

ÁREA TEMÁTICA: Área 3: Reciclagem (Energia)

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTVOLTAICA EM ATERROS CONSIDERANDO O RECALQUE DIFERENCIAL DO SOLO

Ana Carolina de Lima Veloso¹ (anacarolina482@hotmail.com), Antônio César Pinho Brasil Júnior² (brasiljr@unb.br), Rafael Amaral Shayani¹ (shayani@unb.br)

¹ Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília – DF

² Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília - DF

RESUMO

Há uma crescente preocupação mundial em relação às mudanças climáticas, decorrentes principalmente da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera. Um dos setores que produz mais poluentes é a geração de energia elétrica, situação que impulsionou o uso de fontes renováveis. Neste contexto, há um crescimento significativo da energia solar fotovoltaica na matriz energética mundial. Dentre as vantagens que justificam esse crescimento, pode-se citar o desenvolvimento tecnológico, o qual permite uma redução nos custos de implementação desse tipo de sistema. Concomitantemente, devido à disponibilidade de grandes áreas em aterros cujas atividades finais foram encerradas, a instalação de usinas fotovoltaicas se torna um grande atrativo. Por se tratar de um terreno com camadas de resíduos sólidos em sua composição, deve-se levar em consideração a instabilidade desse solo. Dessa forma, faz-se necessário estudar a deformação coletiva uniforme e não uniforme causada por alterações que afetam as propriedades desses resíduos ao longo do tempo, ou seja, o estudo do recalque no solo. Para tanto, são empregadas ferramentas que possibilitam sua simulação, por meio da variação da inclinação e do azimute do solo do aterro. De posse dos resultados destas análises, é identificada a perda energética do sistema solar fotovoltaico em relação à variação do assentamento, observando-se a máxima produção de energia, considerando o aterro Jockey Club de Brasília-DF como estudo de caso.

Palavras-chave: Aterros; Recalque diferencial; Usinas fotovoltaicas.

SENSITIVITY ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION IN LANDFILLS CONSIDERING THE DIFFERENTIAL SOIL SETTLEMENT

ABSTRACT

There is growing worldwide concern about climate change, arising mainly from the emission of greenhouse gases into the atmosphere. One of the sectors that produce the most pollutants is the generation of electricity, a situation that boosted the use of renewable sources. In this context, there is a significant growth of solar photovoltaic energy in the world energy matrix. Among the advantages that justify this growth, we can mention the technological development, which allowed a reduction in the implementation costs of this type of system. At the same time, due to the availability of large areas in landfills whose final activities have been closed, the installation of photovoltaic system becomes a major attraction. Because it is a land with layers of solid waste in its composition, it must be taken into account the instability of this soil. Thus, it is necessary to study the uniform and non-uniform collective deformation caused by changes that affect the properties of these residues over time, that is, the study of soil settlement. To this end, tools are employed that enable its simulation by varying the slope and azimuth of the soil. With the results of these analyzes, the energy loss of the system in relation to the variation of the settlement is identified, observing the maximum energy production in the photovoltaic system, considering the Jockey Club landfill in Brasília-DF as a case study.

Keywords: Landfills; Differential settlement; Photovoltaic systems.

1. INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica está cada vez mais inserida nas matrizes energéticas mundiais. O interesse em reduzir as emissões de gases do efeito estufa, associado à diversificação dessas matrizes e ao desenvolvimento tecnológico da área, aumentou a procura por fontes de energia sustentável. Ao se fazer investimentos em inovações de energia como as renováveis, acelera-se a transição para um futuro limpo, confiável e acessível.

No Brasil, o incentivo à utilização da energia fotovoltaica surgiu por meio da Resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012. Essa resolução estabelece as condições gerais para o acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica mediante o uso da minigeração e microgeração distribuída, além de definir o sistema de compensação de energia elétrica e as responsabilidades em caso de dano ao sistema elétrico.

As Nações Unidas, juntamente aos governos de diversos países, sociedade civil e outros parceiros, de forma a aproveitar o impulso gerado por meio dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), definiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, com a inclusão da geração de energia acessível e limpa. O tema "Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos" é tratado no ODS 7 de forma a aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

O descarte de resíduos sólidos é feito, em sua maioria, de forma irregular, trazendo inúmeras consequências à população e ao meio ambiente. Esses locais representam riscos significativos à saúde tanto dos catadores quanto daqueles que vivem nas redondezas. Os recursos hídricos e o ar são gravemente poluídos e os elementos tóxicos chegam a percorrer longas distâncias desde a fonte geradora (ISWA, 2016).

