

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem (Energia)

## POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM LIXÕES E ATERROS NO BRASIL

Ana Luísa Arduini Folster<sup>1</sup> (*al.a.folster@gmail.com*), Antônio César Pinho Brasil Júnior<sup>2</sup> (*brasiljr@unb.br*), Rafael Amaral Shayani<sup>1</sup> (*shayani@unb.br*)

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília – DF

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília - DF

### RESUMO

Neste trabalho foi realizado um estudo estimativo de potencial de geração solar fotovoltaica em lixões. Primeiramente, foi estimada a quantidade de municípios que lançam seus resíduos em lixões ou aterros controlados no próprio município. Calculado um tamanho da amostra representativa dos lixões e aterros, foram medidas as áreas visualmente com o auxílio do Google Earth e estimada a área média. Determinou-se, então, a potência e a energia que um sistema fotovoltaico, ocupando diversos percentuais da área média, seria capaz de fornecer com os valores de irradiância e latitude das capitais do Brasil. Os dados das capitais foram extrapolados para as Unidades da Federação e, por fim, para o país todo. Com um aproveitamento de 25% de toda a área de lixões e aterros controlados no Brasil, ter-se-ia uma potência solar fotovoltaica instalada de 1,52 GW e geração anual de eletricidade de 2,12 TWh, capaz de suprir 0,45% do consumo energético do país em relação ao consumo de 2017.

**Palavras-chave:** Geração Fotovoltaica; Potencial Energético; Lixão.

### POTENCIAL FOR SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION IN DUMPS AND LANDFILLS IN BRAZIL

#### ABSTRACT

In this work an estimative study of the potential of photovoltaic solar generation in dumps was performed. First, the number of municipalities that dispose of their waste in controlled dumps or landfills in the municipality itself was estimated. Calculating a representative sample size of dumps and landfills, the areas were measured visually with Google Earth and the average area was determined. It was then determined the power and energy that a photovoltaic system, occupying several percentages of the average area, would be able to provide with the irradiance and latitude values of the capitals of Brazil. The data from the capitals were extrapolated to the Federation Units and, finally, to the whole country. With a 25% utilization of all dumps and controlled landfills areas, there would be an installed photovoltaic solar power of 1.52 GW and generation of 2.12 TWh/year, capable of supplying 0.45% of the country's energy consumption compared to 2017 consumption.

**Keywords:** Photovoltaic Generation; Energetic Potential; Dump.

#### 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da temperatura mundial e suas inúmeras consequências no meio ambiente, como alterações climáticas e extinção de espécies animais e vegetais, cresceu na população a consciência ambiental de cuidados e preservação. Por outro lado, a demanda por energia cresce a cada ano e as fontes mais difundidas hoje são poluentes ou causadoras de algum tipo de impacto ambiental. A solução é a busca por fontes de energia limpas e renováveis.

Conforme os dados da Agência Internacional de Energia - IEA em seu programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica - PVPS, essa fonte de energia tem crescido em ritmo exponencial nos últimos anos (IEA, 2018). Tal crescimento pode ser justificado por ser uma fonte de energia renovável e limpa, isto é, tem fonte primária inesgotável - o Sol - e baixa geração de poluentes se comparada a

outras fontes de energia. Ademais, os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados tanto na forma de grandes usinas quanto de mini e micro usinas, permitindo a instalação em diversos locais e com aproveitamento da infraestrutura existente.

Em paralelo à demanda por energia, tem-se a questão da quantidade crescente de lixo produzido. Em 2018, foi estimado que eram produzidas mais de duas bilhões de toneladas de lixo por ano em todo o planeta quantidade essa que, apesar de ser parcialmente reciclada, é em sua grande maioria descartada, seguindo para aterros e lixões (ONU, 2018). A ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, em 2017, revelou uma geração de 78,4 milhões de toneladas de lixo no Brasil entre Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (ABRELPE, 2017). Para contorno deste problema, foram criadas propostas para redução da quantidade de lixo destinado a aterros e lixões como o Princípio dos 5R's, que abrange desde a redução do consumo até a reciclagem, e o *Waste-to-Energy* – WtE, que propõe a introdução de processos, como incineração controlada e captação dos gases liberados nos lixões, para produção de calor útil, eletricidade e combustível a partir de materiais não recicláveis. Desta forma, todo o lixo gerado, com exceção de lixos tóxicos ou perigosos, é aproveitado.

