



## O NEXUS ENERGIA-ÁGUA NA ECONOMIA CIRCULAR URBANA: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE BELÉM (PA), BRASIL

DOI: 10.19177/rgsa.v9e12020308-326

**Paulo Vitor dos Santos Gonçalves<sup>1</sup>**  
**Vítor Abner Borges Dutra<sup>2</sup>**  
**Paulo Amador Tavares<sup>3</sup>**  
**Hélio Raymundo Ferreira Filho<sup>4</sup>**

### RESUMO

Este estudo objetivou investigar a possibilidade de utilização de estacionamentos para a geração de energia fotovoltaica, visando à promoção do modelo de economia circular urbana na cidade de Belém, no Pará. Trata-se de um estudo de caso sobre a instalação de um conjunto de placas solares fotovoltaicas no estacionamento do Hangar. A partir das análises, foram mapeadas cinco áreas com estacionamentos viáveis para a implantação de sistema fotovoltaico. O Nexus Energia-Água (Nexus EA) identificou a viabilidade da utilização da energia gerada no sistema fotovoltaico em estacionamento para otimizar as atividades de uso da água, preservando os recursos e diminuindo impactos ambientais, conforme determinam os aspectos da economia circular. Evidenciou-se a viabilidade da implantação de estacionamentos solares na área de estudo, tanto pela otimização do uso dos recursos quanto pelo potencial de geração de energia limpa disponível para uso nos empreendimentos.

**Palavras-chave:** Energia Renovável. Painel Solar. Ambiente Urbano.

<sup>1</sup> Discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Engenheiro Ambiental, graduado pela Universidade do Estado do Pará. <http://orcid.org/0000-0002-5465-3168> E-mail: paulogoncalves@uepa.br

<sup>2</sup> Discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Engenheiro Ambiental, graduado pela Universidade do Estado do Pará/2017. <http://orcid.org/0000-0002-9144-6934> E-mail: vitordutra@uepa.br

<sup>3</sup> Engenheiro Ambiental formado pela Universidade do Estado do Pará (UEPA)/2016. Bolsista CAPES do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UEPA. <http://orcid.org/0000-0003-2617-1548> E-mail: paulo.tavares@uepa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Elétrico pela Universidade Federal do Pará (1982), Mestrado em Tecnologia da Informação - University of Nottingham (1990), Mestrado em Gestion de Systèmes d'Information - Université Pierre-Mendès France (2000) e Doutorado em Ciências de Gestão - Université Pierre Mendès-France (2004). Atualmente é Professor Adjunto IV da Universidade do Estado do Pará no Programa de Mestrado em Ciências Ambientais e no Curso de Engenharia de Produção da UEPA. <http://orcid.org/0000-0002-4802-9166> E-mail: helio.ferreira@uepa.br

# THE ENERGY WATER NEXUS IN AN URBAN CIRCULAR ECONOMY CONTEXT: A CASE STUDY IN THE CITY OF BELÉM (PA), BRAZIL

## ABSTRACT

We aimed to investigate the possibility of using parking lots as areas of photovoltaic energy generation to promote the urban circular economy model in the city of Belém, Pará. We used a case of study of the existing photovoltaic solar panels in the parking of the Hangar. We surveyed and identified five regions with viable parking lots for adjustment into photovoltaic systems. The Energy-Water (EW) Nexus identified the main points of this interaction in solar parking, highlighting the feasibility of using the energy generated in the photovoltaic system to enhance the activities of multiple water use, preserving resources and reducing environmental impacts, as it mentioned by the circular economy. Therefore, we identified the feasibility of implementing solar parking lots in the study area as it optimises the use of natural resources and improves the potential of clean energy production for the companies.

**Key words:** Renewable Energy. Solar Panels. Urban Environment.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda por recursos naturais tem crescido exponencialmente no mundo todo, provocando riscos e ameaças a humanos e ecossistemas em diferentes escalas (BLEISCHWITZ et al., 2018), ao passo que se estima que a população global possa chegar a mais de 10 bilhões de pessoas no próximo século, sobrecarregando ainda mais os limites do planeta (GENÇER et al., 2017). Nesse contexto, os sistemas de provisão de água, alimentos e energia, fundamentais para sustentar a vida e a economia, são atingidos pela pressão das necessidades competitivas, causando uma série de problemas, como alterações climáticas e poluição hídrica (ZHANG et al., 2018).

Reduzir a insegurança alimentar, a escassez de água e a utilização de energia fóssil, promover qualidade de vida para a sociedade e proteger o meio ambiente configuram-se como desafios globais diretamente interconectados (LIU et al., 2018). Tais desafios podem ser identificados mais pontualmente nos ambientes urbanos, nos quais o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável (afirmados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015) é fundamental devido ao número de pessoas que vivem nessas áreas (MCPHEARSON et al., 2016).

Machell et al. (2015) consideram a água, a energia, a produção e o consumo de alimentos pilares para o desenvolvimento econômico e urbano, e a interdependência entre esses eixos é denominada *Nexus Água-Energia-Alimento (AEA)*. O processo global de crescimento antrópico vem causando estresse aos sistemas AEA, de modo que a escassez de um deles está impactando na oferta e na demanda de outro, uma vez que estão diretamente interligados (ROMERO-LANKAO; MCPHEARSON; DAVIDSON, 2017).

