

# Soluções baseadas na Natureza em projetos de revitalização de *brownfields* urbanos: novos paradigmas para problemas urbanos

EVANDRO NOGUEIRA KAAM<sup>I</sup>

AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO<sup>II</sup>

## Introdução

A EXPANSÃO URBANA representa modificações para o uso do solo e uma demanda crescente por infraestruturas como habitação, saneamento, transporte e lazer (Siqueira-Gay et al., 2019). Áreas com uso pretérito industrial ou agrícola subutilizadas e imersas no tecido urbano representam potencial para atração de negócios e atividades (Borges et al., 2019). Os processos de revitalização de áreas urbanas devem ser uma estratégia pautada por desenvolvimento local e inclusivo, com foco nos interesses da sociedade (Oliveira et al., 2022).

Dentre essas áreas destacam-se os *brownfields* que correspondem a espaços urbanos ou periurbanos que abrigam edificações ociosas, porém oportunas para novos usos (Porto; Castro, 2018). A revitalização de *brownfields* permite criar oportunidades para melhorar as condições ambientais da área, valorizando a saúde física e mental, a coesão da comunidade e a prosperidade econômica (Lehigh et al., 2020).

De acordo com Vasques e Mendes (2004), grande parte dos *brownfields* representa dificuldades para reutilização, pela baixa atratividade ao mercado e por questões de contaminação dos solos como consequência das atividades exercidas no passado, como destacado por Song et al. (2019). Segundo Ahmad et al. (2018), há mais de 500 mil *brownfields* nos Estados Unidos que podem demandar um custo de US\$ 650 milhões para revitalização, e na Europa há mais de 800 mil áreas que podem ter um custo em torno de 115 bilhões de euros para revitalização. A não refuncionalização de *brownfields* contribui negativamente para uma desvalorização espacial, tornando as cidades menos inclusivas, seguras e sustentáveis, em desconformidade aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (Sims et al., 2019).

Entretanto, há potenciais benefícios econômicos, sociais e ambientais que podem ser auferidos nessa revitalização, como a reinserção ao ciclo econômico e social das cidades, recuperação de funções do solo e criação de novos espaços (Marker, 2013). Segundo Vasques e Mendes (2004), cidades como Paris, na

França, Londres, na Inglaterra, Toronto, no Canadá, comprovam a importância de revitalizar centros urbanos e históricos, evitando degradação e abandono desses patrimônios e obtendo benefícios. De acordo com Hammond et al. (2021), nas últimas décadas muitos sistemas de suporte de decisão foram desenvolvidos para subsidiar a revitalização de *brownfields*, mas ainda há limitações em razão da alta complexidade desses sítios.

A busca pela sustentabilidade tem sido uma diretriz nas políticas de desenvolvimento territorial internacionais. Estados Unidos e Europa têm firmado acordos verdes para revitalizar *brownfields*, destacando-se como uma das abordagens mais preconizadas para isso as Soluções baseadas na Natureza (SbN) (Sessa et al., 2022). As SbN demonstram-se medidas promissoras e de grande aplicabilidade na revitalização de *brownfields*, uma vez que podem agregar tecnologias de tratamento dos problemas de degradação desenvolvendo estratégias de redesenvolvimento que sejam inclusivas e viáveis economicamente (Song et al., 2019).

As SbN são definidas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) como “ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar os ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade” (Cohen-Shacham et al., 2016, p.2). De acordo com Kabisch et al. (2016), as SbN são consideradas infraestrutura verde, uma vez que representam abordagens sistêmicas que usam os elementos da natureza para solucionar problemas de sustentabilidade urbana. Assim, as SbN, ou infraestrutura verde, pautam-se pela premissa de que a integração dos ecossistemas nos projetos de engenharia pode oferecer serviços ecossistêmicos.

Os Serviços Ecossistêmicos (SE) representam benefícios diretos ou indiretos usufruídos pela humanidade a partir das funções desempenhadas pelos ecossistemas, sendo classificados como de provisão, regulação, suporte e cultural (MEA, 2005). É crescente o uso dos SE em processos de planejamento e tomada de decisão, vários trabalhos brasileiros discutem aplicações do SE no planejamento de cidades (Muñoz; Freitas, 2017), na revitalização de rios urbanos (Flausino; Gallardo, 2021; Rolo et al., 2019; Rolo et al., 2021), na avaliação de áreas verdes urbanas (Gaudereto et al., 2019; Martins et al., 2020; Nascimento et al., 2022), na agricultura urbana (Nascimento Macedo et al., 2021); na proteção de unidades de conservação pressionadas pela urbanização (Petroni et al., 2022) e no planejamento urbano (Petroni; Gallardo, 2020).

A aplicação dos SbN em projetos de revitalização de *brownfields* pode agregar diversos tipos de SE que, por sua vez, podem ser utilizados como *proxy* para avaliar os processos de revitalização desses espaços. Os SE podem ser utilizados para avaliar a requalificação de áreas urbanas, que inclui *brownfields*, constituindo-se a avaliação dos SE numa ferramenta para contribuir no desenho de políticas de planejamento urbano sustentável (Zhong et al., 2020). A oferta

desses SE será influenciada pelas propostas de SbN para revitalização dos *brownfields* (Mathey et al., 2015), representando oportunidades de recreação, de bem-estar humano e qualidade de vida, dentre outros (Pueffel et al., 2018).

Nesse sentido, Valck et al. (2019) preconizam que projetos de redesenvolvimento de *brownfields* devem incluir SbN ou infraestrutura verde (parques, praças, árvores, remanescentes florestais, dentre outros) que podem ser medidos pela valoração desses SE, contribuindo para melhorar a qualidade de vida nas cidades. Para Cortinovis e Geneletti (2018) os SE subsidiam o planejamento urbano na avaliação de intervenções de revitalização de *brownfields* em áreas urbanas. Zhong et al. (2020) reforçam a importância de avaliar os custos e benefícios da revitalização de *brownfields* por meio de valoração desses SE.

Esta pesquisa, então, busca contribuir com integração de SbN, mensurados em termos de SE, em projetos de revitalização de *brownfields*, tema ainda não explorado no país. O objetivo geral deste artigo é avaliar a integração de SbN em projetos de revitalização de *brownfield* utilizando-se valoração monetária de SE.

O artigo, após a seção de introdução, apresenta um breve panorama do uso de SbN, considerados os SE, em casos de revitalização de *brownfields*. A seção de método apresenta a metodologia original e suas adaptações e a caracterização do objeto de estudo. Os resultados apresentam os achados da valoração monetária dos SE desse projeto de revitalização. O item de discussão explora esses resultados e seu cotejamento à literatura de SbN e SE. Por fim, as conclusões sintetizam as principais contribuições do trabalho e suas mensagens para estudos similares futuros.

### **Soluções baseadas na Natureza e Serviços Ecossistêmicos na revitalização de *brownfields***

Nesta seção, destacam-se alguns casos de estudos em que a implantação de SbN e a avaliação dos SE ofertados por essa foram considerados elementos-chave para a revitalização de *brownfields*.

Cortinovis e Geneletti (2018) analisaram 13 áreas de requalificação urbana no município de Trento, na Itália, em que há defasagem de oferta de espaços públicos e consequentemente de SE para a população urbana. Dessa forma, os projetos contemplavam o uso de SbN na revitalização de *brownfields* utilizando-se SE, especialmente os culturais (de recreação), para propiciar maior oportunidade de qualidade de vida para os cidadãos; e os de regulação climática, uma vez que as novas áreas verdes urbanas permitem o arrefecimento da temperatura do entorno contribuindo para mitigar os efeitos das ondas e das ilhas de calor urbana.

Valck et al. (2019) descrevem o redesenvolvimento proposto para um antigo porto e refinaria de petróleo abandonado e contaminado denominado Blue Gate Antwerp, em Antuérpia na Bélgica, dos quais 50 ha estão sendo gradualmente remediados e devem ser reconstruídos entre 2014 e 2035. O projeto de

redesenvolvimento inclui, especialmente, um parque empresarial e um corredor verde que liga o complexo a uma reserva natural. Foram incluídos três tipos de SbN ou infraestrutura verde, corredor verde, novos canais para auxiliar no escoamento de água e a implementação de telhados verdes ou áreas de infiltração. Para a implementação desse projeto de redesenvolvimento local foram avaliados e quantificados economicamente cinco SE para a implementação utilizando-se a ferramenta denominada “Nature Value Explorer”.