Além de centros WtE, nos EUA têm se desenvolvido a implementação de sistemas de energia renovável em terrenos potencialmente contaminados, aterros e minas. Pela iniciativa *Re-powering America's Land* da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA já existem diversos casos de sucesso de aterros transformados em usinas fotovoltaicas pelo país como é o caso da cidade de *Scituate* cujo antigo aterro atualmente comporta uma usina de 3 MW (EPA, 2014).

Em 2010, foi aprovada a lei nº 12.305 voltada para criação de planos de gestão de RSU, nos quais devem conter obrigatoriamente "metas para eliminação e recuperação de lixões", isto é, os lixões devem ser fechados e substituídos por aterros sanitários ou, ao menos, transformados em aterros controlados. Ademais percebe-se um incentivo ao WtE por metas de "aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos". Exceto no caso da realocação dos resíduos para um aterro sanitário, no encerramento é feita uma cobertura de solo e de vegetação, além da instalação de sistemas de captação de gás e chorume, permitindo uma futura utilização do espaço, como a instalação de usinas fotovoltaicas.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo a identificação do potencial de geração solar fotovoltaica em lixões no Brasil pela estimativa da área disponível e cálculo da potência e energia que podem ser geradas a fim de verificar sua contribuição para o suprimento da demanda energética brasileira de maneira sustentável.

## 3. METODOLOGIA

Para determinação do potencial fotovoltaico, o trabalho foi subdividido em duas etapas: a primeira diretamente relacionada aos lixões para determinação da quantidade e área disponível, e a segunda, ao sistema fotovoltaico para cálculo da potência e da energia.

### 3.1. Parte 1 – Lixões

A inexistência de uma base de dados precisa sobre o número e a área dos lixões existentes exigiu que fossem utilizadas ferramentas estatísticas para determinação desses valores. A Confederação Nacional dos Municípios - CNM, em sua plataforma Observatório dos Lixões, possui dados sobre o "Tipo de Disposição do Lixo" (Aterros Sanitários, Lixões/Aterros Controlados) e a "Destinação Final do Lixo" (No Próprio Município, Em Outro Município) de todos os municípios do Brasil. Visto que a CNM não faz distinção entre lixão e aterro controlado, para fins estatísticos, este trabalho também

considerou ambos na categoria de lixões. Foram assumidas as seguintes suposições para prosseguimento do trabalho:

- Cada município possui até um local de descarte de resíduos;
- Os municípios que lançam seus resíduos em outros municípios o fazem por não possuírem local próprio de descarte;
- Em cada UF, sob a ótica da Destinação Final do Lixo, foram desprezados os municípios dos quais não se tem informação (o que estatisticamente significa assumir que se mantém a mesma proporção também neste grupo);
- Em cada UF, sob a ótica do Tipo de Disposição do Lixo, foram contabilizados apenas os municípios identificados como possuindo lixão/aterro controlado.

Deste modo, é possível calcular, em cada estado, a proporção  $P_{prop}$  dos municípios que lançam seus resíduos no próprio território conforme a Equação 3.1, em que  $N_{prop}$  é o número de municípios que despejam lixo em seu próprio município e  $N_{outr}$ , o número dos que o fazem em outro município.

$$P_{prop} = \frac{N_{prop}}{N_{prop} + N_{outr}} \quad (3.1)$$

Assim, pode-se estimar a quantidade de lixões/aterros controlados em cada UF por meio da Equação 3.2, em que  $N_{mun}$  é a quantidade de municípios que despejam seu lixo em lixões/aterros controlados e  $N_{lix}$  é o número de lixões. A proporção dos municípios que possuem local de descarte próprio é aplicada sobre o número de municípios que lançam seus resíduos em lixões/aterros controlados para obtenção do número de lixões/aterros controlados assumindo apenas um por município.

$$N_{lix} = N_{mun} * P_{prop} \quad (3.2)$$

O total de lixões/aterros controlados estimados no Brasil, entretanto, é uma quantidade muito grande, inviabilizando, dentro do escopo desta pesquisa, o trabalho de medição da área de cada um deles. É necessária, portanto, a determinação de uma amostra representativa da população. Para isso, supõe-se que as áreas dos lixões e aterros controlados seguem a distribuição de probabilidade normal, o que permite a utilização da Equação 3.3 (TRIOLA, 1998), em que  $n$  é o número de amostras necessárias dentro da população  $N$ , com  $Z_c=1,96$  (nível de confiança de 95%), erro máximo admitido  $\epsilon$  de 5% e proporção esperada  $p$  de 50% (valor assumido na ausência de qualquer informação prévia da amostra).