O conceito de Nexus AEA surgiu como instrumento de pesquisa, política e planejamento para o gerenciamento das demandas e dos desafios nos setores de água, energia e alimentos (YILLIA, 2016). Essa interligação busca o equilíbrio em um setor pautado no desenvolvimento dos outros, sendo possível estabelecer a relação entre dois ou mais setores, como a Energia-Água (EA) utilizada neste estudo (FERROUKHI et al., 2015). Energia e água são dois recursos intimamente ligados, fundamentais para o crescimento urbano e o funcionamento de atividades básicas como provisão de água, tratamento de efluentes e abastecimento elétrico (LARSEN; DREWS, 2019).

Reduzir os impactos causados pelo consumo imoderado de água e energia, principalmente em ambientes urbanos (por meio do uso sustentável, da utilização de fontes renováveis de energia e da transformação de resíduos em recursos para o sistema), e promover a segurança hídrica e energética são aspectos importantes do Nexus EA (XUE et al., 2018). Assim, estabelecer essa abordagem permite consolidar medidas que busquem a circularidade dos recursos e desenvolvam sistemas econômicos mais sustentáveis e restaurativos, diminuindo as pressões exercidas nos limites atuais exploráveis, conforme preconiza a economia circular (GENOVESE et al., 2017; WANG et al., 2018).

Nessa perspectiva, cidades pautadas na melhoria do aproveitamento da conexão EA promovem o consumo sustentável em suas atividades, como o uso de energias renováveis para suprir a demanda elétrica do abastecimento público de água e do tratamento de efluentes domésticos e industriais (PAUL; TENAIJI; BRAIMAH, 2016; VALEK; SUŠNIK; GRAFAKOS, 2017). Essa redução do uso de fontes primárias para a obtenção de energia nas atividades relacionadas aos sistemas hídricos auxilia no alcance de um modelo circular econômico e sustentável, a partir da diminuição tanto da quantidade de resíduos gerados quanto dos desperdícios no sistema (GEISENDORF; PIETRULLA, 2018; FAN et al., 2019).

Um sistema urbano sustentável requer a mitigação dos impactos antrópicos nos ecossistemas, considerando as relações de recursos e demandas (FAN et al., 2019). Dessa forma, objetivou-se abordar, por meio do Nexus EA, a possibilidade de uso de estacionamentos de veículos (públicos e privados) como áreas de geração de energia fotovoltaica para a promoção do modelo de economia circular urbana e o desenvolvimento sustentável da cidade de Belém, no Pará.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Abordagem Nexus EA**

Energia e água são recursos vistos como insumos críticos para o crescimento econômico e urbano, com uma correlação amplamente estabelecida entre diferentes tipos de atividades devido às demandas energéticas e hídricas (FERROUKHI et al., 2015). Com isso, o Nexus EA tem sido alvo de estudos (MARIANI et al., 2016; MENG et al., 2019; XIANG; JIA, 2019) que buscam compreender as compensações e os riscos da alocação de maneira eficiente dos recursos em prol da segurança energética e do uso da água (FERROUKHI et al., 2015).

A energia viabiliza a utilização da água em diversas atividades, como sua distribuição para o abastecimento público, o tratamento de efluentes, o lazer e os usos industrial, doméstico e comercial (FILION, 2008; PLAPPALLY; LIENHARD, 2012; XUE et al., 2018). Esses sistemas urbanos fundamentais requerem grande quantidade de energia e são responsáveis pela geração de gases de efeito estufa (GEE), causando impactos negativos ao meio ambiente (MENG et al., 2019).

Os recursos hídricos sofrem pressões para atender às necessidades dos seres humanos, haja vista que a produção global de energia é pautada majoritariamente no uso intensivo da água, principalmente na obtenção de energia elétrica e térmica (MARIANI et al., 2016). O mau uso dos recursos naturais na relação EA tem provocado a poluição hídrica e a diminuição dos níveis dos mananciais e aquíferos subterrâneos, resultando em degradação ambiental (MERCURE et al., 2019). Nesse contexto, surgem iniciativas para reduzir as demandas por energia e água de fontes convencionais, de modo a diminuir os impactos ambientais correspondentes às práticas usuais (SARKAR; SHARMA; MALIK, 2014).

Portanto, o consumo de energia e de água está intrinsecamente relacionado aos sistemas urbanos, gerando a vida das populações e suas atividades econômicas, com interfaces na produção e no consumo (CHEN; CHEN, 2016). Logo, entender o

Nexus EA oferece significativas contribuições para a gestão desses recursos, evidenciando os potenciais benefícios de seu gerenciamento mútuo (CHU; RITTLER; SUN, 2019). São necessários, então, instrumentos que auxiliem na promoção do uso eficiente dos recursos naturais no meio urbano.

## 2.2 Economia circular urbana

As áreas urbanas são componentes importantes para a construção da economia circular e da sustentabilidade (WANG et al., 2018). As cidades são caracterizadas pelo acelerado desenvolvimento econômico, que impulsiona a produção e o consumo de matéria e energia, causando escassez dos recursos disponíveis e poluição ambiental (GUO et al., 2017).

A economia circular surgiu como um modelo econômico restaurativo e regenerativo com o intuito de manter os produtos, componentes e materiais em sua mais alta utilidade e valor em todos os momentos, distinguindo ciclos técnicos e biológicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2018). Esse modelo econômico tem ganhado popularidade em diferentes escalas devido à sua proposta de criar processos mais sustentáveis e que otimizem o uso de recursos como a energia e a água (PETIT-BOIX; LEIPOLD, 2018).