O distrito de Xuhui, em Xangai, com área de 54,93 km<sup>2</sup> e população de mais de 1 milhão de pessoas, é famoso por seu setor industrial, de comércio e serviços. De acordo com Qicheng et al. (2020), os autores propõem a avaliação dos SE a partir de uma perspectiva sistêmica que deve ser combinada com a valoração dos SE, a análise de custo-benefício econômico e a análise de padrões espaciais para o planejamento e formulação de políticas de futuras ações para a revitalização dos *brownfields* existentes.

De acordo com Pueffel et al. (2018), foram mapeados 12 *brownfields* em Leipzig, na Alemanha, cuja revitalização também se pautou pela avaliação dos SE para tornar esses locais acessíveis ao público. Para tanto, realizaram esse mapeamento com o apoio da população e com o uso de smartphones, para avaliar os serviços culturais de recreação e os motivos pelos quais um cidadão compraria a ideia de redesenvolvimento da região em relação as características do local e da vizinhança.

## **Método**

O método empregado neste estudo está alinhado a uma tendência recente de discussão das vantagens de projetos desenvolvidos sob os conceitos de SbN e SE e, portanto, associados ao desenvolvimento sustentável, agregando valor à saúde e ao bem-estar no planejamento urbano. Assim, o método utilizado nesse trabalho é de pesquisa aplicada a um estudo de caso. Assim, selecionou-se como estudo de caso um *brownfield* no município de São Roque (São Paulo), conhecido como Brasital, que é um patrimônio arquitetônico industrial atualmente subutilizado, com potencial para ser objeto de um projeto de revitalização pautado pela valorização dos SE. Para avaliar os SE na revitalização desse *brownfield* escolheu-se o referencial proposto por Valck et al. (2019), pelas similaridades entre as características físicas dos dois *brownfields* e as características dos projetos de revitalização que buscam a adoção de diferentes tipos de SbN e a avaliação dos SE associados como subsídios à tomada de decisão no planejamento urbano. Nesse item serão descritos os principais preceitos metodológicos empregado por Valck et al. (2019), a caracterização do *brownfield* Brasital e a adaptação do método para o contexto brasileiro.

### ***Breve caracterização da metodologia proposta por Valck et al. (2019)***

Para a avaliação da revitalização das SbN propostas no projeto de revitalização do *brownfield* denominado Blue Gate Antwerp, Valck et al. (2019) utilizaram cinco SE (redução de escoamento, capacidade de filtragem da água e

ventilação, regulação climática, sequestro de carbono, recreação e lazer). Todas as informações de entrada para os procedimentos de cálculo têm por fonte documentos e modelos utilizados especificamente para o projeto e foram obtidas a partir do mapa do uso do solo.

As áreas de superfície, dos corpos d'água e da vegetação foram utilizadas como dados primários para os três SbN (corredor verde, telhado verde e áreas permeáveis ou de infiltração) e os SE, exceto os de recreação (Valck et al., 2019). Existem diferentes tipos de avaliações monetárias aplicáveis conforme a Tabela 1. Tais modelos de avaliação têm fatores de entrada de dados derivados do estudo de Valck et al. (2019).

Tabela 1 – Fatores de valoração monetária que quantificam os SE das SbN propostas para a revitalização do *brownfield* do Blue Gate Antuérpia

| Serviços Ecossistêmicos              | Métrica     | Valor por unidade (€) |
|--------------------------------------|-------------|-----------------------|
| Redução de Escoamento                | m³/ano      | € 0,52                |
| Capacidade de Filtragem e Ventilação | kg/ano      | € 72,00               |
| Regulação Climática                  | m²/ano      | € 0,21                |
| Sequestro de Carbono                 | kg/ano      | € 233,00              |
| Recreação (Lazer)                    | visitas/ano | € 4,50                |

Fonte: Adaptado de Valck et al. (2019).

### *Breve caracterização do brownfield Brasital – São Roque (SP)*

A antiga Companhia Industrial de São Roque (Brasital) foi inaugurada em 1892, sendo uma das primeiras fábricas de tecidos de algodão da América Latina, encerrando suas atividades em 1970. As instalações dispõem de uma rica identidade histórica, de um grande referencial arquitetônico e de forte presença ambiental na área central da cidade de São Roque (São Paulo), como ilustram a Foto 1 e a Foto 2. Em 1986, o então prefeito levantou a aquisição da fábrica desativada com o propósito de beneficiar a cidade de São Roque com um espaço público voltado a cultura e turismo. O antigo complexo têxtil passou por diversas reformas e chegou a abrigar inclusive a Biblioteca Municipal Professor Arthur Riedel, e, em 1999, ocorreu a última grande reforma para abrigar salas de exposição, dentre outras (Dezen Kempter, 2011).

A Figura 1 ilustra a área de estudo imersa no perímetro urbano de São Roque e contígua a um grande remanescente florestal preservado com extensão territorial de aproximadamente 198 mil m² de terreno e 9.770,93 m² de área construída dividida em cinco prédios. As Fotos 3, 4, 5 e 6 ilustram alguns desses prédios.



*Fonte:* Biblioteca Municipal.

Foto 1 – Vista panorâmica da fábrica na década de 1930.



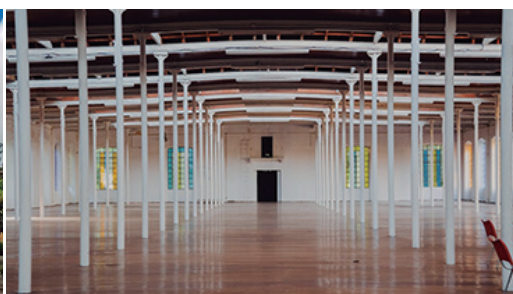
*Fonte:* Pelos autores em março de 2021.

Foto 2 – Foto aérea da Brasilal.



*Fonte:* Pelos autores em março de 2021.

Foto 3 – Atual fachada da Brasilal.



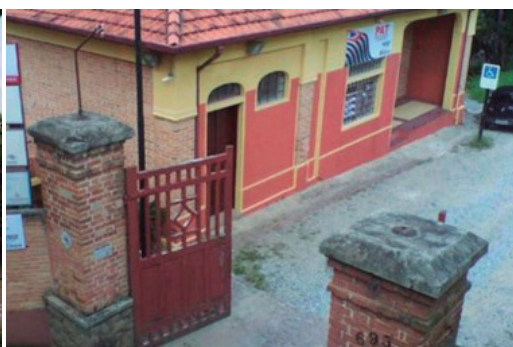
*Fonte:* Pelos autores em março de 2021.

Foto 4 – Salão do prédio 11.



*Fonte:* Pelos autores em março de 2021.

Foto 5 – Vista das construções.



*Fonte:* Pelos autores em março de 2021.

Foto 6 – Vista do prédio 5.



Fonte: Os autores.

Figura 1 – Imagem aérea da região do *brownfield* Brasital e sua articulação com área urbana e áreas verdes do município de São Roque.

De acordo com Kaam et al. (2021), para a viabilização da proposta de revitalização desse *brownfield* deve-se considerar: a) implementação de saneamento básico; b) implementação de sistema de proteção e combate a incêndio; c) empenho de atores políticos para levantamento de recursos para o projeto; d) envolvimento da população, dos setores econômicos, culturais e turísticos do município; e) valorização e implantação de infraestrutura verde para ser integrada ao corredor verde que interliga o complexo a uma reserva de 54 alqueires do Parque Natural Municipal Mata da Câmara; f) análise pelo Condephaat, responsável pelo tombamento da Brasital como patrimônio histórico, e estar em conformidade com os parâmetros do licenciamento de órgãos públicos de controle; g) uso de telhados verdes para permitir retenção de água nos picos de chuva e a filtragem do ar; h) aumento da ventilação natural; i) promover o sequestro de carbono.

