GESTÃO INTEGRADA DE DRENAGEM URBANA E NEUTRALIDADE HIDROLÓGICA EM ÁREAS DE EXPANSÃO IMOBILIÁRIA EM BARRA DOS COQUEIROS

Jully Anne Santos Sizino Franco[1]; Karla Fabiany Santana Passos[2]; Vania Elisabete Schneider[3]; Ludmilson Abrita Mendes[4]; Alcigeimes Batista Celeste [5]

RESUMO – A expansão urbana acelerada em áreas costeiras tem intensificado os desafios relacionados à drenagem urbana e à preservação do equilíbrio hidrológico. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo propor uma abordagem integrada para a gestão das águas pluviais em um loteamento no município de Barra dos Coqueiros, Sergipe, articulando planejamento territorial, infraestrutura verde e neutralidade hidrológica. A pesquisa, de caráter exploratório, foi estruturada em quatro etapas: diagnóstico territorial, análise institucional e normativa, avaliação conceitual de técnicas compensatórias e elaboração de um framework de gestão. Os resultados evidenciaram que, embora a legislação exija soluções de drenagem para novos empreendimentos, a ausência de diretrizes técnicas locais, de parâmetros hidrológicos atualizados e de metodologias específicas favorece a adoção de sistemas convencionais de microdrenagem. Como alternativa, destacaram-se soluções descentralizadas, como telhados verdes, cisternas, bacias de retenção e de detenção e wetlands construídos, capazes de contribuir para o amortecimento dos impactos hidrológicos decorrentes da urbanização. Conclui-se que a integração entre planejamento urbano, licenciamento ambiental e drenagem sustentável representa um caminho promissor para fortalecer a resiliência hídrica e reduzir os impactos da expansão imobiliária em cidades costeiras brasileiras.

ABSTRACT– Accelerated urban expansion in coastal areas has intensified the challenges related to urban drainage and the preservation of water balance. In this context, this study proposes an integrated approach to stormwater management for a residential subdivision in the municipality of Barra dos Coqueiros, Sergipe, that articulates territorial planning, green infrastructure, and hydrological neutrality. The exploratory research was structured in four stages: territorial diagnosis, institutional and regulatory analysis, conceptual assessment of compensatory techniques, and the

[1]) Afiliação: Graduanda do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondom, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE, Telefone: (79) 98836-6545, E-mail: jullyannessf@academico.ufs.br.

[2]) Afiliação: Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondom, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE, Telefone: (79) 99911-9898, E-mail: karla.engseg@gmeail.com.

[3]) Afiliação: Professora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos", Av. Marechal Rondom, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE, Telefone: (54) 98166-0614, veschnei@ucs.br.

[4]) Afiliação: Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondom, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE, Telefone: (79) 99191-0409, E-mail: lamendes@academico.ufs.br.

[5]) Afiliação: Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondom, s/n, Jardim Rosa Elze 49.100-000 / São Cristóvão-SE, Telefone: (79) 98807-4725, E-mail: geimes@yahoo.com.

development of a management framework. The results showed that, although legislation requires drainage solutions for new developers, the absence of local technical guidelines, updated hydrological parameters, and specific methodologies favors the adoption of conventional grey drainage systems. As an alternative, decentralization solutions such as green roofs, rainwater-harvesting cisterns, retention and detention basins, and constructed wetlands can help mitigate the hydrological impacts of urbanization. It is concluded that integrating urban planning, environmental licensing, and sustainable change represents a promising pathway to promote water resilience and reduce the impacts of real estate expansion in Brazilian coastal cities.

Palavras-Chave – Técnicas Compensatórias; Diagnóstico Territorial; Framework.