Para otimizar o desempenho local, muitas cidades buscam adotar conceitos relacionados aos fundamentos da economia circular, estabelecendo conexões que gerenciem adequadamente os recursos e promovam ciclos fechados de matéria e energia (ZELLER et al., 2019). A economia circular urbana pode estabelecer fluxos capazes de contribuir para a problemática da escassez de água e energia, a partir da recuperação de energia do meio – como a solar e a de biomassa – e da reutilização de água residual (WILLIAMS, 2019).

Nesse cenário, o Nexus EA e a economia circular possibilitam a adoção de medidas que potencializam as atividades, tornando-as mais eficientes no uso desses recursos, conforme estabelece esta última, reduzindo a quantidade de resíduos gerados nos sistemas e aproveitando a energia de fontes renováveis, promovendo, assim, o consumo sustentável (WU et al., 2014; HUANG et al., 2018).

Considerando as iniciativas para a redução de impactos ambientais, salienta-se que a utilização de painéis solares para a geração de energia fotovoltaica em empreendimentos públicos e privados surge como uma alternativa para a redução dos impactos antrópicos nas áreas urbanas (MATEUS; SILVA; ALMEIDA, 2019),

contribuindo para a segurança energética em sistemas hídricos urbanos. Portanto, os estacionamentos solares se destacam por contribuírem para a redução da emissão de GEE nas cidades.

### **2.3 Veículos automotores e benefícios do estacionamento solar**

Tendo em vista a preocupação internacional crescente quanto às mudanças climáticas, destaca-se que a principal fonte de energia no mundo ainda é à base de combustíveis fósseis (68%), grandes responsáveis pela emissão de GEE (NUNES; FIGUEIREDO; BRITO, 2016). Para mudar esse quadro, no âmbito da União Europeia, determinou-se uma redução de 80% a 95% da emissão de GEE em todos os setores da economia até 2050 (EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION, 2010).

De forma análoga, no Brasil, o Projeto de Lei n. 454, de 2017 – que se encontra em fase final de aprovação no Senado Federal –, trata da redução da emissão de poluentes por veículos automotores. Essa redução ocorrerá por cotas, e a participação dos veículos movidos a combustíveis fósseis deverá compor no máximo da frota brasileira: i. 90% a partir de 1º de janeiro de 2030; ii. 70% a partir de 1º de janeiro de 2040; e iii. 10% a partir de 1º de janeiro de 2050. Também será vedada a comercialização em território nacional de veículos de tração automotora por motor a combustão após o dia 1º de janeiro de 2060 (BRASIL, 2017).

Dados divulgados pela Confederação Nacional do Transporte – CNT (2018) apontaram que, de 2001 a 2018, a frota de veículos no Brasil aumentou de 31,9 para 98,2 milhões, ou seja, triplicou desde o começo do século. Diante desse crescimento acelerado da frota circulante de veículos no país nos últimos anos, é importante que haja estímulos ao uso de veículos movidos a eletricidade e biocombustíveis, de modo a reduzir a emissão de GEE.

Dessa perspectiva, as energias renováveis são consideradas soluções viáveis para conciliar o aumento de demanda por energia elétrica e a sustentabilidade ambiental (NUNES; FIGUEIREDO; BRITO, 2016), além de corroborar as premissas da economia circular. A quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra em uma hora é de cerca de 121.800 TW, o que equivale à mesma quantidade utilizada por todas as atividades humanas em um ano (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014).

Além disso, o uso da energia solar fotovoltaica obteve um dos maiores decréscimos em seu custo desde os anos 2000, reduzindo seu valor em cerca de R\$

0,60 kW por hora, o que a coloca em um patamar de competitividade com outras fontes de energia, como o carvão e a hidráulica advinda de pequenas centrais hidrelétricas (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

Logo, a abordagem Nexus EA para a área de estudo é justificada tanto pela necessidade de expor as inter-relações desse sistema em nível local quanto pela alta incidência de energia solar disponível na região Norte do Brasil. No Pará, a média anual de energia incidente é de 5 kWh/m<sup>2</sup> por dia, valor superior às médias da Itália, da França e da Alemanha – países europeus onde a tecnologia fotovoltaica já está bem estabelecida (PEREIRA et al., 2017) –, mostrando o potencial da região para a produção desse tipo de energia limpa e renovável.

Os estacionamentos solares, sejam públicos ou privados, podem ser instalados em *shopping centers*, supermercados, hotéis, hospitais, aeroportos, universidades (HORAN et al., 2019), entre outros (NUNES; FIGUEIREDO; BRITO, 2016). Nos casos em que há apenas áreas descobertas para alocação veicular, é possível instalar microfundações para construções em alumínio, as quais servem de anteparo para placas solares, provendo sombra para os veículos (reduzindo sua temperatura durante a incidência solar) e cobertura contra chuvas (ROBINSON et al., 2014), além de possibilitar a instalação de sistemas modulares de reabastecimento de veículos elétricos (SCHLETTER GMBH, 2011).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Características da pesquisa**

A pesquisa apresenta abordagem qualitativa, que busca explorar e entender os significados dos problemas humanos ou sociais, considerando que o ambiente natural é fonte direta para a coleta dos dados e a interpretação dos fenômenos (CRESWELL, 2014). Seu objetivo é exploratório (PRODANOV; FREITAS, 2013), devido à sua finalidade de discutir iniciativas que contribuam para cidades mais sustentáveis, com medidas vinculadas aos conceitos da economia circular por meio do Nexus EA.