Levando-se em consideração a necessidade de melhorar o descarte dos resíduos, a criação de aterros controlados e aterros sanitários é uma das alternativas utilizadas. Os aterros sanitários são opções interessantes para a implementação da usina fotovoltaica, pois o lixo é depositado em solos que recebem uma impermeabilização e um sistema de drenagem para o chorume, além do sistema para a captação dos gases.

Visto isso, um terreno com milhares de metros quadrados em áreas cujas condições ambientais não são bem adequadas para o zoneamento comercial ou residencial, as terras podem ter custos globais de operação mais baixos do que em áreas não contaminadas. Com o devido funcionamento da coleta de gases e do tratamento do lixo já depositado, os aterros cujas atividades fins foram encerradas descrevem um local atrativo para a instalação de uma usina fotovoltaica. Além disso, a vantagem de se produzir energia em um aterro é justamente a vasta disponibilidade de área para a implementação do sistema, tendo em vista o espaço ser um fator crucial dessa tecnologia, ou seja, quanto maior a área viabilizada mais energia poderá ser gerada para o consumidor.

Deve-se levar em consideração, ao se tratar de uma instalação fotovoltaica em aterro, a instabilidade do solo. Essa instabilidade ocorre devido à falta de uniformidade da disposição dos resíduos na superfície do terreno, o que pode ocasionar o recalque, um fenômeno que ocorre quando a estrutura sofre um rebaixamento causado pelo adensamento da área sob sua fundação (NREL, 2013). Por sua vez, o recalque diferencial é definido quando uma parte da construção rebaixa mais que outra, gerando esforços estruturais não previstos, afetando a inclinação dos painéis fotovoltaicos e, por sua vez, reduzindo a geração de energia.

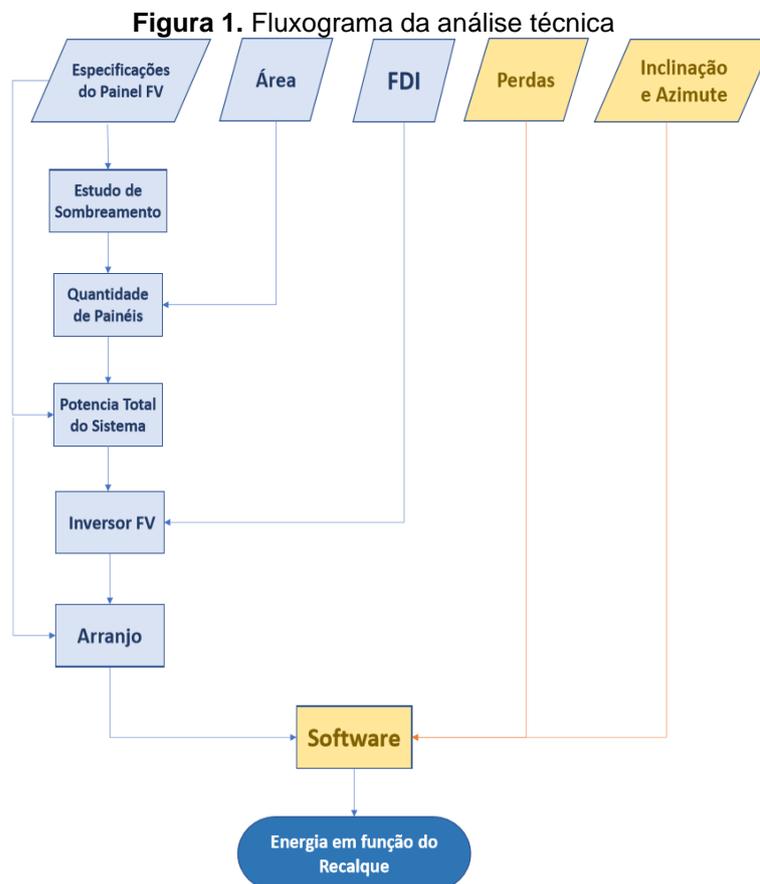
2. OBJETIVO

Analisar o impacto na geração de energia da usina fotovoltaica implementada em aterros em relação à instabilidade do solo, considerando o Jockey Club de Brasília-DF como estudo de caso. A alteração do ângulo de inclinação e do ângulo azimutal do painel fotovoltaico é utilizada para simular o recalque diferencial.

Mais precisamente, o objetivo específico é determinar a relação entre a profundidade do recalque e a redução da produção de energia, de forma a identificar se isso será ou não um fator limitante para a instalação do sistema solar em aterros sujeitos ao recalque diferencial do solo.

3. METODOLOGIA

Os processos que constituem a análise técnica são citados nos tópicos seguintes assim como no fluxograma da Figura 1.