1 – INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades brasileiras tem intensificado os problemas associados à drenagem urbana, especialmente em áreas costeiras e de expansão imobiliária. Nesses espaços, a impermeabilização do solo ocorre de forma mais intensa e, muitas vezes, desvinculada do planejamento hidrológico das bacias urbanas. A substituição de superfícies naturais por áreas pavimentadas altera significativamente os processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, aumentando a frequência de alagamentos, de processos erosivos e a sobrecarga dos sistemas convencionais de drenagem (Fletcher et al., 2021; Alves et al., 2022). Nesse contexto, abordagens baseadas em Low Impact Development (LID) e em infraestrutura verde vêm sendo reconhecidas internacionalmente como estratégias fundamentais para promover a neutralidade hidrológica e aumentar a resiliência urbana frente às mudanças climáticas e à expansão urbana desordenada (Eckart et al., 2020; Ahiablame et al., 2023).

No Brasil, embora avanços normativos relacionados ao saneamento e ao planejamento urbano tenham ocorrido nas últimas décadas, ainda persistem lacunas significativas na integração entre a gestão territorial, a drenagem urbana e o licenciamento de novos empreendimentos imobiliários. Muitos municípios continuam adotando modelos centrados em infraestrutura cinza, com baixa exigência de medidas compensatórias voltadas à retenção e infiltração das águas pluviais na fonte geradora do impacto (Silva et al., 2021; Tucci & Bertoni, 2022). Isso é ainda mais evidente em municípios litorâneos em processo acelerado de urbanização, como Barra dos Coqueiros - Sergipe, onde a pressão imobiliária associada à valorização costeira promove mudanças expressivas no uso e na ocupação do solo, aumentando a vulnerabilidade hidrológica das bacias urbanas e comprometendo a sustentabilidade ambiental dos empreendimentos.

Diante desse cenário, técnicas compensatórias como pavimentos permeáveis, jardins de chuva, bacias de retenção, trincheiras de infiltração e telhados verdes têm sido amplamente discutidas como alternativas capazes de reduzir picos de vazão, aumentar a infiltração e melhorar a

qualidade ambiental urbana (Shafique et al., 2021; Jia et al., 2022). Além dos benefícios hidrológicos, essas soluções têm potencial para a valorização imobiliária, a melhoria do microclima e a redução dos custos associados a danos causados por enchentes urbanas, consolidando-se como ferramentas estratégicas para o planejamento urbano sustentável (Zhou et al., 2023). Entretanto, sua implementação no contexto brasileiro ainda enfrenta entraves técnicos, institucionais e econômicos, especialmente decorrentes da ausência de diretrizes municipais claras que integrem o impacto hidrológico ao processo de licenciamento urbano.

Sob essa perspetiva, o conceito de neutralidade hidrológica, busca manter condições próximas ao estado pré-urbanização, especialmente quanto à vazão de pico, ao volume de escoamento superficial, à infiltração da água no solo e ao tempo de concentração das águas pluviais (Tucci, 2016; Fletcher et al., 2015; Jato-Espino et al., 2022).

Nesse contexto, o estudo adota uma abordagem híbrida aplicada a um loteamento em Barra dos Coqueiros, combinando análise conceitual, avaliação espacial e discussão de cenários de drenagem urbana sustentável, além de propor um framework de gestão integrada que articule o planejamento territorial, a infraestrutura verde e a responsabilidade hidrológica dos empreendimentos imobiliários. Busca-se, assim, subsidiar políticas públicas urbanas mais resilientes e alinhadas aos princípios do urbanismo sustentável.