#### ***Aplicação do método para caso da revitalização do brownfield da Brasital***

Para avaliar a implantação de três tipos SbN (corredor verde, telhado verde e áreas permeáveis ou de infiltração) na revitalização do *brownfield* Brasital, a metodologia proposta por Valck et al. (2019) foi adaptada quanto às considerações referentes aos cinco SE que são mensurados a partir das áreas de superfície, recobertas por vegetação e com corpos de água. A Tabela 2 apresenta essas adaptações.

Tabela 2 – Dados da adaptação do método proposto por Valck et al. (2019) para o caso da Brasital

| Serviço Ecossistêmico                | Proposta Valck (2019)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Proposta Brasital                                                                                                                                                                                                                                                      | Medida de mensuração do Serviço Ecossistêmico                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | Ambos usados recursos de um mapa do local – o que possibilita uma melhor compreensão do proposto – aponta os diferentes tipos de áreas e as características de superfície/, vegetação e corpos d’água                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                           |
|                                      | A precipitação média anual na região na Antuérpia, que registra 800 mm.                                                                                                                                                                                                                                                                         | A precipitação média anual para São Roque, está em torno de 13.390 mm                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                           |
| Redução de Escoamento                | As superfícies impermeáveis permitem uma recarga anual de 50 mm, nos corpos d’água e nas áreas de vegetação, a recarga anual registrada gira em torno de 300 mm, já para as superfícies dos corredores permeáveis e corredores verdes, a recarga calcula fica em 250 mm e os telhados verdes (um terço das edificações) 400 mm.                 | Proporcionalmente ao método proposto considerando que a precipitação da região é maior, 87,5 mm aplicado as superfícies impermeáveis, 525 mm para as áreas mais permeáveis como corpos d’água e floresta, 437,5 mm para as demais áreas e telhados verdes 6695 mm (1). | custos evitados com infraestrutura de drenagem e eventual medida de purificação da água no período de um ano.                                                                                                             |
|                                      | Todas essas áreas foram somadas e convertidas em valores monetários. Valoração por m³/ano de R\$ 2,68                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                           |
| Capacidade de Filtragem e Ventilação | Os cálculos utilizam o tipo de superfície e as áreas apontadas. Assim multiplicadas então pela capacidade de redução de PM10 (partículas inaláveis de diâmetro inferior a 10 micrômetros que constitui elementos de poluição atmosférica) de superfícies com vegetação. É quantificado em quilogramas de PM10 filtrado por hectares anualmente. |                                                                                                                                                                                                                                                                        | avaliação baseada em custos de saúde que foram evitados, sem a perda de produtividade econômica e em decorrência de terem sido evitadas mortes por doenças respiratórias e cardiovasculares associadas a emissões de PM10 |
|                                      | Todas essas áreas foram somadas e convertidas em valores monetários Valoração por kg/ano R\$ 370,80                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                           |
| Regulação Climática                  | Foram usadas as áreas de acordo com cada superfície, incluindo um fator de avaliação de regulação climática para regiões arborizadas e para superfícies verdes variadas. O cálculo é baseado no potencial de reserva de energia. Ao final, aplica-se um fator de ponderação, para então a resultante ser transformada na valoração do serviço   |                                                                                                                                                                                                                                                                        | economia de energia, visto se tratar de uma quantidade de serviço medida em valores monetários, em vez de apenas traçar relação de valor com relação a redução da temperatura                                             |
|                                      | valor da energia média na Europa<br>Euro \$ 225,00                                                                                                                                                                                                                                                                                              | valor da energia média no Brasil (2)<br>R\$ 410,64                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                           |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sequestro de Carbono</b> | Os insumos são multiplicados pela absorção estimada de CO <sub>2</sub> por tipo de superfície e área com um fator de ponderação, assim após para uma estimativa baixa quanto para uma estimativa elevada                                                                                                                                       | O resultado prático dessa metodologia faz o fator de sequestro de carbono ser mais acurado, e, portanto, sintetizar melhor as reais condições para captação do CO <sub>2</sub> |
|                             | O método proposto sem adaptações, O procedimento de cálculo de sequestro de carbono utiliza a área das superfícies onde encontram-se vegetações. Os insumos são multiplicados pela absorção estimada de gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) por tipo de superfície e área tanto para uma estimativa baixa quanto para uma estimativa elevada (3). |                                                                                                                                                                                |
|                             | O ponto médio da absorção é o valor final da valoração do SE. Valoração por toneladas de CO <sub>2</sub> R\$ 1.293,15                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                |
| <b>Serviço de Recreação</b> | Para definir o número de residentes: utiliza-se a distância dos moradores de suas casas até a porta de entrada do brownfield revitalizado. O número de moradores é dividido de acordo com um raio em 4 buffers (400 m, 800 m, 1600 m e 3200 m)                                                                                                 | Valor considerado para a recreação através do serviço ecossistêmico por número de visitantes residentes no entorno do local                                                    |
|                             | Aplica-se um fator de ponderação que está definido através do calco em: 1(hum) dividido pela distância média de entrada (em metros) de cada grupo de residentes de acordo com os 4 buffers definidos no estágio anterior, multiplicados por 200.                                                                                               |                                                                                                                                                                                |
|                             | Assim para estimar o valor final do serviço ecossistêmico: multiplica-se o número de residentes, pelo fator de ponderação, associados a uma média de 50 visitas de residentes ao ano. Valoração por número de visitas/ano R\$ 24,98                                                                                                            |                                                                                                                                                                                |

- (1) Para os locais onde foram aplicados os telhados verdes (um terço das edificações), foi considerado valor médio de 50% de retenção da precipitação média anual.
- (2) \*Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, a “bandeira verde” no ano de 2022 tem valor de R\$ 211,28 reais por megawatt hora (MWh), a bandeira vermelha de patamar 2 tem valor de R\$ 610,00 por megawatt hora (MWh). Assim, considerando os R\$ 410,64 por megawatt hora (MWh) como valor médio sendo multiplicado pelo total da ponderação, temos o valor financeiro de economia gerado pelo serviço.
- (3) O método proposto sem adaptações, com valor médio de € 233 euros projetado como valor real de sequestro de carbono para 2030, traz as estimativas de baixa e alta para cada superfície, € 100 e € 366 respectivamente, e converte em real o resultado obtido.

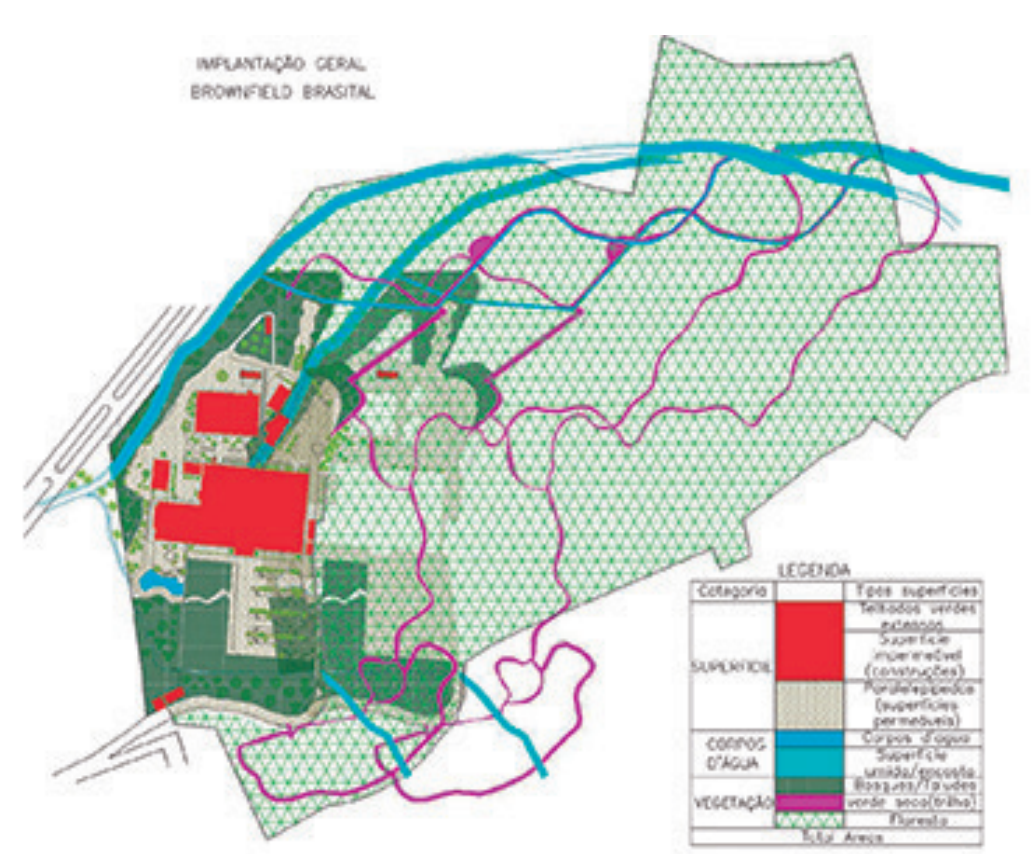
*Fonte:* Autores (2022).