É classificada como bibliográfica em seus procedimentos técnicos, sendo constituída a partir de material presente na literatura (PRODANOV; FREITAS, 2013), e também como estudo de caso (NGULUBE, 2015), pois baseia-se no contexto das placas solares fotovoltaicas instaladas na área de estacionamento do Centro de Convenções e Feiras da Amazônia – Hangar, em Belém (PA). De acordo com Yin (2016), o estudo de caso é uma investigação empírica sobre um fenômeno

contemporâneo, especialmente quando as fronteiras entre os fenômenos e o contexto real em que estão inseridos não são evidentes.

### 3.2 Área de estudo

O município de Belém (PA) tem o segundo maior contingente populacional da Amazônia Brasileira, contabilizando 1.393.399 habitantes no último censo demográfico de 2010 e estimados 1.485.732 residentes no ano de 2018 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). A área da unidade territorial da cidade é de 1.059,458 km<sup>2</sup>, dividida em oito distritos administrativos, dos quais fazem parte das áreas de abrangência do estudo os de Belém (DABEL), Entroncamento (DAENT) e Benguí (DABEN) (PARÁ, 2017).

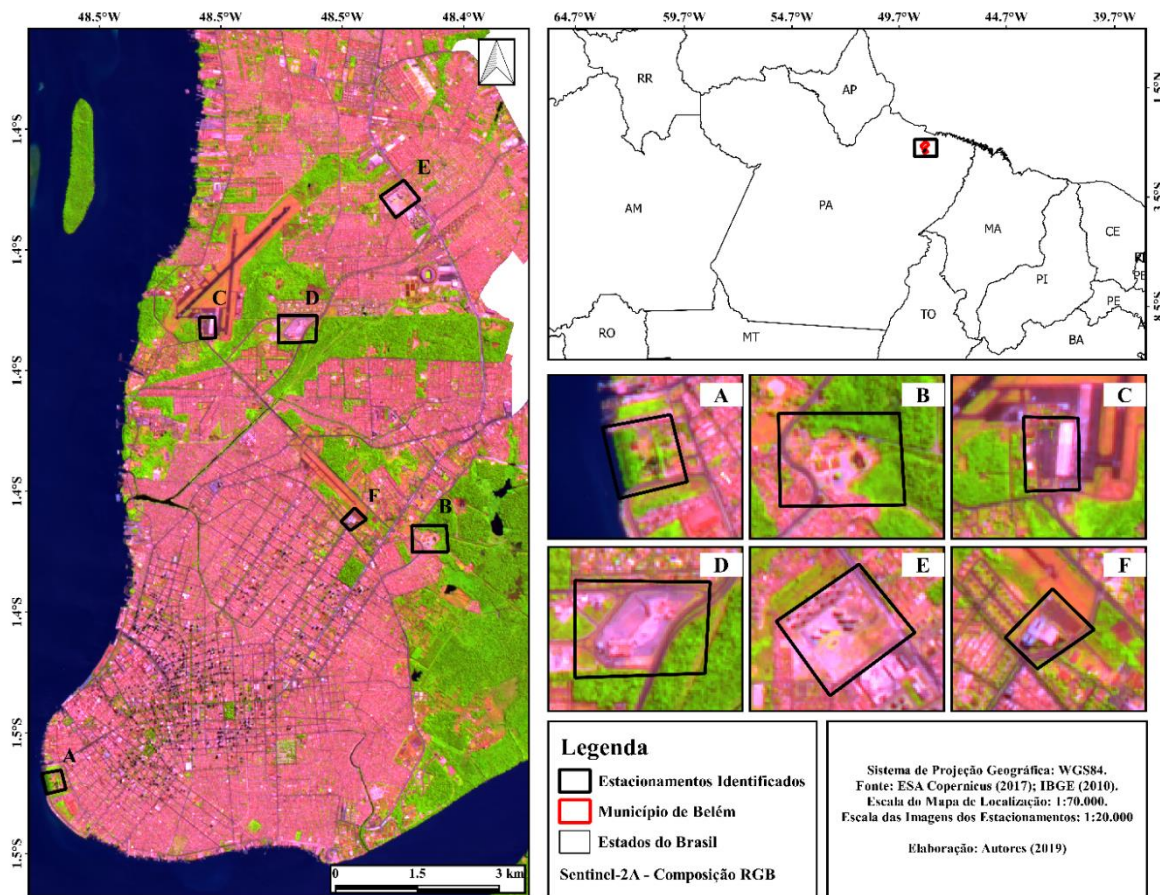
A quantidade populacional (em número de habitantes para 2010) desses distritos é distribuída, respectivamente, da seguinte maneira: 144.948, 125.400 e 284.670 habitantes (BELÉM, 2012). A vegetação natural do município é composta de florestas ombrófilas densas de Terra Firme e Várzea (AMARAL et al., 2009), e o clima da região é caracterizado na escala Köppen como tropical Afi, com precipitação anual de 2,834 mm (PARÁ, 2017). A área de Belém continental, considerada nesse estudo, possui uma cobertura vegetal (considerando as vegetações primária, secundária e urbana) de aproximadamente 37% (TAVARES et al., 2019).

A expansão urbana da metrópole da Amazônia ocorreu principalmente na área continental do município, tendo os rios e as florestas como vetores do crescimento urbano, mas também como barreiras para a sua expansão em algumas áreas (CARDOSO; VENTURA NETO, 2013), caracterizando a cidade como um modelo *waterfront*, ou seja, uma forma territorial da água como paisagem urbana (PONTE, 2015). Essa forma de expansão também reflete na mobilidade urbana local, de modo que as regiões centrais, onde há *shoppings*, áreas de lazer e aeroporto, são as que mais demandam a existência de pontos de parada para veículos.