3.1 Base de dados

Para a obtenção dos resultados do sistema solar fotovoltaico a ser projetado, é necessária a importação de alguns dados ambientais e anemométricos da região de Brasília/DF, onde se encontra o respectivo aterro. Essas entradas são selecionadas da *National Solar Radiation Data Base (NSRDB)* e solicitadas pelo *software PV Performance Modeling Collaborative (PVMPC)*, conforme mostrado na Tabela 1. Essas informações estão diretamente ligadas ao desempenho do sistema fotovoltaico e possuem grande relevância na conversão da energia solar para energia elétrica.

Tabela 1. Dados climáticos e anemométricos

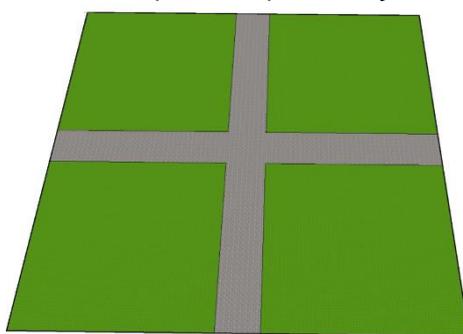
Dados	Unidades de medida
Altitude em relação ao nível do mar	m
Latitude e longitude	°
Irradiância difusa horizontal	W/m ²
Irradiância direta normal	W/m ²
Irradiância global horizontal	W/m ²
Pressão atmosférica	Pa
Temperatura ambiente	°C
Velocidade do vento	m/s

Uma etapa importante na simulação do projeto é a compatibilização dos dados de entrada listados na Tabela 1, cujo formato permitido pelo PVPVC é o *Typical Meteorological Year 3 (TMY3)*. Essa forma é composta por doze meses meteorológicos típicos, de janeiro a dezembro, concatenados de acordo com medições realizadas durante um certo período de tempo para formar um único ano com um registro de dados completos.

3.2 Escolha do projeto básico

O projeto básico é idealizado de forma modular, para ser independente do tamanho do aterro, portanto, necessita-se de uma disposição física que seja fácil de ser replicada e que possa ser tomada como referência para qualquer outra localidade, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Área padrão utilizada para a implementação do sistema fotovoltaico



A área analisada é de um hectare com uma estruturação quadrática de 100 m x 100 m. O terreno é dividido em quatro arranjos de maneira que haja uma passagem para transporte de cargas e acesso remoto ao sistema fotovoltaico implementado, tanto para a instalação quanto para a manutenção dos componentes.

O inciso que trata da Coordenação do Sistema Nacional de Trânsito, considerando-se a necessidade de estabelecer os limites de dimensões para a circulação de veículos, infere que: “A largura máxima autorizada para veículos, com ou sem carga, é de 2,60 m” (CONTRAN, 2006). Tendo em vista essa determinação, estima-se que a largura de 10 m a uma estrada simples de mão dupla é o suficiente para que haja a circulação de qualquer tipo de veículo, seja ele com ou sem carga. Dessa forma, o terreno ficou dividido em quatro partes, cada uma com 45 m x 45 m de área.

3.3 Escolha dos componentes da usina fotovoltaica

Esta etapa consiste em analisar os componentes mais adequados para a instalação do projeto. Isso significa dizer que todos os parâmetros de fabricação possuem relevância e devem estar de acordo com o ambiente situado, neste caso, um aterro.

Há dois aspectos que devem ser levados em consideração no instante em que se estuda o local de implementação de um gerador fotovoltaico: a boa incidência de radiação solar e a menor distância possível entre os painéis e as cargas, a fim de amenizar as perdas devido à queda de tensão nos cabos.

O próximo passo é descobrir a quantidade de painéis que pode ser implementada dentro da área disponível. Para tanto, deve-se levar em consideração as dimensões físicas do módulo, de forma que, junto à distância mínima encontrada, garanta o número total de fileiras. Em relação à quantidade de painéis em série, é considerado o espaçamento nulo, tendo em vista que o alinhamento entre os mesmos não permite o sombreamento nesta posição.

O conjunto de módulos conectados em série é chamado de *string*. De forma a diminuir a perda por incompatibilidade, a quantidade de módulos em série deve ser igual em todas as *strings* que pertencem a um mesmo Seguidor do Ponto de Máxima Potência (SPMP) do inversor.

3.4 Relação entre a inclinação e o azimute dos painéis com o recalque diferencial

As Figuras 3 e 4 ilustram um painel fotovoltaico no solo do aterro antes e após o recalque diferencial.