Para mensurar os SE apresentados na Tabela 2, a partir das áreas de superfície, recobertas por vegetação e com corpos de água, conforme apresentado na Figura 2, utilizaram-se os softwares Autodesk Autocad, Adobe Photoshop e Google Earth apresentados na Tabela 3 e também o QGi para mensurar os dados SE referentes à recreação.

Tabela 3 – Brownfield Brasital, classificação das áreas de acordo com as superfícies medidas

| Categoria     | Tipo de superfícies                      | Áres (m²)  |
|---------------|------------------------------------------|------------|
| Superfície    | Telhados verdes extensos                 | 3.260,00   |
|               | Superfície impermeável (construções)     | 6.520,00   |
|               | Paralelepípedos (superfícies permeáveis) | 21.277,28  |
| Corpos d'água | Corpos d'água                            | 4.267,90   |
|               | Superfície úmida/encosta                 | 2.106,27   |
| Vegetação     | Bosques e Taludes                        | 12.814,20  |
|               | Area verde seca (trilha)                 | 4.405,00   |
|               | Floresta                                 | 147.911,00 |
|               | Área Total                               | 202.561,60 |

Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

Figura 2 – Mapeamento do uso do solo na Brasital.

A Tabela 4 apresenta os fatores de valoração monetária usados para quantificar os SE da SbN na Brasital.

Tabela 4 – Fatores de valoração monetária usados para quantificar os SE das SbN na Brasital

| Serviços Ecossistêmicos              | Métrica      | Valor Por Unidade (R\$) |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|
| Redução de Escoamento                | m³/ano       | R\$ 2,89                |
| Capacidade de Filtragem e Ventilação | kg/ano       | R\$ 399,60              |
| Regulação Climática                  | MWh/ano      | R\$ 410,64              |
| Sequestro de Carbono                 | tonelada/ano | R\$ 1.293,15            |
| Recreação (Cultural)                 | visitas/ano  | R\$ 24,98               |

Nota: Valores adaptados e convertidos do euro para real, com base no câmbio do dia 11.11.2022.

Fonte: Autores (2022).

## Resultados

As Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam os cálculos para a valoração do SE a partir da implantação das SbN na revitalização do *brownfield* Brasital.

O objetivo de avaliar esse SE de redução do escoamento (Tabela 5) na Brasital está diretamente relacionado à capacidade de retenção, controlando os fluxos de escoamento e agindo para a melhoria da retenção de nutrientes tanto para o solo, com a manutenção e incremento da zona de umidade, quanto para a floresta e sua biodiversidade.

Tabela 5 – Aplicação Cálculo Redução de Escoamento na Brasital

|                                        | Precipitação anual (mm)                  | 13390     | Redução de Escoamento       |                                               |                                                |
|----------------------------------------|------------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                        | Valoração por m³/ano                     | R\$ 2,89  |                             |                                               |                                                |
|                                        | Categoria                                | Área (m²) | Capacidade de recarga anual | Capacidade de recarga anual em m³ por área m² | Capacidade de recarga anual (m³) por área (m²) |
| <b>Superfície</b>                      | Telhados verdes extensos                 | 3260,00   | 6695                        | 66,95                                         | 109128,50                                      |
|                                        | Superfície impermeável (construções)     | 6520,00   | 87,5                        | 0,875                                         | 5705,00                                        |
|                                        | Paralelepípedos (superfícies permeáveis) | 21277,28  | 437,5                       | 4,375                                         | 93088,10                                       |
| <b>Corpos d'água</b>                   | Corpos d'água                            | 4267,90   | 525                         | 5,25                                          | 22406,48                                       |
|                                        | Superfície úmida/encosta                 | 2106,27   | 437,5                       | 4,375                                         | 9214,93                                        |
| <b>Vegetação</b>                       | Bosques e Taludes                        | 12814,20  | 525                         | 5,25                                          | 67274,55                                       |
|                                        | Area verde seca (trilha)                 | 4405,00   | 437,5                       | 4,375                                         | 19271,88                                       |
|                                        | Floresta                                 | 147911,00 | 525                         | 5,25                                          | 776532,75                                      |
| <b>Valoração Redução de Escoamento</b> |                                          |           |                             |                                               | <b>R\$ 3.182.167,62</b>                        |

Fonte: Autores (2022).

Para maximizar os benefícios desse SE, algumas ações dentro do contexto de revitalização do *brownfield* Brasital podem ser valorizadas com a implementação de medidas de:

- Regulação de enchentes: criação de parques alagáveis, estacionamentos e calçamentos permeáveis, além de telhados verdes;
- Reúso e gestão de água: para reaproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, como limpeza, descarga sanitária, irrigação e prevenção de incêndio;
- Tratamento do esgoto: atualmente o local não apresenta nenhum sistema de saneamento básico, todos os dejetos são lançados *in natura* no rio Araçaí que atravessa a área, será necessário conectar a área à rede pública de esgoto e/ou instalar sistemas individuais de tratamento de esgoto.

Apesar dos bons níveis de qualidade do ar, a vegetação contígua à área do *brownfield* é fundamental para a cidade. A capacidade de filtração e diluição da vegetação está diretamente associada à sua área de superfície, conforme apresentado na Tabela 6 os SE para cada uma das três SbN.

Tabela 6 – Aplicação do cálculo de capacidade de filtração e ventilação na Brasital

|                                                | Valoração por kg/ano                     | R\$ 399,60                               | Capacidade de Filtração e Ventilação |                                 |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|                                                | Categoria                                | Entrada de área (ha) ou número de árvore | Média de kg PM10 por ano por ha      | Média de kg PM10 por ano por ha |
| Superfície                                     | Telhados verdes extensos                 | 3,26                                     | 15                                   | 48,90                           |
|                                                | Superfície impermeável (construções)     | 6,52                                     | 0                                    | 0,00                            |
|                                                | Paralelepípedos (superfícies permeáveis) | 21,28                                    | 0                                    | 0,00                            |
| Corpos d'água                                  | Corpos d'água                            | 4,27                                     | 0                                    | 0,00                            |
|                                                | Superfície úmida/ encosta                | 2,11                                     | 30                                   | 63,19                           |
| Vegetação                                      | Bosques e Taludes                        | 12,81                                    | 27                                   | 345,98                          |
|                                                | Área verde seca (trilha)                 | 4,41                                     | 27                                   | 118,94                          |
|                                                | Floresta                                 | 147,91                                   | 66                                   | 9762,13                         |
| Valoração Capacidade de Filtração e Ventilação |                                          |                                          |                                      | R\$ 4.131.517,35                |

Fonte: Autores (2022).

Conforme a Tabela 7, utilizou-se a economia de energia para avaliar o SE de regulação climática, permitindo inferir uma relação de valor monetário com relação a redução da temperatura.