As áreas selecionadas como objeto deste estudo estão apresentadas na Figura 1, na composição colorida de uma cena do satélite Sentinel-2, o qual tem 10 m de resolução espacial, 12 bits de resolução espectral e 5 dias de período de revisita (ESA, 2015).

Figura 1 – Mapa de localização dos estacionamentos identificados na pesquisa





A) Parque Zoológico Mangal das Garças; B) Parque Estadual do Utinga; C) Aeroporto Internacional de Belém; D) Shopping Bosque Grão-Pará; E) Parque Shopping Belém; F) Centro de Convenções e Feiras da Amazônia – Hangar.

Fonte: Autores, 2019.

### 3.3 Estimativa da área dos estacionamentos por meio do Google Earth

Adaptou-se a metodologia de Horan et al. (2019), na qual a plataforma Google Earth Web<sup>1</sup> foi utilizada para o levantamento de áreas com potencial de adaptação ao sistema de estacionamento solar em Belém. A escolha dessa ferramenta se deu por sua gratuidade, elevada resolução espacial e fácil aplicação e manuseio em relação a outras ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas.

O critério de seleção dos estacionamentos na cidade de Belém foi sua área total, computando apenas os que tinham mais de 2.000 m<sup>2</sup>, e o cálculo da área foi feito por meio do desenho de polígonos coincidentes com suas laterais limítrofes para cada empreendimento. O processo tomou como base a potência gerada no estacionamento do Hangar, onde foram aplicadas 4.416 placas solares sobre a área

<sup>1</sup> Disponível em <<https://earth.google.com/web/>>.

total de 7.000 m<sup>2</sup>. Ressalta-se que cada placa solar instalada nesse empreendimento gera em torno de 265 Wp (ou seja, 270.000 kWh de energia limpa), totalizando 1,17 MW (GEMAQUE, 2018).

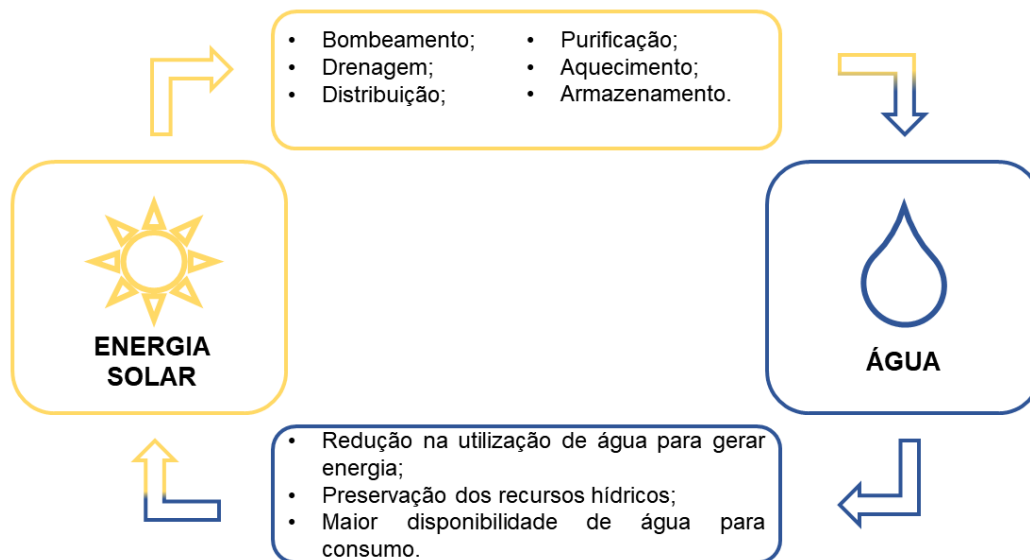
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 O Nexus EA em Belém

Na Figura 2, ilustra-se a relação identificada entre energia solar – proveniente de placas solares instaladas nas áreas de estacionamento do Hangar – e o sistema hídrico de Belém. O Nexus EA identificou os principais pontos dessa interação, destacando a viabilidade da utilização da energia gerada no sistema fotovoltaico para otimizar as demais atividades interligadas.

Para Kurian (2017) e Brouwer et al. (2018), essas compensações e a sinergia existente entre os componentes da abordagem Nexus permitem usar os recursos de maneira mais sustentável.

Figura 2 – Abordagem Nexus EA na utilização de placas fotovoltaicas em estacionamentos



Fonte: Autores, 2019.

A elaboração de um complexo para a geração e o aproveitamento de energia solar em áreas amplas e com finalidade única, como estacionamentos, considera aspectos fundamentais da economia circular, por meio do uso de uma fonte de energia que não gera resíduos e reduz os custos de consumo com energia elétrica,

promovendo a criação de lugares mais sustentáveis nas cidades. Conforme apontam Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018), é preciso progredir para modelos de economia circular, considerando, entre vários aspectos, a evolução para o uso de energia de fontes limpas e renováveis, aumentando o ciclo de vida dos recursos disponíveis.

A utilização da energia de uma fonte renovável pode ser direcionada para sistemas hídricos, como os de bombeamento, drenagem, distribuição, purificação, aquecimento e armazenamento. Djumaboev et al. (2019) estabelecem a energia como elemento fundamental para o uso da água nos mais diferentes níveis em um estabelecimento, enquanto Ferroukhi et al. (2015) destacam que a intervenção da energia renovável no abastecimento de água para as atividades supracitadas estabelece um sistema mais seguro e facilita o Nexus EA.