Figura 3. Inclinação do painel fotovoltaico antes do recalque diferencial no solo do aterro

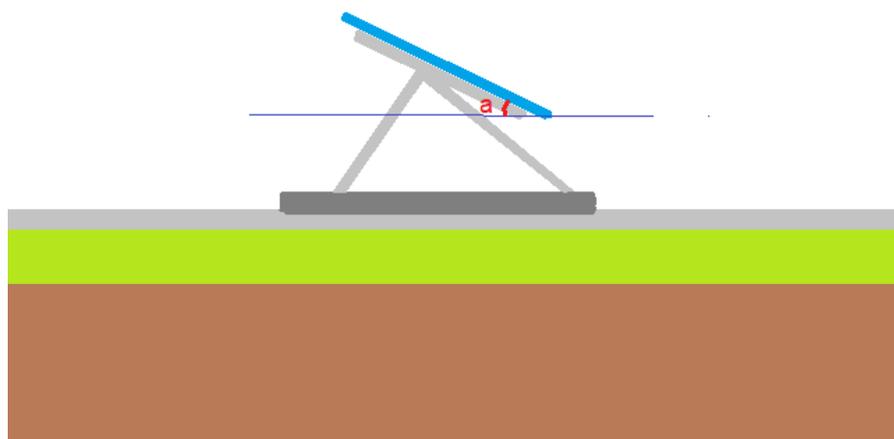
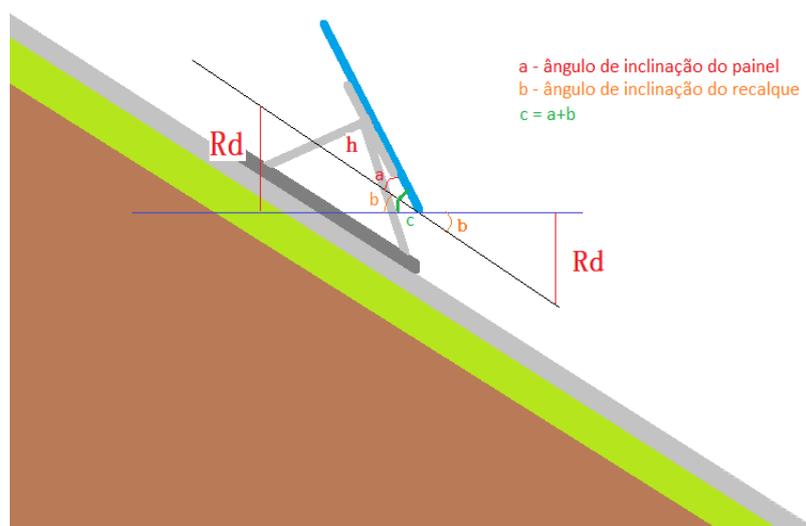


Figura 4. Inclinação do painel fotovoltaico após o recalque diferencial no solo do aterro

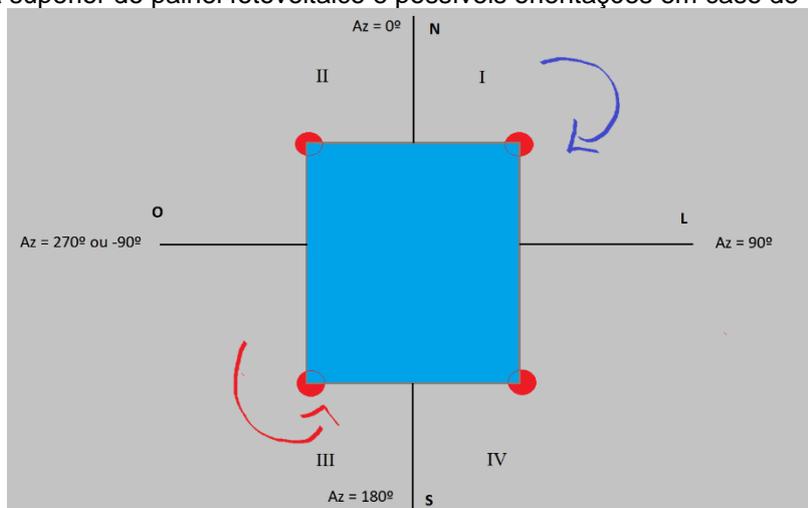


A linha azul, traçada horizontalmente, representa o referencial do solo antes do recalque e a linha preta, o novo referencial, traçada paralela ao solo após o recalque. O valor do desnível Rd é calculado através da relação trigonométrica entre os dois triângulos retângulos apresentados na Figura 3.4, cujo ângulo de inclinação é definido por ' b ', ou seja, o ângulo de inclinação do recalque. Por sua vez, a variável ' a ' representa o ângulo de inclinação do painel e a variável ' c ' a soma dos dois ângulos anteriores.

Para a obtenção dos resultados na simulação, é considerado o valor ' c ' como entrada, ou seja, se ' $a = 20^\circ$ ' e pretende-se simular uma inclinação no solo de 10° ao norte ($b = 10^\circ$), então ' $c = 30^\circ$ '. Portanto, qualquer valor encontrado nas tabelas deve-se subtrair o valor de ' a ' para que se encontre a inclinação que representa o recalque ' b '.

