnologias fotovoltaicas estão sujeitas a uma degradação. Em seguida, tendo em vista que tais tecnologias são de origem estrangeira, foram determinados seus países de origem de modo a contabilizar e discriminar os potenciais impactos sociais que neles ocorrem. Essas informações estão reunidas na Tabela 3 abaixo.

TABELA 3 – Principais parâmetros adotados para os sistemas solares fotovoltaicos da UFV-AR
Fonte: (23,24)

Parâmetro técnico	Sistema			
	S1	S2	S3	S4
Tecnologia	multi-Si	multi-Si	a-Si	CIGS
Vida útil	25 anos	25 anos	25 anos	25 anos
Taxa de degradação	0,59%/ano	0,59%/ano	0,95%/ano	0,02%/ano
País de origem	Malásia	Malásia	China	Alemanha

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do inventário do ciclo de vida

Os dados referentes ao inventário do ciclo de vida social são oriundos de fontes secundárias, sendo elas a literatura disponível, dados setoriais e relatórios de organizações internacionais. Para a categoria de impacto referente à geração de empregos, as informações foram obtidas junto a um estudo conduzido por Ram et al. (25) que trata da criação de novos postos de trabalho graças à transição energética atualmente em curso. Assim, foi considerada a geração de empregos tanto temporários quanto permanentes durante as etapas de produção, construção, operação e manutenção e descomissionamento da UFV-AR (Tabela 4). É importante mencionar que os empregos gerados na etapa de produção ocorrem nos países de origem de cada uma das tecnologias fotovoltaicas (ver Tabela 3), enquanto que aqueles gerados nas demais etapas ocorrem no Brasil. Na Tabela 5 abaixo, é possível verificar que América do Sul possui o maior coeficiente multiplicador regional de emprego, o que significa um ambiente mais favorável a geração de empregos por megawatt (MW), segundo a produtividade do trabalho da região (25).

TABELA 4 – Empregos gerados pela indústria solar fotovoltaica segundo as etapas da cadeia de produção da tecnologia
Fonte: (25)

Etapa do ciclo de vida da tecnologia solar fotovoltaica	Empregos gerados (empregos.ano/MW)
Produção	6,7
Construção	13,0
Operação e manutenção	0,7
Descomissionamento	0,8

TABELA 5 – Coeficientes multiplicadores regionais de emprego,
Fonte: (25)

Região	Coeficiente multiplicador
Europa	1,05
Eurásia	1,86
Nordeste asiático	2,22
Sudeste asiático	2,52
América do Norte	1,00
América do Sul	3,14

No caso da categoria de impacto social de saúde e segurança dos trabalhadores, a presente análise se baseou nos resultados de um estudo realizado por Hämäläinen et al. (26). Nele, os autores se debruçam sobre a tendência global de acidentes de trabalho e doenças relacionadas ao trabalho em níveis regional e nacional. Analogamente à categoria de impacto de geração de empregos, a de saúde e segurança levou em consideração o desempenho dos países de origem das tecnologias fotovoltaicas na etapa de produção e o desempenho do Brasil nas demais etapas (Tabela 6).

Quanto à aceitação social, a pesquisa conduzida por Sena et al. (27), acerca dos impactos e aceitação social de energias renováveis no estado do Rio Grande do Norte, apontou que a população é claramente favorável à tecnologia solar fotovoltaica. Não havendo uma distinção da percepção da sociedade com relação as diferentes tecnologias fotovoltaicas existentes, tampouco estudos que alcancem esse nível de detalhe, foi considerado o nível alto de aceitação para todas as diferentes tecnologias e sistemas fotovoltaicos componentes da UFV-AR.