2 – METODOLOGIA

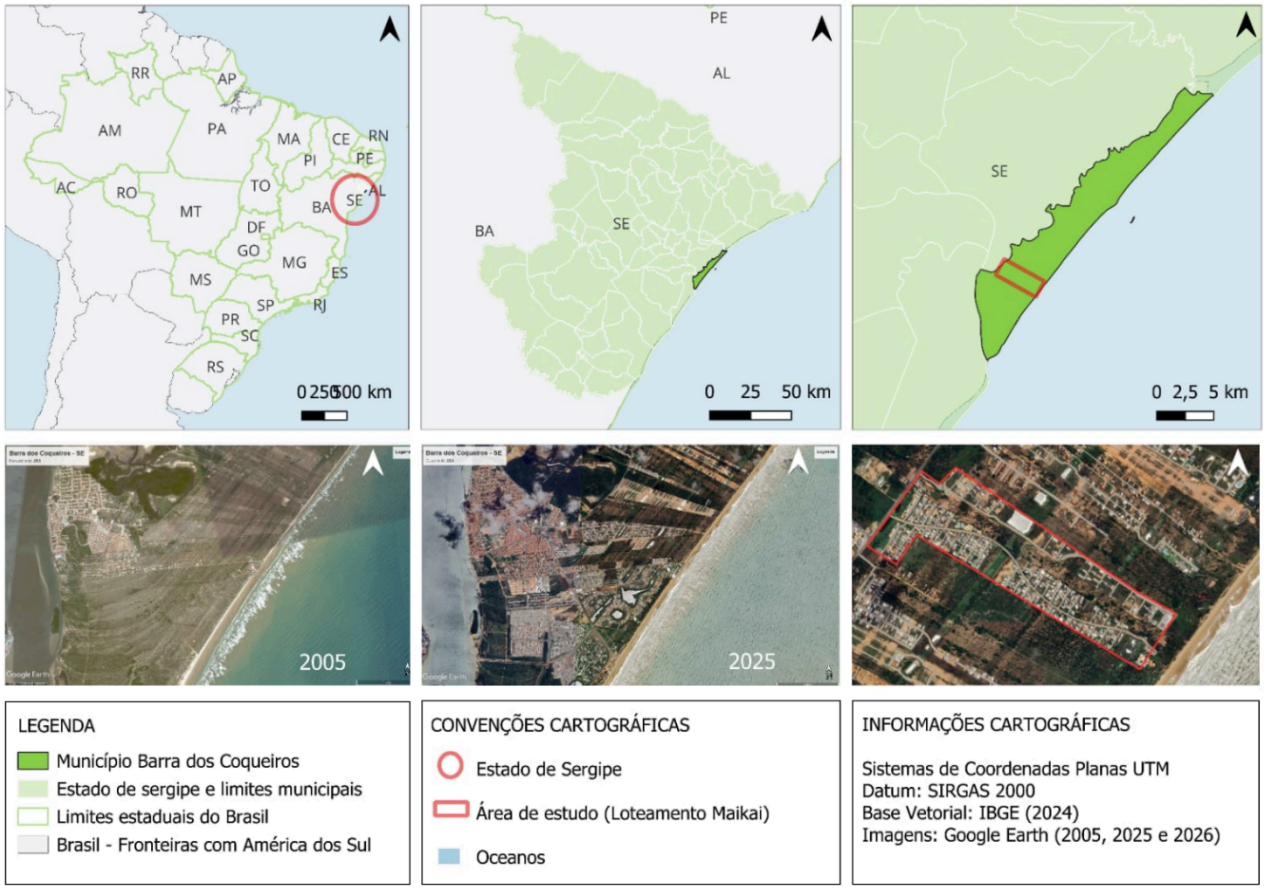
O estudo foi desenvolvido no município de Barra dos Coqueiros, localizado na Região Metropolitana de Aracaju, no litoral do estado de Sergipe, que vem passando por um processo acelerado de expansão urbana nas últimas décadas, impulsionado principalmente pela valorização imobiliária, pelo crescimento populacional, pela implantação de novos loteamentos residenciais e pela expansão de empreendimentos turísticos associados à dinâmica metropolitana da capital sergipana (IBGE, 2022; SEMARH, 2023).

A área selecionada foi um loteamento urbano em processo de consolidação, caracterizado pela substituição progressiva de superfícies naturais por áreas impermeabilizadas, incluindo pavimentação viária, edificações e infraestrutura urbana (Figura 1). Trata-se de um loteamento fechado de categoria média a alta, localizado no Bairro Capuã, enquadrado na Zona de Adensamento Restrito (ZAR) ocupando uma área total de 405.149,17 m² e composto por 365 lotes residenciais unifamiliares (218.444,98 m², ou 53,91% da área), um setor periférico dedicado ao comércio e serviços, com capacidade para até 15 estabelecimentos, além de três áreas planejadas

para lazer, esportes e um clube de praia. O projeto visa acomodar uma população máxima estimada de 2.555 pessoas e apresenta forte orientação em relação à sustentabilidade ambiental, reservando 24,36% de sua área total para espaços verdes (98.641,36 m²) e preservando 34.512,76 m² (8,52%) de lagoas intermitentes que atravessam o terreno (CONSENTRE, 2010).