Já o azimute representa um ângulo de orientação em graus e tem como referência o norte geográfico, onde seu valor é igual zero. A Figura 5 representa as possíveis orientações que o painel pode seguir caso o recalque ocorra em qualquer uma de suas extremidades, representadas pelo círculo vermelho.

Figura 5. Vista superior do painel fotovoltaico e possíveis orientações em caso de recalque no solo



Devido à parte do painel que está voltada para o norte ser mais baixa por conta do ângulo de inclinação, caso o recalque ocorra no quadrante I ou no quadrante IV, o azimute irá variar de 0° a no máximo 90° (considerando casos extremos), além da alteração no ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico. No que lhe concerne, caso o recalque ocorra no quadrante II ou no quadrante III o azimute, por sua vez, poderá variar de 0° a -90° .

3.5 Energia gerada pelo sistema fotovoltaico

A energia gerada é calculada por meio das funções matemáticas disponibilizadas pela *Sandia National Laboratories* (SNL). Deve-se levar em consideração como entrada para o cálculo, os dados ambientais e anemométricos citados na Tabela 1, as perdas inerentes ao sistema, as informações dos módulos e dos inversores fotovoltaicos, os ângulos de inclinação 'c' e os diferentes ângulos azimutais. Dessa forma, o resultado será a energia fotovoltaica gerada pelo sistema em função dos diversos ângulos azimutais e de inclinação do arranjo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Escolha do módulo fotovoltaico

Por ser abundante, não tóxico e com uma indústria forte tanto do lado da oferta quanto do lado do consumo, o silício demonstra ser uma tecnologia consistente e de alta eficiência ao longo de 30 anos no campo. A degradação do desempenho, o que ocasiona uma redução na geração de energia devido à exposição a longo prazo, é inferior a 1% ao ano. Os módulos de silício têm garantias típicas de produção de energia na faixa de 25 a 30 anos, mas podem continuar produzindo energia além desse prazo. Para um espaço aberto, limitado e que se busca elevada produção de eletricidade, é preferível o módulo fotovoltaico policristalino com potência máxima de 330 Wp, por ser mais viável economicamente e por possuir uma boa eficiência, levando-se em consideração a relação custo-benefício.

As informações pertinentes ao módulo fotovoltaico são imprescindíveis para a realização do projeto do arranjo. Elas são utilizadas tanto no cálculo do fator de espaçamento para se obter a quantidade de *strings* e módulos em série, quanto para o cálculo da potência nominal gerada pelo sistema, o que resulta na potência do inversor a ser utilizado.

4.3 Quantidade e disposição física dos painéis

Levando-se em consideração a relação trigonométrica na Figura 4 e as características físicas do módulo fotovoltaico escolhido, é possível descobrir a quantidade de *strings* e módulos em série dentro do espaço determinado pelo projeto básico, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Informações do projeto básico

Descrição	Valores
Distância mínima entre as fileiras	0,6 m
Quantidade de <i>strings</i>	28
Quantidade de módulos em série	22
Quantidade total de módulos por arranjo	616
Quantidade total de módulos no sistema	2464
Potência nominal de um arranjo	203,28 kWp
Potência nominal do sistema	813,12 kWp

4.4 Escolha do inversor fotovoltaico

O principal critério utilizado na escolha do inversor é a sua potência nominal. A razão entre essa potência e a potência nominal do sistema fotovoltaico é chamada de Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI), o qual deve variar entre 0,75 e 0,85 (CRESESB, 2014).

Pelo fato do sistema ser dividido em quatro arranjos de mesma área, optou-se pela utilização de um inversor para cada, tornando a conversão de energia solar em elétrica de forma independente entre si.

Com o cálculo do FDI, tem-se que a potência nominal do inversor para cada arranjo deve estar entre 152,46 kWp e 172,79 kWp. Dessa forma, a potência nominal do inversor escolhido é de 165 kWp.

4.5 Recalque diferencial no solo do aterro de Brasília/DF

O gráfico da Figura 6 e a Tabela 3 informam a variação da energia anual para o aterro da cidade de Brasília/DF em função da inclinação do recalque quando o azimute é igual a zero graus ($Az=0^\circ$), ou seja, simula o recalque uniforme do solo quando os painéis do arranjo estão voltados para o norte geográfico. Essa variação da energia anual é vista em termos de porcentagem, onde a base utilizada é a maior energia gerada.