Por fim, os dados utilizados para a categoria de impacto de direitos das comunidades locais correspondem as avaliações das liberdades civis extraídas dos relatórios nacionais produzidos pela Freedom House (28). Nessa avaliação, essa organização sem fins lucrativos que promove sobretudo o respeito aos direitos humanos, leva em conta os direitos associativos e organizacionais, o estado de direito e a autonomia pessoal e os direitos individuais em nível nacional. Desse modo, foram considerados os desempenhos tanto dos países de origem das tecnologias fotovoltaicas quanto do Brasil (Tabela 6). No caso do Brasil, foi verificada ainda a existência de comunidades quilombolas e indígena a cerca de 20-30 km de distância da UFV-AR, não havendo *a priori* impactos sociais diretos sobre as mesmas (29).

TABELA 6 – Indicadores das categorias de impacto social de saúde e segurança dos trabalhadores e direitos das comunidades locais
Fonte: (26,28)

Indicador de categoria de impacto social	Países			
	Alemanha	Brasil	China	Malásia
Taxa de acidentes de trabalho (%)	2,34	15,17	12,40	11,91
Liberdades civis (pontuação)	55	44	11	31
<i>Liberdade de expressão e crença</i>	14	14	1	9
<i>Direitos associativos e organizacionais</i>	12	9	2	6
<i>Estado de direito</i>	14	8	2	7
<i>Autonomia pessoal e direitos individuais</i>	15	13	6	9

4.2 Avaliação dos impactos sociais e interpretação dos resultados

A Tabela 7 fornece os resultados da ACV-S segundo as categorias de impacto social consideradas. Nela, é possível observar que os sistemas S1 (multi-Si com rastreadores) e S2 (multi-Si fixo) apresentaram o melhor desempenho dentro da categoria de geração de empregos. Isso porque ambos os sistemas compartilham a mesma tecnologia fotovoltaica multi-Si, a qual está associada a criação de mais postos de trabalhos quando comparada com as tecnologias a-Si e CIGS o que, por sua vez, se deve ao desempenho de seus países de origem. Ainda no que concerne a geração de empregos, vale ressaltar que nos quatro sistemas a etapa de construção, que se dá no Brasil, foi aquela que concentrou o maior número de empregos gerados.

Conforme já mencionado na seção anterior, foi atribuído aos quatro sistemas fotovoltaicos da UFV-AR o mesmo nível alto de aceitação social. Já com relação a categoria de saúde e segurança dos trabalhadores, o sistema S1 (multi-Si com rastreadores) apresentou o menor número de acidentes por quilowatt-hora (kWh) de energia gerada. Ele foi seguido pelo S4 (CIGS fixo), S3 (a-Si fixo) e S2 (multi-Si fixo), nesta ordem. De modo análogo a categoria de geração de empregos, a construção se revelou como a etapa responsável pela maior parte dos acidentes contabilizados. Finalmente, para a categoria de direitos das comunidades locais, o sistema S4 (a-Si fixo) obteve a maior pontuação devido sobretudo ao melhor desempenho do seu país de origem com relação as liberdades civis. Em seguida, aparecem os sistemas S1 (multi-Si com rastreadores) e S2 (multi-Si fixo) e o sistema S3 (a-Si fixo).

TABELA 7 – Avaliação dos impactos sociais dos sistemas fotovoltaicos da UFV-AR

Categoria de impacto	Código	Unidade	Sistema			
			S1	S2	S3	S4
Geração de empregos	SOC01	empregos.ano/MW	6,24	6,24	6,04	5,26
Aceitação social	SOC02	Adimensional	Alto	Alto	Alto	Alto
Saúde e segurança	SOC03	acidentes.ano/KW _h	$4,73 \times 10^{-6}$	$5,33 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$5,05 \times 10^{-6}$
Direitos das comunidades locais	SOC04	Adimensional	0,375	0,375	0,275	0,495

A Figura 2 a seguir ilustra a comparação dos desempenhos dos sistemas fotovoltaicos resultante de uma normalização interna, ou seja, uma normalização dos desempenhos dos sistemas fotovoltaicos dentro de cada categoria de impacto social. Assumindo que todas as categorias possuem um mesmo peso, pode-se indicar os sistemas S1 (multi-Si com rastreadores) e S4 (CIGS fixo) como aqueles de melhor desempenho social. Por outro lado, o sistema S3 (a-Si fixo) ficou com a última posição em termos de desempenho social.