Mudar os modelos atuais de geração de energia (focados em combustíveis fósseis e hidrelétricas) para fontes mais limpas e renováveis diminui a exploração desequilibrada dos recursos, causada pela demanda excessiva, entre eles a água, conforme destacado pelo Nexus EA. Para Lacy e Rutqvist (2015), permanecer estagnado em sistemas convencionais aumenta a preocupação quanto aos problemas ambientais locais e globais, bem como eleva o custo de produção e consumo de energia, um insumo fundamental para o desenvolvimento das atividades urbanas e industriais.

Dessa forma, ainda segundo o Nexus EA da Figura 2, estabelecer um conjunto de placas para capturar energia solar nos estacionamentos reduz a pressão para a utilização de água na geração de energia elétrica, sendo esta última responsável pelo funcionamento de usinas hidrelétricas e termelétricas (MARIANI et al., 2016). Assim, maiores quantidades de água são disponibilizadas para atender a outras necessidades, como consumo humano, otimizando o uso desse recurso, além de preservar o nível dos mananciais e a qualidade hídrica para suas múltiplas aplicações (YANG et al., 2018).

Fan et al. (2019) destacam que as áreas urbanas são setores em que há fluxo intenso de materiais, água e energia, distribuídos entre várias atividades econômicas e ecológicas, nos quais a elaboração do Nexus EA contribui para uma gestão otimizada dos recursos, evitando um proeminente colapso. Portanto, sistemas pautados nessa abordagem criam uma perspectiva cíclica sobre o uso da água e da energia (ESPÍNDOLA; CORDOVA; FLORES, 2018), os quais ganham cada vez mais

atenção na economia circular, por serem importantes (tanto em quantidade quanto em qualidade) para o desenvolvimento das atividades humanas.

#### 4.2 Áreas com potencial de adaptação ao estacionamento solar em Belém

A partir dos dados coletados, foi possível mapear estacionamentos de veículos a céu aberto estimando o quanto de potência energética seria viável gerar em cada lugar caso ocorresse a adaptação ao estacionamento solar (Tabela 1). Tomou-se como base o atual sistema de geração fotovoltaica instalado no Hangar (265 Wp por painel solar).

Tabela 1 – Áreas com potencial de instalação de estacionamento solar em Belém

Local/empreendimento	Área do estacionamento (m <sup>2</sup> )	Potência gerável (MW)
Parque Zoobotânico Mangal das Garças	2.760	0,46
Parque Estadual do Utinga	12.976	2,17
Aeroporto Internacional de Belém	18.725	3,13
Shopping Bosque Grão-Pará	57.045	9,53
Parque Shopping Belém	16.516	2,76

Fonte: Autores, 2019.

De acordo com o levantamento realizado, destaca-se o elevado potencial de geração fotovoltaica nos estacionamentos da cidade. Enfatizam-se as áreas de estacionamento do Shopping Bosque Grão-Pará (Figura 1D) e do Aeroporto Internacional de Belém (Figura 1C), cujos valores de potência gerável seriam consideravelmente superiores aos do sistema instalado no Hangar, contabilizando 815% e 268%, respectivamente. Os demais percentuais geráveis foram de 236% (Parque Shopping Belém – Figura 1E), 185% (Parque Estadual do Utinga – Figura 1B) e 39% (Parque Zoobotânico Mangal das Garças – Figura 1A).

Para Neumann, Schär; Baumgartner (2012), é comum que não haja área suficiente para a instalação de sistemas fotovoltaicos tradicionais no meio urbano, principalmente em cidades com grande adensamento populacional, pois há competição entre outros tipos de usos da terra. Uma forma de suplantar essa

problemática é a adaptação dos estacionamentos convencionais aos estacionamentos solares, pois utilizam um espaço que já foi concebido para a alocação veicular.

Ressalta-se, por fim, a importância da necessidade de conexão dos estacionamentos solares à rede elétrica (sistema *on grid*), de modo a utilizar tanto a energia solar (durante o dia) quanto a energia da rede convencional (em situações noturnas ou de chuva, quando há cobertura de nuvens) (WONG et al., 2014).

## 5 CONCLUSÕES

Neste estudo, a abordagem Nexus EA foi aplicada para a cidade de Belém (PA), tomando como base a relação entre energia e água no contexto da circularidade urbana da metrópole da Amazônia. A mudança da matriz energética brasileira majoritariamente hidráulica e com base no uso de combustíveis fósseis para sistemas híbridos contendo energias renováveis (como a fotovoltaica) auxiliaria em fatores essenciais para favorecer a solução de problemas no funcionamento urbano, como o bombeamento da água para abastecimento público e industrial.

Vale ressaltar a importância da criação de novos modelos pautados no reaproveitamento energético, inovadores e pragmáticos no sentido de realizar medidas impulsionadas pelo uso eficiente dos recursos no que tange às atividades econômicas, industriais e urbanas. A interação positiva entre a energia e a água de ambientes urbanos tende a desenvolver sustentavelmente esses lugares, promovendo benefícios econômicos e reduzindo os impactos causados sobre o meio ambiente, como a perda da qualidade de recursos hídricos e da quantidade disponível para consumo, bem como a emissão de GEE.

Nas análises da pesquisa, foram observados os potenciais de geração fotovoltaica de cinco estacionamentos convencionais, tomando como base o estacionamento do Hangar, que já tem esse aproveitamento energético. Os resultados destacam que os estacionamentos do Shopping Bosque Grão-Pará e do Aeroporto Internacional de Belém têm potencial promissor de geração fotovoltaica, pois apresentam áreas consideráveis e irradiação solar intensiva durante o ano.