Tabela 7 – Aplicação do cálculo de regulação climática na Brasital

|                                                                     | Valoração por Mwh/ano                    | R\$ 410,64                                      | Regulação Climática                                  |                      |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|
|                                                                     | <b>Categoria</b>                         | <b>Entrada de área (ha) ou número de árvore</b> | <b>Ponderação qualitativa por tipo de superfície</b> | <b>Ponderação</b>    |
| <b>Superfície</b>                                                   | Telhados verdes extensos                 | 3,26                                            | 1                                                    | 3,26                 |
|                                                                     | Superfície impermeável (construções)     | 6,52                                            | 0                                                    | 0,00                 |
|                                                                     | Paralelepípedos (superfícies permeáveis) | 21,28                                           | 0,2                                                  | 4,26                 |
| <b>Corpos d'água</b>                                                | Corpos d'água                            | 4,27                                            | 0,6                                                  | 2,56                 |
|                                                                     | Superfície umida/encosta                 | 2,11                                            | 0,8                                                  | 1,69                 |
| <b>Vegetação</b>                                                    | Bosques e Taludes                        | 12,81                                           | 0,6                                                  | 7,69                 |
|                                                                     | Área verde seca (trilha)                 | 4,41                                            | 0,4                                                  | 1,76                 |
|                                                                     | Floresta                                 | 147,91                                          | 1                                                    | 147,91               |
| <b>Total ponderação</b>                                             |                                          |                                                 |                                                      | <b>169,12</b>        |
| <b>Ponto médio - Valoração Capacidade de Filtragem e Ventilação</b> |                                          |                                                 |                                                      | <b>R\$ 69.448,56</b> |

Fonte: Autores (2022).

O cálculo de sequestro de carbono utiliza as entradas da Tabela 8, que não consideram as áreas sem vegetação. O resultado representa o fator de sequestro de carbono ser mais acurado, e, portanto, sintetizar melhor as reais condições para captação do CO<sub>2</sub>. Para maximizar os benefícios dos SE de Regulação Climática, Capacidade de Filtragem e Ventilação e Sequestro de Carbono, algumas ações no contexto de revitalização do *brownfield* podem ser valorizadas como:

- Uso de energias sustentáveis: instalação de painéis fotovoltaicos nos telhados das principais edificações do complexo e ou outras áreas sem cobertura vegetal;
- Medidas de ventilação forçada: possível reativação do antigo “moinho” para ativar a ventilação forçada dos espaços contribuindo para a redução da temperatura dos espaços;
- Proteção das áreas verdes e cursos d'água: incentivo à educação ambiental;
- *Retrofit* nas instalações elétricas: melhorias das antigas instalações prediais, corrigindo problemas e tornando o local mais seguro e confortável para os usuários.

Tabela 8 – Aplicação do cálculo de sequestro de carbono – Baixa estimativa e alta estimativa na Brasital

|                      | Categoria                                                          | Entrada de área (ha) ou número de árvore | Baixa estimativa de absorção de KG CO <sub>2</sub> por ha | Sequestro de Carbono                                                 |                                                          | Conversão em euros com base na alta estimativa de €366 por tonelada |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                      |                                                                    |                                          |                                                           | Conversão em euros com base na baixa estimativa de €100 por tonelada | Alta estimativa de absorção de KG CO <sub>2</sub> por ha |                                                                     |
| <b>Superfície</b>    | Telhados verdes extensos                                           | 3,26                                     | 0,5                                                       | 1,63                                                                 | 4                                                        | 13,04                                                               |
|                      | Superfície impermeável (construções)                               | 6,52                                     | 0                                                         | 0,00                                                                 | 0                                                        | 0,00                                                                |
|                      | Paralelepípedos (superfícies permeáveis)                           | 21,28                                    | 0                                                         | 0,00                                                                 | 0                                                        | 0,00                                                                |
| <b>Corpos d'água</b> | Corpos d'água                                                      | 4,27                                     | 0                                                         | 0,00                                                                 | 0                                                        | 0,00                                                                |
|                      | Superfície úmida/encosta                                           | 2,11                                     | 0,25                                                      | 0,53                                                                 | 2                                                        | 6,52                                                                |
| <b>Vegetação</b>     | Bosques e Taludes                                                  | 12,81                                    | 0,4                                                       | 5,13                                                                 | 0,4                                                      | 1,30                                                                |
|                      | Área verde seca (trilha)                                           | 4,41                                     | 7,9                                                       | 34,80                                                                | 11,8                                                     | 38,47                                                               |
|                      | Floresta                                                           | 147,91                                   | 7,4                                                       | 1094,54                                                              | 10,8                                                     | 35,21                                                               |
|                      |                                                                    | Estimativa                               |                                                           | € 113.662,31                                                         |                                                          | <b>€ 34.601,64</b>                                                  |
|                      | <b>Valoração Sequestro de Carbono (Ponto médio) € 74.131,98</b>    |                                          |                                                           |                                                                      |                                                          |                                                                     |
|                      | <b>Valoração Sequestro de Carbono (Ponto médio) R\$ 395.123,44</b> |                                          |                                                           |                                                                      |                                                          |                                                                     |

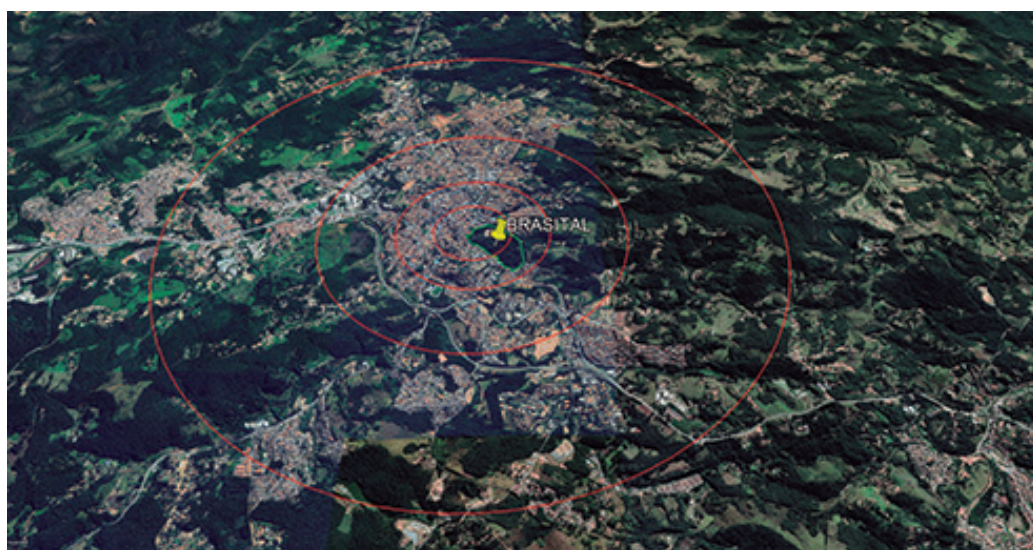
Fonte: Autores (2022).

O SE apresentado na Tabela 9 foi calculado a partir dos *buffers* apresentados na Figura 3 e descritos na Tabela 2. Assim, somam-se aos SE que visam ações para preservação do meio ambiente, às iniciativas para atração e de utilização dos espaços revitalizados. Esse SE visa integrar a vizinhança ao qual pertencem para inclusive incentivarem a manutenção dos demais SE, também de elevada importância para a sociedade.

Tabela 9 – Aplicação do cálculo recreação na Brasital

| Valoração por visita/ano                      | R\$ 24,98 | Recreação (Lazer)        |             |              |              |
|-----------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Distância da Entrada</b>                   |           | <b>400m</b>              | <b>800m</b> | <b>1600m</b> | <b>3200m</b> |
| Residentes                                    |           | 3805                     | 5750        | 11102        | 22908        |
| Distância Média                               |           | 150,00                   | 400,00      | 1400,00      | 2500,00      |
| Fator de ponderação da distância              |           | 1,33                     | 0,50        | 0,14         | 0,08         |
| Fator de ponderação da distância * 50 visitas |           | 253666,67                | 143750,00   | 79300,00     | 91632,00     |
| <b>Total de visitantes</b>                    |           | <b>R\$ 568348,67</b>     |             |              |              |
| <b>Valoração Lazer (Cultural)</b>             |           | <b>R\$ 14.194.507,95</b> |             |              |              |

Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

Figura 3 – Buffers utilizados para quantificar os SE de recreação na Brasital.