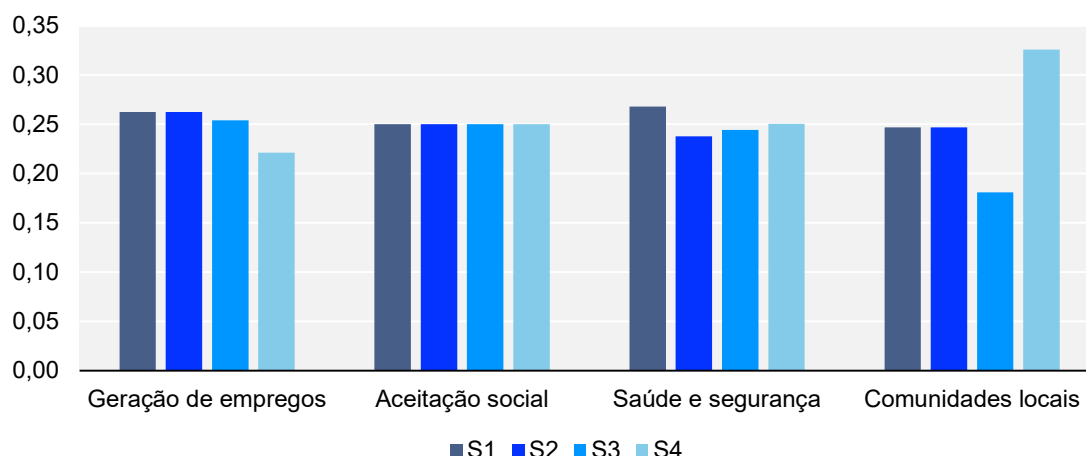


FIGURA 2 – Comparação dos desempenhos dos sistemas fotovoltaicos da UFV-AR (normalização interna)

5.0 CONCLUSÃO

Ao evidenciar a necessidade de analisar os potenciais impactos socioambientais da expansão das fontes renováveis para se antecipar aos seus desafios e potencializar os seus ganhos, o presente trabalho se concentrou nos impactos sociais da fonte solar fotovoltaica ao longo do seu ciclo de vida. Nesse sentido, forneceu um estudo de caso que aplica a ACV-S para avaliar o desempenho social dos quatro sistemas que compõem a UFV-AR segundo os critérios de geração de empregos, aceitação social, saúde e segurança dos trabalhadores e direitos das comunidades locais.

Os resultados do estudo de caso apontaram os sistemas S1 (multi-Si com rastreadores) e S4 (CIGS fixo) como aqueles de melhor desempenho social. Enquanto o sistema S1 se destacou nas categorias de geração de emprego e saúde e segurança dos trabalhadores, o sistema S4 apresentou o melhor desempenho na categoria de direitos das comunidades locais. Vale ressaltar que diferentes considerações entre estudos sobre a geração de energia a partir das tecnologias solar fotovoltaica, tais como diferentes fronteiras de sistemas, países de origem, categorias de impacto social etc., podem acarretar variações significativas nos resultados da ACV-S. Além disso, os resultados obtidos neste trabalho não têm a ambição de indicar a direção mais adequada para a matriz elétrica nacional já que para isso é necessário levar em conta outros fatores além dos sociais, tais como ambientais, técnicos, locais, econômico-financeiros, de políticas públicas entre outros.