Figura 6. Variação da energia anual em função do recalque com azimute igual a zero graus - Brasília/DF

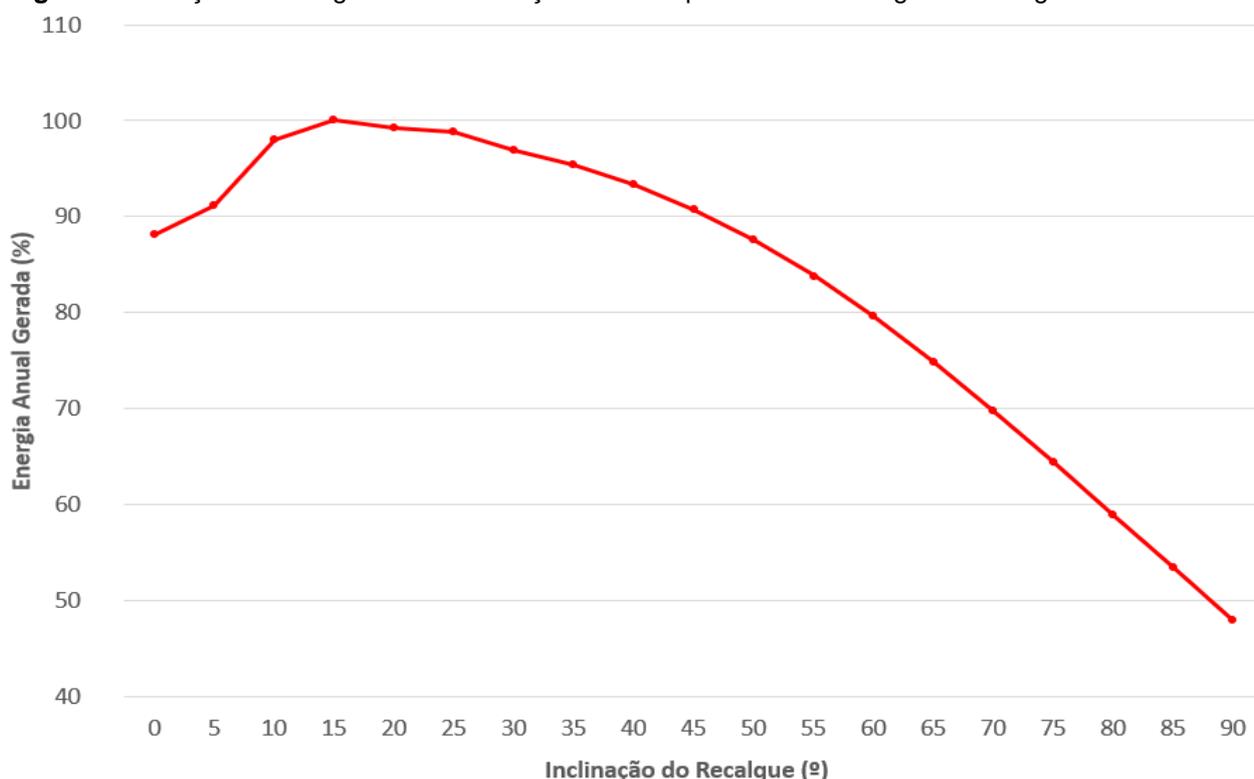


Tabela 3. Variação da energia anual em função do recalque com azimute igual a zero graus - Brasília/DF

Desnível (cm)	I(°)	Energia anual (MWh)	(%)	Desnível (cm)	I(°)	Energia anual (MWh)	(%)
25,78 ao sul	0	280,54	88,1	57,13 ao norte	50	278,82	87,5
17,30 ao sul	5	290,18	91,1	64,02 ao norte	55	266,97	83,8
8,68 ao sul	10	312,17	98,0	70,43 ao norte	60	253,44	79,6
0	15	318,55	100,0	76,30 ao norte	65	238,41	74,8
8,68 ao norte	20	315,98	99,2	81,59 ao norte	70	222,13	69,7
17,30 ao norte	25	314,95	98,9	86,26 ao norte	75	205,00	64,4
25,78 ao norte	30	308,55	96,9	90,27 ao norte	80	187,51	58,9
34,06 ao norte	35	303,80	95,4	93,59 ao norte	85	170,07	53,4
42,09 ao norte	40	297,24	93,3	96,21 ao norte	90	152,64	47,9
49,80 ao norte	45	288,90	90,7				

Por meio da Figura 6 e da Tabela 3 é possível notar que o ponto máximo da geração de energia anual está localizado na inclinação de 15°. Este resultado está de acordo com o esperado, pois a inclinação dos painéis para a máxima produção de energia geralmente coincide com o ângulo da latitude do local. Para inclinações menores que 10°, de acordo com o desnível indicado, a perda por sujeira aumenta de 2% para 7% (BALFOUR et al., 2016). Neste caso a porcentagem da geração de energia varia entre 88,1% e 98,0%.

Por sua vez, para inclinações maiores que 15°, há um decréscimo aproximadamente linear na geração de energia anual, atingindo seu ponto mínimo no desnível de 47,9 cm ao norte. É importante lembrar que as inclinações apresentadas no gráfico correspondem ao valor de 'c' abordado na seção 3.4.