Para maximizar os benefícios da recreação poderiam ser adotadas medidas de fomento à cultura, à mobilidade, ao esporte e ao lazer incentivando ações de ecoturismo e de atividades ao ar livre, privilegiando o contato com o complexo natural contíguo ao *brownfield* Brasital.

## Discussão

A Tabela 10 sintetiza a análise, por área de oferta e por valor monetário, dos cinco SE oferecidos pelas três tipologias na revitalização do *brownfield* Brasital.

Tabela 10 – Quantificação dos SE nos SbN no *brownfield* Brasital

| Serviço Ecosistêmico                        |                              | Soluções baseadas na Natureza (SbN) |                       |                         | Total de oferta SE/ano   |
|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
|                                             |                              | Superfícies de Infiltração          | Corpos d'água         | Vegetação               |                          |
| <b>Redução de Escoamento</b>                | m³                           | 20.7921,60                          | 3.1621,41             | 86.3079,18              | 1.102.622,18             |
| <b>Capacidade de Filtragem e Ventilação</b> | kg de PM10                   | 48,90                               | 63,19                 | 10.227,04               | 10.339,13                |
| <b>Regulação Climática</b>                  | -                            | 7,52                                | 4,25                  | 157,36                  | 169,12                   |
| <b>Sequestro de Carbono</b>                 | toneladas de CO <sub>2</sub> | 14,67                               | 7,05                  | 1.209,45                | 1.231,16                 |
| <b>Recreação</b>                            | visitantes                   |                                     |                       |                         | 43.565                   |
| <b>Redução de Escoamento</b>                |                              | R\$ 600.061,74                      | R\$ 91.259,38         | R\$ 2.490.846,50        | R\$ 3.182.167,62         |
| <b>Capacidade de Filtragem e Ventilação</b> |                              | R\$ 19.540,44                       | R\$ 25.249,96         | R\$ 4.086.726,94        | R\$ 4.131.517,35         |
| <b>Regulação Climática</b>                  |                              | R\$ 3.086,15                        | R\$ 1.743,48          | R\$ 64.618,93           | R\$ 69.448,56            |
| <b>Sequestro de Carbono</b>                 |                              | R\$ 13.153,48                       | R\$ 6.499,87          | R\$ 375.470,09          | R\$ 395.123,44           |
| <b>Recreação</b>                            |                              |                                     |                       |                         | R\$ 14.194.507,95        |
| <b>Total</b>                                |                              | <b>R\$ 635.841,81</b>               | <b>R\$ 124.752,69</b> | <b>R\$ 7.017.662,46</b> | <b>R\$ 21.972.764,91</b> |

Fonte: Autores (2022).

Conforme Tabela 10, a etapa de valoração monetária permite avaliar a magnitude dos benefícios para os cinco SE ofertados pelas 3 SbN. A SbN de vegetação tem a infraestrutura com maior área e possibilita auferir maiores ganhos monetários em relação aos outros SbN de infiltração e corpos d'água pelos SE prestados. A ampla gama de SE ofertados por SbN relacionados em áreas verdes foram também discutidos por Gaudereto et al. (2019), Martins et al. (2020), Nascimento et al. (2022), Petroni et al. (2022) que revelaram esse potencial mesmo para diferentes tipos e extensões de áreas verdes. Da mesma forma, as SbN associadas a cursos d'água como discutido por Rolo et al. (2021) e Flausino e Gallardo (2021).

Não obstante o papel da vegetação para a oferta dos SE, como discutido por Manes et al. (2016) na melhoria da qualidade do ar promovida por florestas, os telhados verdes não devem ser desprezados. Essa SbN atua na redução de escoamento e no controle de temperatura de edifícios, colaborando para atenuar os efeitos das mudanças climáticas, como discutido por Venter et al. (2021). Esse SE pode reduzir os custos da energia (entre 14% e 23%) e mitigar os efeitos das ilhas de calor, como verificado por Peng e Jim (2015).

Os SE de recreação representam 65% do total do valor monetário de todos SE, sem considerar o potencial turístico do município. Esses resultados denotam a importância desses SE para a população local em ambientes revitalizados (Flausino; Gallardo, 2021) e seu potencial para influenciar o comportamento da população, o engajamento da comunidade e o próprio planejamento urbano, inclusive, ajudando a manter a oferta dos demais tipos de SE, como enfatizado por Plieninger et al. (2015).

Os SE de redução de escoamento são muito representativos na área, porém como alertado por Yang et al. (2015) frequentemente são ignorados pelas autoridades municipais, mas devem ser priorizados pelos amplos benefícios que agregam. Rolo et al. (2021) identificaram que os benefícios provenientes da regulação do escoamento superficial estão entre os mais bem percebidos por população residente próxima a área revitalizada.

Os SE de regulação, como a capacidade de filtragem e ventilação e de regulação climática, segundo Sutherland et al. (2018), são geralmente subestimados uma vez que sua complexidade pode obscurecer seus benefícios. Porém, devem ser valorizados no planejamento urbano pois além dos próprios benefícios gerados, uma gestão inadequada desses SE podem colocar em riscos a qualidade de vida e afetar a oferta dos outros SE (Cortinovis; Geneletti, 2019). Assim, não obstante os valores mensurados de SE possam ser baixos como o de regulação climática ou menores como os de capacidade de filtragem e ventilação, devem ser priorizados em projetos de revitalização.

Os SE de sequestro de carbono, além dos benefícios para mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Nadruz et al., 2018), podem permitir a proposição de esquemas de pagamento por serviços ambientais, auferindo outros incentivos econômicos que podem ser revertidos na própria área (Souza et al., 2018).

O projeto de revitalização do *brownfield* Brasital ratifica os benefícios de infraestrutura verde em comparação ao uso da infraestrutura cinza, como discutido por Monteiro et al. (2022). A proposta de ampliar a demanda de SbN denota o potencial que *brownfields* ensejam para além dos equipamentos físicos que abrigaram, em termos de benefícios diversificados para a qualidade de vida e bem-estar da população como comprovado por Pueffel et al. (2018), Cortinovis e Geneletti (2018) e Qicheng et al. (2020). Assim, os resultados deste trabalho reforçam que as premissas adotadas por Valck et al. (2019) podem ser aplicadas em outros contextos, reafirmando que a tomada de decisão para revitalização de *brownfields* deve considerar as amplas funcionalidades e potencialidades que essas áreas proporcionam (Mathey et al., 2015; Hammond et al., 2021), sendo os SE uma *proxy* ideal para mensurar os benefícios ofertados por SbN (Almenar et al., 2021).

Espera-se que esse estudo possa contribuir com evidências para apoio de iniciativas que priorizem SbN em revitalização de *brownfields* e no planejamento urbano. Porém, devem-se destacar algumas limitações encontradas no desen-

volvimento desse trabalho, bem como oportunidades de melhoria do projeto. Primeiramente, os cálculos são altamente dependentes dos valores por unidade da SE retirados do método utilizado em Valck et al. (2019); futura coleta de dados primários, levantamento de fatores de ponderação regionalizados e médias com intervalos mais personalizados podem enriquecer pesquisas futuras. Em segundo lugar, a diferença do método de cálculo para recreação em relação aos outros quatro indicadores também podem ter influenciado o resultado. Nas estimativas de recreação relacionadas às visitas são consideradas apenas os moradores locais, não o potencial turístico da cidade de São Roque. Em terceiro, nas estimativas de potencial de regulação do clima local a metodologia que alcançou os resultados não levou em consideração o tamanho da copa das árvores. Assim, considerar os diferentes estágios de crescimento da árvore, tomando o valor do ponto médio por hectare por ano usando valores de economia de energia, como recomendado por Wang et al. (2014), pode melhorar esses resultados em estudos futuros.