De um modo geral, apesar de se caracterizar como uma ferramenta bastante incipiente, a ACV-S demonstrou potencial em apoiar análises sociais mais robustas que rompem com o *status quo* do planejamento elétrico nacional, fornecendo informações sociais relevantes sobre a cadeia completa de geração de energia elétrica. Isso se mostra bastante pertinente justamente em um momento em que se tem elevado a importância dos interesses de todos aqueles que de algum modo são (ou se sentem) impactados por alguma atividade econômica, fazendo com que tenhamos que ampliar nosso olhar para além da conduta dessa atividade em particular, abarcando também o comportamento de fornecedores, clientes, comunidades e outros envolvidos.

Em última análise, é importante ainda mencionar que este primeiro ensaio possibilitou a constatação de alguns desafios relatados pela literatura especializada em ACV-S. Isso porque durante a sua execução nos deparamos com obstáculos práticos relacionados à subjetividade de alguns aspectos sociais – uma vez que nem todos podem ser mensurados em termos quantitativos –, ao acesso a dados primários e ao tratamento de impactos sociais positivos. Desse modo, acreditamos que trabalhos futuros possam canalizar esforços no sentido não só de avançar sobre esses desafios, mas também ampliar a fronteira do sistema e a gama de temas sociais abordados visando melhor refletir a realidade do setor elétrico nacional.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) UN. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development United Nations United Nations Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. United Nations. 2015.
- (2) IEA. World Energy Outlook 2020. 2020.
- (3) Brasil. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. 2021.
- (4) Lasso JG, Magrini A, Castelo Branco D. Life cycle-based sustainability indicators for electricity generation: A

systematic review and a proposal for assessments in Brazil. *J Clean Prod* [Internet]. 2021 Aug;311:127568. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652621017868>

- (5) Miglioli LAA. Responsabilidade, ESG e negócios assimétricos. *Valor Econômico*. 2020;
- (6) Loturco R, Del Caro L. Debate sobre eficácia de práticas ESG ganha força. *Valor Econômico*. 2020;
- (7) Bortolini C. A guerra das terras-raras vai acontecer? – Mineração estratégica no coração do conflito comercial sino-americano. *Le Monde Diplomatique*. 2020;
- (8) Brasil. Balanço Energético Nacional 2020. Rio de Janeiro; 2021.
- (9) Laurent A, Espinosa N, Hauschild MZ. LCA of Energy Systems. In: Hauschild M, Rosenbaum R, Olsen S, editors. *Life Cycle Assessment* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 633–68. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3_26
- (10) IRENA. Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2020. Abu Dhabi; 2020.
- (11) Liu G. Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2014 Mar;31:611–21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008526>
- (12) Mulloy KB, Sumner SA, Rose C, Conway GA, Reynolds SJ, Davidson ME, et al. Renewable energy and occupational health and safety research directions: A white paper from the Energy Summit, Denver Colorado, April 11-13, 2011. *Am J Ind Med* [Internet]. 2013 Aug;56(11):1359–70. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/ajim.22184>
- (13) Righter RW. *Wind Energy in America: A History*. University of Oklahoma Press; 1996. 361 p.
- (14) Sovacool BK, Ratan PL. Conceptualizing the acceptance of wind and solar electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012.
- (15) Macombe C, Leskinen P, Feschet P, Antikainen R. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: A literature review and development needs. *Journal of Cleaner Production*. 2013.
- (16) UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. Management. 2009.
- (17) ISO. ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Organization for Standardization. International Organization for Standardization; 2006.
- (18) UNEP. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020*. 2020.
- (19) UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *The Methodological Sheets for Sub-Categories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*. Pre publication-Version. The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). 2013.
- (20) Kühnen M, Hahn R. Indicators in Social Life Cycle Assessment: A Review of Frameworks, Theories, and Empirical Experience. *J Ind Ecol*. 2017;
- (21) Shepard RB, editor. *Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic* [Internet]. Springer New York; 2005. (Springer Series On Environmental Management). Available from: <http://link.springer.com/10.1007/0-387-28098-7>
- (22) Fontenele LFA. *Evaluation of photovoltaic system configurations in the Northeastern region of Brazil*. University of São Paulo; 2018.
- (23) Tolmasquim M. *Renewable energy: hydro, biomass, wind, solar, ocean*. Brazilian Energy Research Office, editor. Rio de Janeiro; 2016. 452 p.
- (24) Jordan DC, Kurtz SR. Photovoltaic Degradation Rates-an Analytical Review. *Prog Photovoltaics Res Appl* [Internet]. 2013 Jan;21(1):12–29. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/pip.1182>
- (25) Ram M, Aghahosseini A, Breyer C. Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. *Technol Forecast Soc Change* [Internet]. 2020 Feb;151:119682. Available from:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162518314112>