$$n = \frac{N * Z_c^2 * p(1-p)}{(N-1) * \epsilon^2 + Z_c^2 * p(1-p)} \quad (3.3)$$

Pela inviabilidade de localização dos lixões a partir apenas de imagens de satélite, foi realizada uma busca por algum banco de dados que contivesse informações a respeito da posição de cada um deles. Em 2017, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS fez uma publicação de Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos em cuja planilha de Cadastro Nacional de Unidades se encontram as coordenadas geográficas de alguns lixões e aterros controlados no país (SNIS, 2017). Contudo, algumas informações presentes neste arquivo divergem das informações encontradas no Observatório dos Lixões. Em vista disso, foram filtrados apenas os municípios que, em ambas as fontes, constassem como possuidores de lixão ou aterro controlado.

Com as coordenadas e o auxílio da ferramenta de medição do *Google Earth*, foram medidas as áreas  $x_i$  dos aterros e lixões até que se obtivesse a quantidade definida como amostra necessária  $n$  e calculada a área média  $\mu$  por meio da Equação 3.4.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (3.4)$$

As áreas medidas pelas imagens de satélite, entretanto, correspondem a 100% do terreno o que não condiz com a realidade de área útil nos terrenos de lixões espalhados pelo país. Aterros e lixões, quando recebem algum tipo de cuidado, têm o formato chamado "bolo de noiva": o lixo é compactado, coberto com resíduos de construção e arranjado em níveis cujo diâmetro dos superiores é menor que dos inferiores e de bordas inclinadas, chamadas taludes, em até 45° dependendo da estabilidade do solo. Neste caso, em que apenas o nível mais superior é utilizado devido ao sombreamento dos taludes, ou em casos em que não se tem qualquer formato definido, se utiliza apenas uma fração do terreno. Por isso, foram avaliados diversos percentuais de aproveitamento da área.

### 3.2. Parte 2 – Sistemas fotovoltaicos

Com os dados dos lixões, parte-se para a determinação dos parâmetros do sistema fotovoltaico.

#### 3.2.1. Eficiência e perdas

Primeiramente, o módulo fotovoltaico escolhido foi o MAXPOWER CS6U-335P da Canadian Solar, do qual algumas características de interesse foram listadas da Tabela 1, em que  $P_{mp}$  é a potência máxima que o módulo é capaz de fornecer e  $\eta_m$  é a eficiência do módulo nas condições STC (1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 e temperatura de célula 25°C).

**Tabela 1.** Especificações do módulo fotovoltaico escolhido sob condições STC

Modelo	MAXPOWER CS6U - 335P
Dimensão	1960 x 992 x 35 mm
S	
$P_{mp}$	335 W
$\eta_m$	17,23%

No entanto,  $\eta_m$  não condiz com a eficiência real das instalações e, para tanto, algumas perdas foram consideradas.

A ficha técnica do módulo fornece um dado de perda em relação à temperatura de -0,4%/°C. No Brasil, as temperaturas, bem como o vento, variam bastante, fatores estes que interferem na temperatura de placa, mas é certo que esta normalmente será maior que aquela. Considerando que a temperatura de placa seja em média 35°C, tem-se uma perda de 4%.

Ao longo do tempo, os módulos sofrem uma degradação devido a desgastes causados por expansão e contração térmica, luz ultravioleta, danos causados por partículas sopradas pelo vento além da descoloração das camadas sobre as células, o que reduz a radiação solar disponível na célula fotovoltaica para conversão em eletricidade. Foi utilizado o valor de perda de 10,27%, referente à média dos 25 primeiros anos conforme a Declaração de Garantia Limitada da Canadian Solar.

A poeira se deposita sobre os módulos formando uma barreira à passagem dos raios solares, reduzindo assim a capacidade de geração. O NREL – *National Renewable Energy Laboratory* sugere um valor médio de 5% de perda por deposição de poeira. Dejetos de pássaros também são contados nessa categoria (NREL, 2005).