O desnível apresentado na Tabela 3 varia de acordo com a inclinação do recalque. Para inclinações menores que 15°, ou seja, o ângulo da máxima produção de energia, o valor de 'b' mostrado na seção 3.4 é negativo. Isso indica que o desnível é o mesmo do ângulo positivo correspondente de 'b', porém o recalque ocorre no sentido oposto. Dessa forma, para uma perda de aproximadamente 3% na produção de energia, o desnível do recalque varia de 0 a 25,78 cm em ângulos maiores que 15°.

A Figura 7 e a Tabela 4 correspondem à variação da energia anual gerada pelo sistema em relação à inclinação e ao azimute do arranjo em termos percentuais.

Figura 7. Variação da energia anual em função do recalque diferencial no solo do aterro - Brasília/DF

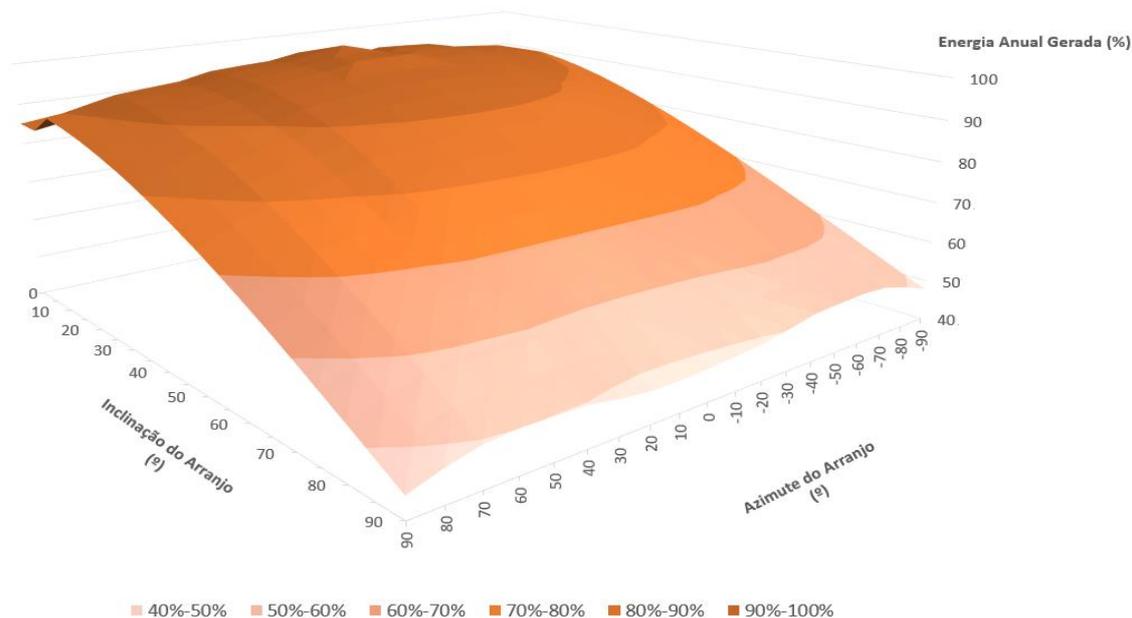


Tabela 4. Variação da energia anual em função do recalque diferencial no solo do aterro (%) - Brasília/DF

$I(^{\circ})$	$Az(^{\circ})$									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	
0	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1
5	89,6	89,8	90,0	91,1	91,1	91,0	89,9	89,7	89,5	
10	96,0	96,4	96,7	95,3	98,0	97,9	96,6	96,2	95,8	
15	96,6	97,1	97,5	97,1	100	98,8	97,3	96,8	96,2	
20	96,5	97,3	97,8	98,3	99,2	98,9	97,5	96,9	96,0	
25	95,9	96,8	97,4	98,8	98,9	98,8	97,1	96,3	95,4	
30	94,7	95,7	96,4	96,8	96,9	96,6	96,1	95,3	94,2	
35	93,0	94,1	94,9	95,3	95,4	95,1	94,5	93,7	92,6	
40	90,9	92,0	92,8	93,2	93,3	93,1	92,5	91,6	90,5	
45	88,3	89,4	90,2	90,6	90,7	90,5	89,9	89,0	88,0	
50	85,3	86,3	87,1	87,5	87,5	87,3	86,8	86,0	85,0	

Mediante a análise de dados da Figura 7 e da Tabela 4, é possível observar que, independente do valor do azimute, a geração de energia anual tende a aumentar com a inclinação até atingir um valor máximo e, logo após, o percentual de energia decresce até chegar ao ponto mínimo. Para os diferentes tipos de azimute, este ponto máximo de energia anual varia entre as inclinações de 15°, 20° e 25°.