A partir da metodologia utilizada, evidencia-se, então, a viabilidade da implementação de estacionamentos solares na área de estudo, tanto pela otimização

do uso dos recursos, conforme estabelecido pelo Nexus EA, quanto pelo potencial de geração de energia limpa disponível para uso nos empreendimentos. Nesse sentido, considera-se necessário que instituições de pesquisa e esferas governamentais e privadas proponham discussões para buscar alternativas que visem à exploração adequada dos recursos, com impactos positivos para a sociedade, a economia local e o meio ambiente, como determinam o desenvolvimento sustentável e a economia circular.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, D. D. et al. *Checklist* da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil.

**Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, Belém, v. 4, n. 3, p. 231-289, dez. 2009.

BELÉM. **Anuário Estatístico do Município de Belém**. Belém: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, 2012.

BLEISCHWITZ, R. et al. Resource nexus perspectives towards the United Nations Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 12, p. 737-743, dez. 2018.

BRASIL. **Projeto de Lei do Senado n. 454, de 2017**. Altera a Lei n. 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências, para dispor sobre a vedação, a comercialização e a circulação de automóveis movidos a combustíveis fósseis. Brasília: Senado Federal, 2017. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7289350&ts=1550166014016&disposition=inline>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

BROUWER, F. et al. The Nexus Concept Integrating Energy and Resource Efficiency for Policy Assessments: A Comparative Approach from Three Cases. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 1-18, dez. 2018.

CARDOSO, A. C. D.; VENTURA NETO, R. da S. A evolução urbana de Belém: trajetória de ambiguidades e conflitos socioambientais. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 15, n. 29, p. 55-76, jan./jun. 2013.

CHEN, S.; CHEN, B. Urban energy-water nexus: A network perspective. **Applied Energy**, v. 184, p. 905-914, dez. 2016.

CHU, C.; RITTER, W.; SUN, X. Spatial variances of water-energy nexus in China and its implications for provincial resource interdependence. **Energy Policy**, v. 125, p. 487-502, fev. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do transporte: estatísticas consolidadas 2018**. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2018/Inicial>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

CRESWELL, J. W. **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014.

DJUMABOEV, K. et al. Assessing Water Use, Energy Use And Carbon Emissions In Lift- Irrigated Areas: A Case Study From Karshi Steppe In Uzbekistan. **Irrigation and Drainage**, p. 1-11, fev. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy opportunity for urban & industrial innovation in China**. 2018. Disponível em: <[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-opportunity-for-urban-industrial-innovation-in-China\\_19-9-18\\_1.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/The-circular-economy-opportunity-for-urban-industrial-innovation-in-China_19-9-18_1.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ESA. **Sentinel-2 User Handbook**. 1. ed. Paris: European Space Agency, 2015.

ESPÍNDOLA, J. A. G.; CORDOVA, F.; FLORES, C. C. The importance of urban rainwater harvesting in circular economy: the case of Guadalajara city. **Management Research Review**, v. 41, n. 5, p. 533-553, maio 2018.

EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION. **Roadmap 2050: a practical guide to a prosperous, low-carbon Europe**. [S.l.]: ECF, 2010. (Volume I: technical and economic assessment). Disponível em: <<http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/Roadmap2050-AllData-MinimalSize.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

FAN, J.-L. et al. A water-energy nexus review from the perspective of urban metabolism. **Ecological Modelling**, v. 392, p. 128-136, jan. 2019.

FERROUKHI, R. et al. **Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus**. [S.l.]: IRENA, 2015.

FILION, Y. R. Impact of Urban Form on Energy Use in Water Distribution Systems. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 14, n. 4, p. 337-346, dez. 2008.

GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 771-782, set. 2018.

GEMAQUE, P. Estado investe em desenvolvimento sustentável com painéis solares no Hangar. **Hangar**, 22 mar. 2018. Disponível em: <[http://hangarcentrodeconvencoes.com.br/noticias\\_detalhes.php?nIdNoticia=1435](http://hangarcentrodeconvencoes.com.br/noticias_detalhes.php?nIdNoticia=1435)>. Acesso em: 21 fev. 2019.

GENÇER, E. et al. Directing solar photons to sustainably meet food, energy, and water needs. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, dez. 2017.

GENOVESE, A. et al. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, v. 66, p. 344-357, jan. 2017.

GUO, B. et al. Comparative assessment of circular economy development in China's four megacities: the case of Beijing, Chongqing, Shanghai and Urumqi. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 234-246, set. 2017.

HORAN, W. et al. Development and evaluation of a method to estimate the potential of decarbonisation technologies deployment at higher education campuses. **Sustainable Cities and Society**, v. 47, p. 1-12, maio 2019.

HUANG, C. et al. Understanding the water-energy nexus in urban water supply systems with city features. **Energy Procedia**, v. 152, p. 265-270, out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades – Censo demográfico do município de Belém**. Belém: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy**. Paris: IEA, 2014. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2019.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37-46, jan. 2018.

KURIAN, M. The water-energy-food nexus. **Environmental Science & Policy**, v. 68, p. 97-106, fev. 2017.

LACY, P.; RUTQVIST, J. **Waste to wealth: the circular economy advantage**. New York: Palgrave Macmillan, 2015.

LARSEN, M. A. D.; DREWS, M. Water use in electricity generation for water-energy nexus analyses: The European case. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 2044-2058, fev. 2019.

LIU, J. et al. Nexus approaches to global sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 9, p. 466-476, set. 2018.