### **Conclusões**

O projeto de revitalização do *brownfield* Brasital permite oferecer cinco SE que podem agregar valor à qualidade de vida da população de São Roque:

- a redução de escoamento poderá contribuir para melhorar o sistema de drenagem da cidade, ajudando a retardar enchentes e eventuais inundações, permitir possíveis captações das águas para reuso e conservar a qualidade do rio que cruza todo o complexo pela redução do escoamento superficial de cargas difusas;
- a capacidade de filtragem e ventilação de ar poderá contribuir para reduzir custos gerados com a saúde através de doenças respiratórias e cardiorrespiratórias;
- a regulação climática poderá contribuir para mitigar os efeitos das ilhas de calor nas áreas urbanizadas, além da economia de energia elétrica gerada pelo conforto térmico proporcionado;
- o sequestro de carbono, além de contribuir localmente para atenuar os efeitos das mudanças climáticas, pode incentivar a implantação de um projeto para compras de crédito de carbono dentro de mecanismos de desenvolvimento limpo;
- a recreação, embora seja o SE estimado como o de maior valor econômico para área, não necessariamente representa o mais importante, inclusive pelas diversas dificuldades para manter a oferta desse SE que depende da própria sociedade e da gestão do poder público em tais áreas; ao mesmo tempo pode ser uma força motriz para atrair investidores como um atrativo para os turistas na cidade de São Roque, no tocante ao fomento de cultura, lazer ao ar livre dentre outros benefícios.

Os resultados desse estudo demonstram que o relevante papel que as SbN desempenham para auferir importantes benefícios para a sociedade que podem

ser medidos pelos SE. Reforçam que SbN relacionadas à criação ou manutenção de superfícies de infiltração, corpos d'água e vegetação cumprem não apenas um papel relevante em projetos paisagísticos, mas geram benefícios que podem ser precificados.

A valoração monetária desses SE permite em projetos de revitalização de *brownfields* reforçar as economias que poderão ser geradas pela adoção de SbN e servir como um atrativo para captar recursos para essa finalidade, atraindo investidores e o potencial apoio da população local.

O projeto de revitalização do *brownfield* Brasital busca desenvolver espaços inclusivos para usos acessíveis, sustentáveis e tecnológicos, objetivos acordados na Agenda 2030, contribuindo para promover acesso a infraestrutura e outros serviços urbanos no município de São Roque, e contribuir com benefícios ao meio ambiente que são revertidos para a sociedade. Os benefícios associados pelas SbN e mensurados pelos SE, avaliados monetariamente, não representam exclusivamente um mecanismo para precificar a natureza, mas sim para reforçar que esses elementos são necessários e devem ser adotados como diretrizes em projetos de engenharia, no caso de revitalização de *brownfields*.

Apesar das aproximações adotadas para adaptar um método empregado em uma cidade europeia, e as limitações encontradas com referência aos valores de ponderação, não considerando-se o fato de que o *brownfield* Brasital está localizado em cidade turística, a abordagem é simples em termos de aplicação e eficaz em demonstrar os muitos benefícios do uso de SbN. Assim, os valores aqui calculados são indicativos e podem ser refinados com estudos futuros que superem as limitações dessa aplicação. Porém, o mérito dos resultados está em demonstrar que benefícios são tangíveis e que economias são geradas no uso de SbN em projetos de revitalização de *brownfields*.

Recomendam-se, assim, a adoção de SbN e a avaliação dos seus benefícios, por meio de SE, no planejamento urbano e proposição de soluções a de problemas urbanos e implementação de projetos, atuando como facilitadores, evidenciando, quando valorados, as economias geradas.

## Referências

AHMAD, N. et al. Development of a standard brownfield definition, guidelines, and evaluation index system for brownfield redevelopment in developing countries: The case of Pakistan. *Sustainability*, v.10, n.12, p.4347, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10124347>.

ALMENAR, J. B. et al. Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land use policy*, v.100, 104898, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104898>.

BANDEIRAS TARIFÁRIAS. (2022). Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/bandeiras-tarifarias>>.

BORGES, A. L. M.; FERREIRA, L. D. O.; NÓBREGA, W. R. Políticas públicas de revitalização urbana: uma abordagem no turismo e lazer das cidades de Natal/RN e Recife/PE, *Novos Cadernos NAEA*, v.22, n.3, p.1-26, 2019.

COHEN-SCHACHAM, E. et al. Nature-based solutions: from theory to practice. IUCN (Ed.). *Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges*. 2016.

CORTINOVIS, C.; GENELETTI, D. Mapping and assessing ecosystem services to support urban planning: A case study on brownfield regeneration in Trento, Italy. *One Ecosystem*, v.3, e25477, 2018. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25477>.

\_\_\_\_\_. A framework to explore the effects of urban planning decisions on regulating ecosystem services in cities. *Ecosystem Services*, v.38, 100946, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100946>.

DEZEN KEMPTER, E. *O lugar do patrimônio industrial*. Campinas: UEC, 2011. <https://doi.org/10.20396/lobore.v5i1.111>.

FLAUSINO, F. R.; GALLARDO, A. L. C. F. Oferta de serviços ecossistêmicos culturais na despoluição de rios urbanos em São Paulo. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.13, p.1-17, 2021. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200155>.

GAUDERETO, G. L. et al. Evaluation of ecosystem services and management of urban green areas: promoting, healthy and sustainable cities. *Ambiente e Sociedade*, v.21, p.1-20, 2019. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0120r3vu18L4TD>.

HAMMOND, E. B. et al. A critical review of decision support systems for brownfield redevelopment. *Science of the Total Environment*, v.785, 147132, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147132>.

KAAM, E. N.; SILVA, S. C.; GALLARDO, A. L. C. F. *Estação agroecológica de São Roque (SP): a transformação de um espaço verde subutilizado em um espaço multidimensional*. São Paulo: XXIII Engema, 2021. v.1. p.1-10.

KABISCH, N. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, v.21, n.2, p.39-54, 2016. <https://www.jstor.org/stable/26270403>.

LEHIGH, G.; WELLS, E. C.; DIAZ, D. Evidence-Informed strategies for promoting equitability in brownfields redevelopment. *Journal of Environmental Management*, v.261, 110150, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110150>.

MANES, F. et al. Regulating ecosystem services of forests in ten Italian metropolitan cities: air quality improvement by PM10 and O3 removal. *Ecological indicators*, v.67, p.425-40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.009>.

MARKER, A. Manual: revitalização de áreas degradadas e contaminadas (*brownfields*) na América Latina. São Paulo: Urball, 2013. Disponível em: <[https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual\\_INT\\_Portugues\\_Final.pdf](https://e-lib.iclei.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual_INT_Portugues_Final.pdf)>.

MARTINS, G. N.; NASCIMENTO, A. P. B.; GALLARDO, A. L. C. F. Qualidade de praças e parques urbanos: pela percepção da população: potencial de oferta de serviços ecossistêmicos. *Revista Projetar: projeto e percepção do ambiente*, v.5, p.34-47, 2020. <https://doi.org/10.21680/2448-296X.2020v5n3ID20123>.

MATHEY, J. et al. Brownfields as an element of green infrastructure for implementing