Quando o azimute é igual a zero graus, ou seja, o sistema está referenciado para o norte geográfico, o valor máximo de geração se encontra na inclinação de 15°. Este valor é aproximadamente o módulo do ângulo da latitude do local em que se encontra o aterro, neste caso, a cidade de Brasília/DF, com latitude igual a -15,47°. É possível notar também que, para a inclinação de zero graus, o percentual da geração de energia não se altera, pois a perda por incompatibilidade possui o mesmo valor. Por exemplo, na inclinação de zero graus com azimutes entre -40° e 40°, a produção de energia possui o mesmo valor de 88,1%, pois a perda por incompatibilidade é igual a 4% em todos esses casos.

Em relação à variação do percentual da produção de energia, foi considerado como referência a perda de até 3% no desempenho do sistema em função do recalque diferencial. As células marcadas em vermelho na Tabela 4, mostram os valores que se encontram dentro desta faixa. Conforme o esperado, quanto mais próximas as células estão ao azimute de 0° e à inclinação do arranjo de 15°, maior o percentual da geração de energia anual.

5. CONCLUSÃO

Neste artigo, é apresentada uma análise do impacto do recalque diferencial na geração de energia de uma usina fotovoltaica projetada para o aterro de Brasília/DF, por meio da variação da inclinação e do azimute do solo. Esse estudo possibilitou a determinação da relação entre a profundidade do recalque e a redução da produção de energia no sistema fotovoltaico.

O projeto básico, que pode ser replicado para os demais aterros do país, possui 813,12 kWp de potência instalada, totalizando quatro arranjos com 203,28 kWp cada. Dessa forma, de acordo com a resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012, o sistema é classificado como minigeração distribuída.

Para uma perda de até 3% na produção de energia, a inclinação do painel fotovoltaico pode variar entre 10° e 25°, ou seja, com desnível entre 8,68 cm ao sul e 17,30 cm ao norte, com azimute entre -30° e 20°.

Levando-se em consideração uma situação real de assentamento, a perda na geração de energia é considerada baixa para uma variação significativa no desnível do solo, ou seja, a instalação de uma usina fotovoltaica em um aterro sanitário como o de Brasília/DF, é considerada viável em relação à instabilidade do terreno.

1. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho é realizado no âmbito do Programa de P&D da ANEEL, por meio de convênio realizado entre a CEB Geração S.A., CEB Lajeado S.A. e a Fundação Universidade de Brasília para o desenvolvimento do projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “Hibridização de fontes de geração de energia elétrica como alternativa tecnológica de remediação ambiental de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos – Estudo de caso: Aterro controlado do Jockey Clube”.

2. REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. V.1, p. 11-19, 2018/2019.

ALMEIDA, M. P. Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. São Paulo, p. 69-98, 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

ANEEL. Resolução normativa nº 482/2012. Agência Nacional de Energia Elétrica, 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20/11/2019.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N.B. Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos. LTC, 2016. 40 p.

CEB. Norma técnica de distribuição (NTD) 6.09: Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB-D – Conexão em baixa e média tensão. Companhia Energética de Brasília. 2016. 14 p.

CONTRAN. Resolução normativa nº 210/2006. Conselho Nacional de Trânsito, 13 de novembro de 2006. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/sistema-de-gestao-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/copy_of_RESOLUCAO2102006CONTRANCONSOLIDADA.pdf>. Acesso em: 16/11/2019.

CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. V.1. 2014. 10 p.

ISWA. Roteiro para encerramento de lixões: os lugares mais poluídos do mundo. Internacional Solid Waste Association. UNEP, 2016. 17 p.

NREL. National Solar Radiation Data Base (NSRDB) – Data viewer. National Renewable Energy Laboratory, 2017. Disponível em: < <https://nserdb.nrel.gov/> >. Acesso em: 23/10/2019.

NREL; EPA. Best practices for siting solar photovoltaics on municipal solid waste landfills. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. V.1, p. 37-39, 2013.

ONU. Os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. Organização das Nações Unidas, setembro 2015. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/ods/7/>>. Acesso em: 25/11/2019.

PICAULT, D. Forecasting photovoltaic array power production subject to mismatch losses. Solar Energy, 2010. 50 p.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL – DTE – CRESESB, 2014. 154 p.

SNL. PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC). Sandia National Laboratories, 2018. Disponível em: < <https://pvpmc.sandia.gov/> >. Acesso em: 21/09/2019.

VELOSO, A. C. Análise de sensibilidade da geração de energia em usinas fotovoltaicas localizadas em aterros brasileiros em função do recalque diferencial do solo. Brasília, 2019. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de Brasília.