MACHELL, J. et al. The water energy food nexus – challenges and emerging solutions. **Environmental Science: Water Research & Technology**, v. 1, n. 1, p. 15-16, 2015.

MARIANI, L. et al. Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 9-30, maio 2016.

MATEUS, R.; SILVA, S. M.; ALMEIDA, M. G. Environmental and cost life cycle analysis of the impact of using solar systems in energy renovation of Southern European single-family buildings. **Renewable Energy**, v. 137, p. 82-92, jul. 2019.



MCPHEARSON, T. et al. Scientists must have a say in the future of cities. **Nature**, v. 538, n. 7624, p. 165-166, 2016.

MENG, F. et al. Critical review of the energy-water-carbon nexus in cities. **Energy**, v. 171, p. 1017-1032, mar. 2019.

MERCURE, J.-F. et al. System complexity and policy integration challenges: The Brazilian Energy-Water-Food Nexus. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 230-243, maio 2019.

NEUMANN, H.-M.; SCHÄR, D.; BAUMGARTNER, F. The potential of photovoltaic carports to cover the energy demand of road passenger transport. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 20, n. 6, p. 639-649, 2012.

NGULUBE, P. Trends in research methodological procedures used in knowledge management studies. **African Journal of Library, Archives and Information Science**, v. 25, n. 2, 125-143, 2015.

NUNES, P.; FIGUEIREDO, R.; BRITO, M. C. The use of parking lots to solar-charge electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 679-693, 2016.

PARÁ. **Pará Sustentável – Estatística Municipal de Belém**. Belém: Secretaria de Comunicação, 2017. Disponível em: <<http://parasustentavel.pa.gov.br/>>. Acesso em: 21 fev. 2019.



PAUL, P.; TENAIJI, A.; BRAIMAH, N. A Review of the Water and Energy Sectors and the Use of a Nexus Approach in Abu Dhabi. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 4, p. 1-15, abr. 2016.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PETIT-BOIX, A.; LEIPOLD, S. Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1270-1281, set. 2018.

PLAPPALLY, A. K.; LIENHARD V, J. H. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 4818-4848, set. 2012.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: cidade e água. **Cadernos Metr pole**, S o Paulo, v. 17, n. 33, p. 41-60, 2015.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Cient fico: M todos e T cnicas da Pesquisa e do Trabalho Acad mico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

TAVARES, P. A.; BELTRÃO, N. E. S.; GUIMARÃES, U. S.; TEODORO, A. C. Integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 for Classification and LULC Mapping in the Urban Area of Belém, Eastern Brazilian Amazon. **Sensors**, v. 19, p. 1-20, 2019.

ROBINSON, J. et al. Business models for solar powered charging stations to develop infrastructure for electric vehicles. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 10, p. 7358-7387, 2014.

ROMERO-LANKAO, P.; MCPHEARSON, T.; DAVIDSON, D. J. The food-energy-water nexus and urban complexity. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 4, p. 233-235, 2017.

SARKAR, P.; SHARMA, B.; MALIK, U. Energy generation from grey water in high raised buildings: The case of India. **Renewable Energy**, v. 69, p. 284-289, set. 2014.

SCHLETTER GMBH. **Professional solar mounting systems**. Ingleburn: SCHLETTER GmbH, 2011. Disponível em: <[http://www.schletter.com.au/files/addons/docman/solarmontage/prospekte/System\\_Overview\\_Park%40Sol\\_Carport\\_-\\_Brochures\\_V2\\_I400148AU.pdf](http://www.schletter.com.au/files/addons/docman/solarmontage/prospekte/System_Overview_Park%40Sol_Carport_-_Brochures_V2_I400148AU.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

VALEK, A. M.; SUŠNIK, J.; GRAFAKOS, S. Quantification of the urban water-energy nexus in México City, México, with an assessment of water-system related carbon emissions. **Science of the Total Environment**, v. 590-591, p. 258-268, jul. 2017.

WANG, N. et al. Evaluation of Urban circular economy development: An empirical research of 40 cities in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 876-887, abr. 2018.

WILLIAMS, J. Circular Cities: Challenges to Implementing Looping Actions. **Sustainability**, v. 11, n. 2, p. 423, 15 jan. 2019.

WONG, J. et al. Grid-connected photovoltaic system in Malaysia: A review on voltage issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 535-545, 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Renewable Infrastructure Investment Handbook: A Guide for Institutional Investors**. Geneva: World Economic Forum, 2017. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Renewable\\_Infrastructure\\_Investment\\_Handbook.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Renewable_Infrastructure_Investment_Handbook.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2019

WU, H. et al. Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 83, p. 163-175, fev. 2014.

XIANG, X.; JIA, S. China's water-energy nexus: Assessment of water-related energy use. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 144, p. 32-38, maio 2019.

XUE, J. et al. Development of an urban FEW nexus online analyzer to support urban circular economy strategy planning. **Energy**, v. 164, p. 475-495, dez. 2018.

YANG, X. et al. Exploring the environmental pressures in urban sectors: An energy-water-carbon nexus perspective. **Applied Energy**, v. 228, p. 2298–2307, out. 2018.

YILLIA, P. T. Water-Energy-Food nexus: framing the opportunities, challenges and synergies for implementing the SDGs. **Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft**, v. 68, n. 3-4, p. 86-98, abr. 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

ZELLER, V. et al. Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level. **Waste Management**, v. 83, p. 83-94, jan. 2019.

ZHANG, C. et al. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 625-639, set. 2018.