Perdas ôhmicas estão presentes tanto no lado de corrente alternada – CA quanto no lado de corrente contínua – CC da instalação. Isso ocorre devido à resistência existente intrinsecamente em todo meio que a energia percorre, inclusive nos cabos. O NREL sugere o valor de 2% como perda típica para o cabeamento do lado CC e 1% para o lado CA. Neste projeto foi considerado apenas o lado CC, isto é, dos módulos até o inversor (NREL, 2005).

Cada inversor tem sua própria eficiência, que deve ser considerada na determinação da geração da usina. Essa eficiência se refere à capacidade de transformar corrente contínua em alternada e depende da efetividade do Rastreador de Máxima Potência – MPPT, da qualidade dos componentes, da lógica de controle, entre outros. Esse valor também é sugerido pelo NREL como representando uma perda de 4% (NREL, 2005).

Na tentativa de evitar sombreamentos, que reduzem consideravelmente a eficiência das instalações fotovoltaicas, as fileiras de módulos são espaçadas a uma distância  $d$ , valor que pode ser calculado tanto a partir de uma fórmula fixa, relacionada à inclinação, quanto a partir de um estudo mais refinado da relação inclinação-sombreamento distanciamento que maximize a geração na área da usina. Villalva sugere a que o distanciamento  $d$  seja dado pela Equação 3.5 (VILLALVA, 2005), em que  $L_x$  é o comprimento do módulo e  $\alpha$  é o ângulo de inclinação do módulo em relação ao plano horizontal

$$d = 3,5 * L_x * \sin \alpha \quad (3.5)$$

### 3.2.2. Locais de instalação

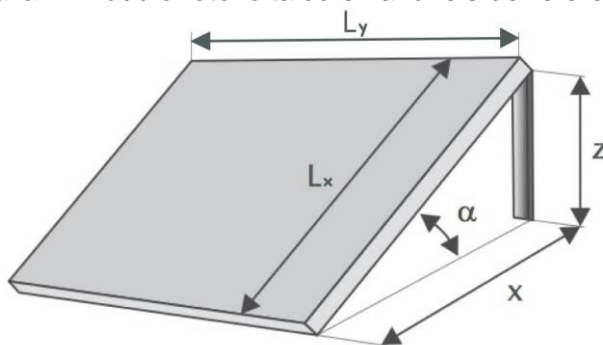
Baseado na extensão territorial, é certo que uma única simulação não é capaz de fornecer uma estimativa razoável do potencial de geração fotovoltaica no país pela incapacidade de englobar a diversidade de irradiâncias existentes. Em vista disso, optou-se por realizar simulações nas capitais, fornecendo dados que foram tratados como representativos das UFs. Essa consideração, ainda que bastante simplista, resulta em dados satisfatoriamente mais precisos que uma única simulação.

Para determinação das irradiações locais, se utilizou o serviço SunData do site CRESESB. A partir das coordenadas geográficas das capitais foi possível obter as irradiações no plano com maior média anual. Foram utilizados o ângulo e a irradiância de maior eficiência para os cálculos.

Foi assumida que a área calculada tem formato quadrado com um dos lados voltados para direção de ângulo azimutal nulo, fornecendo um equilíbrio razoável entre quantidade de módulos enfileirados e número de fileiras. Em um contexto real de implementação, a capacidade de acomodação de módulos é dada pela geometria do terreno, podendo-se ter fileiras de tamanhos diferentes, situação que não é considerada neste trabalho.

A Figura 1 referencia algumas das variáveis que serão utilizadas nos cálculos.  $L_x$  e  $L_y$  são as dimensões dos módulos fornecidas pelo fabricante. Os valores de  $x$  e  $z$  são dados pelas Equações 3.6 e 3.7, sendo  $\alpha$  a inclinação do módulo.

**Figura 1.** Módulo fotovoltaico e variáveis de referência



$$x = L_x * \cos \alpha \quad (3.6)$$

$$z = L_x * \sin \alpha \quad (3.7)$$

O número de módulos por fileira  $N_y$  é dado pela Equação 3.8, considerando um espaçamento entre eles de 2% de  $L_y$  para instalação de suporte e para permitir dilatação térmica.  $L_{lix}$  é o comprimento do lado do quadrado representativo do lixão, isto é,  $L_{lix} = \sqrt{A_{lix}}$ .

$$N_y = \frac{L_{lix} + 0,02 * L_y}{1,02 * L_y} \quad (3.8)$$

O número de fileiras  $N_x$  é dado pela Equação 3.9, com  $d$  sendo o distanciamento entre elas e calculado segundo a Equação 3.5. Foi considerado que, para um total de  $n$  fileiras de módulos, há  $n - 1$  corredores entre elas.