- (26) Hämäläinen P, Leena Saarela K, Takala J. Global trend according to estimated number of occupational accidents and fatal work-related diseases at region and country level. *J Safety Res* [Internet]. 2009 Jan;40(2):125–39. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022437509000267>
- (27) de Sena LA, Ferreira P, Braga AC. Social acceptance of wind and solar power in the Brazilian electricity system. *Environ Dev Sustain* [Internet]. 2016 Oct 10;18(5):1457–76. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10668-016-9772-0>
- (28) Freedom House. Freedom in the World 2020. 2020.
- (29) IBGE. Base de Informações sobre os Povos Indígenas e Quilombolas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. 2019.

7.0 DADOS BIOGRÁFICOS



João Gabriel Lássio é doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE (PPE/COPPE/UFRJ), mestre em Génie de la Mobilité Durable, especialidade Transport et Développement Durable, pela École Nationale de Ponts et Chaussées, e graduado em Engenharia Civil pela UFRJ. No seu doutorado, se dedica a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida de fontes renováveis de energia, incorporando aspectos econômicos e sociais aos ambientais da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Atualmente, é bolsista do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) da Eletrobras, atuando em estudos acerca de indicadores de sustentabilidade e impactos socioambientais associados à cadeia de geração de energia elétrica.

(2) DENISE FERREIRA DE MATOS é pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, da área de meio ambiente, mais especificamente estudos socioeconômicos; atua em estudos e desenvolvimento de metodologias para avaliação de impactos socioambientais destacando a atividade de geração transmissão de energia elétrica, e ainda no desenvolvimento de indicadores ambientais e de sustentabilidade corporativa com foco na área socioambiental.

Especializações: Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais - ENCE (Escola Nacional de Estatística), atualmente doutoranda do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, com foco em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida.

(3) ALESSANDRA MAGRINI: Formação Acadêmica: Doutorado Administração/COPPEAD–UFRJ; Mestrado Planejamento Energético/PPE–COPPE/UFRJ; Graduação Engenharia Química/Escola de Química-UFRJ; Atuação profissional: Pesquisador Colaborador/COPPE-UFRJ e Consultor (desde 2019); Professor Titular/PPE-COPPE/UFRJ Coordenador do Laboratório Interdisciplinar de Negociação de Conflitos Ambientais e Gestão Ambiental Cooperativa-LINCA/COPPE-UFRJ; Área de Atuação: Planejamento Energético com ênfase em Gestão Ambiental e Gestão da Sustentabilidade de sistemas energéticos e industriais; Produção: 48 Artigos em Periódicos; 6 Livros publicados e/ou organizados; 31 Capítulos de livros; 80 Trabalhos em congressos; 96 Orientações de Graduação, Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado; 20 Coordenações e/ou participações em Projetos.

(4) DAVID ALVES CASTELO BRANCO é professor adjunto do Programa de Planejamento Energético da COPPE (PPE/COPPE/UFRJ). Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997), mestrado em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008) e doutorado em Planejamento Energético pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2012). Possui experiência na área de Planejamento Energético, atuando principalmente nos seguintes temas: Mudanças Climáticas, especificamente na realização de inventários de emissões de gases de efeito estufa; tecnologias de baixo carbono; custos de abatimento; fontes renováveis de energia e análise de ciclo de vida (ACV).