- ecosystem services into urban areas. *Journal of Urban Planning and Development*, v.141, n.3, A4015001, 2015.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESMENT (MEA). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington: MEA. 2005. Disponível em: <<http://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/143/1/Millennium%20Ecosystem%20Assessment.%20ECOSYSTEMS%20AND%20HUMAN%20WELL-BEING%20WETLANDS%20AND%20WATER%20Synthesi.pdf>>.
- MONTEIRO, G. F. et al. Infraestrutura Verde Urbana e o Potencial de Oferta de Serviços Ecossistêmicos para Adaptação Climática: Análise do Uso do Solo do Bairro Pinheiros (São Paulo). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 2022. (no prelo)
- MUÑOZ, A. M. M.; DE FREITAS, S. R. Importância dos Serviços Ecossistêmicos nas Cidades: Revisão das Publicações de 2003 a 2015. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v.6, n.2, p.89-104, 2017. <https://doi.org/10.5585/geas.v6i2.853>.
- NADRUZ, V. N. et al. Identifying the missing link between climate change policies and sectoral/regional planning supported by Strategic Environmental Assessment in emergent economies: lessons from Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.88, p.46-53, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.006>
- NASCIMENTO, A. P. B. et al. Ecosystem services in urban green areas: contributions to the United Nations 2030 Agenda. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v.10, p.108-20, 2022. <https://doi.org/10.17271/23188472107720223235>.
- NASCIMENTO MACEDO, B.; COMAS, F. N.; GALLARDO, A. L. C. F. Serviços e desserviços ambientais associados à agricultura urbana e periurbana no município de São Paulo. *Journal of Urban Technology and Sustainability*, v.4, n.1, e35-e35, 2021. <https://doi.org/10.47842/juts.v4i1.35>.
- NATURE VALUE EXPLORER. (2022) Explore the socio-economic value of nature yourself. 2022. Disponível em: <<https://www.natuurwaardeverkenner.be/>>.
- OLIVEIRA, L. Y. Q. D.; CASTILHO, M. A. D. O plano de revitalização urbana da área central de Campo Grande, MS. *Revista Interações*, v.23, p.133-48, 2022.
- PENG, L. L. H.; JIM, C. Y. Economic evaluation of green-roof environmental benefits in the context of climate change: the case of Hong Kong. *Urban Forest & Urban Greening*, v.14, n.3, p.554-61, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.006>
- PETRONI, M. L.; GALLARDO, A. L. C. F. Serviços ecossistêmicos no planejamento urbano: contribuições da literatura para indicadores de cidades resilientes. *Engenharia Urbana em Debate*, v. 1, p. 27-47, 2020. <https://www.engurbdebate.ufscar.br/index.php/engurbdebate/issue/view/3>.
- PETRONI, M. L.; SIQUEIRA-GAY, J.; GALLARDO, A. L. C. F. Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. *Landscape and Urban Planning*, v.223, 104404, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104404>.
- PLIENINGER, T. et al. The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.14, p.28-33, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.006>
- PORTO, M. A.; CASTRO, M. A. Proposta de metodologia para desenvolvimento de brownfields revitalizados. (n.61) Latin American Real Estate Society (LARES), 2018.

Disponível em: <[https://ideas.repec.org/p/lre/wpaper/lares\\_2018\\_paper\\_61-porto-castro.html](https://ideas.repec.org/p/lre/wpaper/lares_2018_paper_61-porto-castro.html)>.

PUEFFEL, C.; CHAASE, D.; PRIES, J. A. Mapping ecosystem services on brownfields in Leipzig, Germany. *Ecosystem Services*, v.30, p.73-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.011>

QICHENG, Z. et al. A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services of brownfield greening from a systematic perspective. *Ecosystem Health and Sustainability*, v.6, n.1, 1743206, 2020. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1743206>

ROLO, D. A. O. M. et al. Adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas para promover cidades resilientes e sustentáveis: desafios e oportunidades na revitalização de rios urbanos Adaptação baseada em ecossistemas para promover cidades resilientes e sustentáveis: análise de programas de revitalização de rios urbanos de São Paulo. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.15, p.220-35, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01471-0>

ROLO, D. A. O. M. et al. Local society perception on ecosystem services as an adaptation strategy in urban stream recovery programs in the city of São Paulo, Brazil. *Environmental Management*, v.67, p.1-15, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01471-0>

SESSA, M. R.; RUSSO, A.; SICA, F. Opinion paper on green deal for the urban regeneration of industrial brownfield land in Europe. *Land Use Policy*, v.119, 106198, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106198>.

SIMS, N. C. et al. Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals. *Environmental Science & Policy*, v.92, p.349-55, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.014>.

SIQUEIRA-GAY, J.; GALLARDO, A. L. F. F.; GIANNOTTI, M. Integrating socio-environmental spatial information to support housing plans. *Cities*, v.91, p.106-15, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.11.010>.

SONG, G. et al. Nature based solutions for contaminated land remediation and brownfield redevelopment in cities: a review. *SCI Total Environ.*, v.663, n.1, p.568-79, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30726765/>.

SOUZA, V. V. da C. et al. Pagamento por serviços ambientais de recursos hídricos em áreas urbanas: perspectivas potenciais a partir de um programa de recuperação da qualidade de água na cidade de São Paulo. *Cad. Metrop.*, v.20, n.42, p.493-512, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2018-4209>.

SUTHERLAND, I. J. et al. Undervalued and under pressure: A plea for greater attention toward regulating ecosystem services. *Ecological Indicators*, v.94, p.23-32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.047>.

VALCK, J. et al. Valuing urban ecosystem services in sustainable brownfield redevelopment. *Ecosystem Services*, v.35, p.139-49, 2019. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/ecoser/v35y2019icp139-149.html>>.

VASQUES, A. R.; MENDES, A. A. Redesenvolvimento de brownfields: estudos de casos, desafios e perspectivas. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL – Desenvolvimento Local na Integração: Estratégias, Instituições e Políticas. Rio Claro, *Anais...*, 2004. p.19-21. Rio Claro: Unesp.

VENTER, Z. S. et al. Interactive spatial planning of urban green infrastructure–Retro-

fitting green roofs where ecosystem services are most needed in Oslo. *Ecosystem Services*, v.50, 101314, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101314>

WANG, Y. et al. Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: a literature review. *Build. Environ.*, v.77, p.88-100, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.021>.

YANG, L. et al. Water-related ecosystem services provided by urban green space: A case study in Yixing City (China). *Landscape and Urban Planning*, v.136, p.40-51, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.016>

ZHONG, Q. et al. A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services of brownfield greening from a systematic perspective. *Ecosystem Health and Sustainability*, v.6, n.1, 1743206, 2020. <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1743206>.

**RESUMO** – As Soluções baseadas na Natureza (SbN) representam abordagens sistêmicas para enfrentamento de problemas urbanos contribuindo para a promoção da sustentabilidade em cidades. As SbN têm contribuído para atenuar os efeitos das mudanças climáticas, de inundações, de ilhas de calor e responde por efeitos positivos na melhoria da saúde e qualidade de vida. Os *brownfields* são áreas urbanas subutilizadas e degradadas cuja revitalização permite agregar benefícios à população. Assim, este artigo apresenta uma abordagem inédita no contexto nacional ao discutir a integração de SbN em um projeto de revitalização do *brownfield*. Adotou-se como abordagem metodológica a valoração monetária de cinco serviços ecossistêmicos – regulação climática, redução de escoamento, filtragem e ventilação do ar, sequestro de carbono e recreação – oferecidos pela integração de três diferentes SbN (superfícies de infiltração, corpos d’água e vegetação). O uso das SbN pode resultar em benefícios à sociedade que precificados estão na ordem de R\$ 22 milhões por ano. Esses resultados revelam novos paradigmas a serem considerados em projetos de revitalização de áreas degradadas em ambientes urbanos, representando grande potencial de aplicação em políticas públicas urbanas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Serviços ecossistêmicos, *Brownfield*, Revitalização de áreas degradadas, Valoração ambiental, Soluções baseadas na Natureza.

**ABSTRACT:** Nature-Based Solutions (NbS) represent systemic approaches also facing urban problems and promoting sustainability in cities. At the same time, NbS have contributed to mitigating the effects of climate change, floods, heat islands and have accounted for positive effects in improving health and quality of life. Brownfields are underutilized and degraded urban areas whose revitalization allows adding benefits to the population. Thus, this paper presents an unprecedented approach in the Brazilian context exploring the integration of NbS in a brownfield revitalization project. As a methodological approach, the monetary valuation of five ecosystem services - climate regulation, runoff reduction, air filtration and ventilation, carbon sequestration, and recreation - offered by the integration of three different NbS (infiltration surfaces, water bodies, and vegetation). The use of NbS can result in benefits to society that are priced at around R\$ 22 million per year. These results reveal new paradigms to be considered degraded areas revitalization projects in urban environments and represent great potential for application in urban public policies.

**KEYWORDS:** Ecosystem Services. *Brownfield*. Degraded Areas Revitalization. Environmental valuation, Nature-based Solutions.

*Evandro Nogueira Kaam* é professor da Engenharia Civil da Universidade Nove de Julho (Uninove). Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis pela Uninove.  
@ – eng.kaam@hotmail.com / <https://orcid.org/0009-0003-4584-7176>.

*Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo* é professora Associada do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho (Uninove). @ – amarilisgallardo@usp.br / <https://orcid.org/0000-0002-5169-997X>.

Recebido em 18.1.2023 e aceito em 6.6.2023.

<sup>I</sup> Universidade Nove de Julho, Faculdade de Engenharia Civil, São Paulo, São Paulo, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, São Paulo, Brasil.