$$N_x = \frac{L_{lix} + d}{x + d} \quad (3.9)$$

O total de módulos no espaço disponível  $N_m$  é dado pela Equação 3.10.

$$N_m = N_x * N_y \quad (3.10)$$

### 3.2.3. Potência e energia

A potência de uma usina fotovoltaica  $P_u$  pode ser calculada simplificada pelo produto da potência máxima de cada módulo  $P_{mp}$  (supondo que o inversor possui MPPT) pelo número de módulos  $N_m$ , conforme Equação 3.11.

$$P_u = P_{mp} * N_m \quad (3.11)$$

Multiplicando esse valor pela quantidade de lixões em cada Unidade da Federação  $N_{lix}$ , como na Equação 3.12, pode-se obter a potência de cada Unidade da Federação, cuja soma, Equação 3.13, fornece a potência do país.

$$P_{UF} = N_{lix} * P_u \quad (3.12)$$

$$P_{BR} = \sum_{i=1}^{27} P_{UF_i} \quad (3.13)$$

A energia, por sua vez, pode ser calculada pela Equação 3.14 em que  $E_{m/dia}$  é a energia produzida por um módulo diariamente [Wh/dia],  $E_s$  é a irradiação diária [Wh/m<sup>2</sup>.dia],  $A_m$  é a área do módulo [m<sup>2</sup>] e  $\eta_m$  é a eficiência do módulo.

$$E_{m/dia} = E_s * A_m * \eta_m \quad (3.14)$$

Se a energia diária de cada módulo for multiplicada por 365 tem-se a energia por módulo em um ano, Equação 3.15. A energia realmente gerada por cada módulo, Equação 3.16, leva em consideração as perdas determinadas na Seção 3.2.1, pelo produto entre elas, conforme a Equação 3.17.

$$E_{m/ano} = 365 * E_{m/dia} \quad (3.15)$$

$$E_{m_{real}/ano} = E_{m/ano} * \eta_{perdas} \quad (3.16)$$

$$\eta_{perdas} = \prod_{i=1}^N \eta_{perdas_i} \quad (3.17)$$

Da mesma forma com que é calculada a potência, a energia real gerada por lixão, por UF e no país são dadas, respectivamente, pelas Equações 3.18, 3.19 e 3.20.

$$E_{lix_{real}/ano} = N_m * E_{m_{real}/ano} \quad (3.18)$$

$$E_{UF_{real}/ano} = N_{lix} * E_{lix_{real}/ano} \quad (3.19)$$

$$E_{BR_{real}/ano} = \sum_{i=1}^{27} E_{UF_{real}/ano} \quad (3.20)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo os procedimentos para obtenção descritos na Seção 3.1, foi possível obter uma estimativa da quantidade de lixões em cada Unidade da Federação. Os valores de  $N_{lix}$  truncados estão descritos na segunda coluna da Tabela 2 (FOLSTER, 2019). Observa-se que, no Distrito Federal, não consta nenhum lixão ou aterro controlado apesar de Brasília possuir o maior lixão da América Latina. Tal lixão foi encerrado em 2018 e possivelmente por esta razão não é um depósito de resíduos ativo contabilizado pela CNM. Deste modo, a fim de que este trabalho tenha seus resultados de acordo com a base de dados em questão, foram desconsiderados os lixões existentes não considerados pela CNM.

Com a soma de 1803 lixões no país, calculou-se um total de 316,83 áreas necessárias para se obter uma amostra significativa. Como não é possível a obtenção de uma fração de amostra, esse valor foi arredondado para 317, resultando em uma amostra com maior precisão que a inicialmente desejada.

A extensão do território brasileiro e a diversidade de municípios existentes resulta em uma vasta dispersão de valores de áreas de lixões, com medições desde 1.083,55 até 340.159,86 m<sup>2</sup>. Como a proposta desta pesquisa é a determinação de um potencial médio de geração, para fins de cálculo, foi utilizada a área média de 31.750,64 m<sup>2</sup> (FOLSTER, 2019).

Com os dados do ângulo  $\alpha$  de maior irradiação diária para cada capital do Brasil foram calculados todos os parâmetros necessários para determinação da quantidade de módulos fotovoltaicos que podem ser alocados nos lixões considerando diversos percentuais de aproveitamento do terreno.

Com os dados calculados até então foi possível calcular a potência e a energia por módulo, por lixão, por UF e para o Brasil todo. Os valores de potência e energia para 100% de aproveitamento estão descritos na terceira e quarta colunas da Tabela 2. Observa-se uma considerável variação entre os valores das UFs, isto se dá tanto pela divergência do número de lixões quanto pela diversidade de latitudes – que influenciam diretamente no ângulo de inclinação dos módulos – e valores de irradiação incidentes.

Para cálculo da energia realmente produzida é necessário calcular a eficiência considerando as perdas: térmicas, na conversão de CC para CA, por efeito joule, desgaste dos equipamentos e pela redução da radiação solar disponível da fotocélula, descritos anteriormente, resultando em uma eficiência de 77%.

Na Tabela 3 estão descritas potência e energia do Brasil para diversos percentuais de aproveitamento das áreas disponíveis. Em ambos os casos as curvas de sensibilidade são representadas por retas dada a flexibilidade das usinas fotovoltaicas devido a sua modularidade.

Uma suposição razoável no Brasil seria que metade dos lixões existentes fossem fechados e fizessem a instalação de usinas fotovoltaicas aproveitando metade do terreno, o que representaria um total de 25% de aproveitamento do total dos lixões. Pelas estimativas feitas, isso representaria uma potência instalada de cerca de 1,52 GW. De acordo com os dados de outubro de 2019 da ANEEL, esse valor representa 1,50% da potência instalada de usinas hidrelétricas no Brasil, pequeno valor se comparado à maior fonte de geração de energia do país. No entanto, comparando com a potência de centrais fotovoltaicas existentes, representaria um aumento de 66,96% desta fonte considerando apenas 25% da área de lixões do país (ANEEL, 2019).

Quanto à energia, a importância que essa geração representa pode ser baseada nos dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2018 (referente ao ano de 2017) da Empresa de Pesquisa

Energética (EPE, 2018). Considerando o aproveitamento de 25%, como feito para potência, tem-se uma geração de 2.117,41 GWh/ano no Brasil. A Tabela 4 apresenta o consumo das classes de consumidores no país e o percentual que seria suprido se os 2.117,41 GWh/ano fossem integralmente investidos em cada uma ainda que não se possa direcionar a energia elétrica inserida na rede

**Tabela 2.** Dados obtidos das Unidades da Federação

UF	N <sub>lix</sub>	P <sub>UF</sub> [MW]	E <sub>UF</sub> [GWh/ano]
AC	14	47,45	59,73
AL	23	105,08	138,49
AM	17	70,16	108,84
AP	3	8,31	12,27
BA	262	633,75	826,39
CE	92	418,09	595,69
DF	0	-	-
ES	7	19,24	28,55
GO	170	430,47	648,42
MA	48	115,07	144,54
MG	375	1.614,73	1.964,87
MS	32	146,46	234,60
MT	74	196,22	300,53
PA	43	170,76	257,70
PB	86	223,78	327,02
PE	60	258,43	412,51
PI	85	209,98	273,21
PR	70	184,84	266,47
RJ	6	26,61	36,65
RN	78	321,08	478,22
RO	7	17,70	24,52
RR	5	26,31	35,86
RS	11	28,06	34,62
SC	7	18,52	28,36
SE	26	96,46	124,97
SP	97	367,73	571,48
TO	105	414,75	648,05

**Tabela 3.** Potência e energia do Brasil para diversos percentuais de aproveitamento de área

Área [%]	Potência [GWp]	Energia [GWh/ano]
10	0,61	844,77
20	1,21	1.680,87
30	1,83	2.547,30
40	2,44	3.399,94
50	3,05	4.241,66
60	3,67	5.110,53
70	4,29	5.968,94
80	4,88	6.793,60
90	5,52	7.680,53

100	6,17	8.582,57
-----	------	----------

Em uma análise do percentual suprido em cada macrorregião, baseando-se nos dados de 2017 da EPE e considerando os mesmos 25% de aproveitamento nos estados de cada região, ter-se-ia: 0,82% no Norte, 1,03% no Nordeste, 0,82% no Centro-Oeste, 0,28% no Sudeste e 0,09% no Sul.

Por fim, considerando o consumo médio residencial brasileiro, seria possível suprir o consumo de 1.117.263 de residências, ou 3.687.298 pessoas, considerando uma média de 3,3 moradores por residência.

**Tabela 4.** Consumo por classe consumidora suprido para um aproveitamento de 25% do potencial de geração fotovoltaica em lixões. Valores referentes a 2017

	Consumo [TWh]	Percentual suprido [%]
Residencial	134,37	1,58
Industrial	167,40	1,26
Comercial	88,29	2,40
Rural	28,14	7,53
Poder público	15,05	14,07
Iluminação pública	15,44	13,71
Serviço público	15,20	13,93
Próprio	3,28	64,62
Total	467,16	0,45

O potencial de geração fotovoltaica em lixões é pequeno se comparado ao total de energia consumida no Brasil ou com a geração de grandes hidrelétricas. Ainda assim, 0,45% da energia consumida no país representa uma porção considerável e um investimento bastante vantajoso ao se considerar que se trata de uma energia limpa que irá ocupar áreas degradadas, valorizando o terreno e os locais existentes nas proximidades, além de auxiliar na diversificação da matriz energética.

## 5. CONCLUSÃO

A quantidade de lixo produzida cresce a cada ano e em sua maior parte são lançados em aterros e lixões. A proposta de Reduzir, Reutilizar e Reciclar é um primeiro passo, mas abrange apenas parte do problema. Os demais resíduos - não recicláveis - podem ser transformados em calor útil, eletricidade e combustível pela incineração e captação de gases liberados na decomposição, o que ainda evita a liberação de gases extremamente poluentes em termos de efeito estufa. Por fim, os aterros e lixões, áreas impróprias para diversos fins pelo risco de contaminação, se tornam atrativas à utilização para geração de energia limpa como a solar fotovoltaica.

Em vista disso, foram feitos estudos estatísticos do potencial de geração solar fotovoltaica em lixões encerrados no Brasil. Pela ausência de dados específicos, foram considerados lixões e aterros controlados. Definida a amostra necessária para obtenção dos dados com grau de certeza aceitável, foram medidas as áreas de diversos lixões e aterros e definida uma área média de 31.750,64 m<sup>2</sup>. Com a irradiação e inclinação mais eficientes para as capitais de cada Unidade da Federação, estimaram-se potência e energia.

Entre as UFs, os valores de potência e energia variam bastante pela diversidade na latitude e na quantidade de lixões e aterros controlados em cada uma

Considerando que metade dos lixões e aterros considerados fizessem a instalação de sistemas fotovoltaicos aproveitando metade de sua área ter-se-ia uma potência instalada de 1,52 GW, o que corresponderia a um aumento de quase 67% dessa fonte no Brasil. Em relação à energia, considerando os mesmos 25% de aproveitamento, estimou-se uma capacidade de suprir 0,45% da energia consumida no país, isto é, 2,12 TWh/ano, um valor considerável.

#### ● 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”.

#### ● REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. [S.l.], 2017

ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração. Acesso em 18/10/2019 às 9:36. [S.l.]. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.

CANADIAN SOLAR. Limited Warranty Statement - Photovoltaic Standart Module Products. Acesso em 18/10/2019 às 18:58. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/upload/0b172f905c3bedc1/2b44e6a0cfd6258c.pdf/>>.

CANADIAN SOLAR. MAXPOWER CS6U-325|330|335P. Acesso em 18/10/2019 às 16:14. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/upload/2e46a5e4e1c8ba14/9da8c57eb4c725d5.pdf/>>.

EPA. An Old New England Town Lights the Way with Solar. Acesso em 27/11/2019 às 20:13. [S.l.]. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/scituate\\_landfill\\_case\\_study.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/scituate_landfill_case_study.pdf)>.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. [S.l.], 2018.

FOLSTER, A.L.A. (2019). Potencial de geração de energia solar fotovoltaica em lixões no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 65 p.

IEA PVPS. Trends 2018 in photovoltaic applications. Acesso em 23/11/2019 às 11:42. [S.l.].

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial. Acesso em 13/10/2019 às 16:03. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>>.

NREL. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. Acesso em 15/10/2019 às 22:00. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37358.pdf>>.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Acesso em 13/10/2019 às 18:22. [S.l.], 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>.

SNIS. Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2017. Acesso em 18/10/2019 às 11:29. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>>.

TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. [S.l.]: 7a Edição, 1998.

VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica. [S.l.]: Saraiva, 2015.