A escolha da área de estudo foi norteada pelos seguintes critérios: i) intensidade recente de ocupação urbana; ii) proximidade com zonas suscetíveis a alagamentos; iii) disponibilidade de dados cartográficos, imagens de satélite e informações topográficas; e iv) potencial de aplicação de técnicas compensatórias de drenagem urbana sustentável (LID).

Figura 1 – Contextualização espacial, evolução temporal da urbanização e delimitação do loteamento em estudo .



Fonte – Elaborado pelos autores (2026) a partir de imagens de satélite do Google Earth (2005, 2025 e 2026), utilizando o software QGIS.

Trata-se de uma abordagem quali-quantitativa (Creswell; Plano Clark, 2013) que, em seus objetivos, caracteriza-se como exploratória e descritiva, uma vez que busca ampliar o conhecimento sobre o fenômeno estudado e descrever suas principais características (Gil, 2017). Além disso, apresenta caráter propositivo ao apresentar instrumentos e diretrizes voltados ao aprimoramento da gestão ambiental analisada (Richardson, 2017).

A pesquisa foi organizada em quatro etapas principais: (i) definição e diagnóstico territorial da área de estudo; (ii) análise institucional e normativa; (iii) comparação conceitual de técnicas compensatórias aplicáveis à drenagem urbana; e (iv) desenvolvimento de um framework de gestão voltado à neutralidade hidrológica.

Para a análise das diretrizes urbanísticas e da gestão de águas pluviais face ao atual cenário de urbanização, seguiu-se a sequência: (i) Delimitação do escopo jurídico-urbanístico - buscas nos portais oficiais do município para a coleta dos instrumentos regulatórios que regem o uso e a ocupação do solo urbano; (ii) Indexação por palavras-chave (drenagem, incorporação imobiliária, taxa de permeabilidade, alternativas sustentáveis); (iii) Filtro de relevância das informações (artigos, parágrafos e resoluções aplicáveis à atuação direta de incorporadoras com destaque a investimentos em macro-infraestruturas públicas; (iv) Categorização de condicionantes de aprovação (exigência para novos empreendimentos imobiliários - condicionantes urbanísticas, que incidem sobre os parâmetros construtivos e as taxas de ocupação do solo; e condicionantes hídricas, voltadas às metas de neutralidade hidrológica, ao amortecimento de picos de vazão e às restrições em áreas de vulnerabilidade ambiental.

A avaliação comparativa envolveu três classificações: (i) quanto ao mecanismo principal de funcionamento (processos físicos e biológicos dominantes); (ii) quanto à eficiência hidrológica esperada (capacidade de amortecimento e de tratamento do escoamento superficial); (iii) quanto às limitações técnicas e operacionais (restrições físicas e de manutenção).

O framework foi desenvolvido com base em uma abordagem qualitativa e estratégica, adaptando estruturas conceituais de planejamento e de avaliação da situação hidrológica e das limitações físico-ambientais da área de estudo. Baseou-se na lógica estrutural proposta por Lima et al. (2022), e no estudo de Acosta et al. (2023) adaptando-se um modelo metodológico para relacionar o diagnóstico do avanço da urbanização na região costeira de Barra dos Coqueiros às lacunas na legislação local, diante da necessidade de incluir alternativas de drenagem baseadas na neutralidade hidrológica, resultando em um fluxo de diretrizes focado em alinhar os setores público e privado para subsidiar políticas que incentivem a adoção de técnicas compensatórias.

A proposição de um *framework* apresenta-se como uma metodologia de apoio ao licenciamento urbano baseada nos princípios da neutralidade hidrológica e da infraestrutura verde, para subsidiar políticas públicas voltadas à gestão integrada da drenagem urbana em áreas de expansão imobiliária.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa de imagens temporais (Figura 1), evidencia nitidamente o ritmo acelerado da expansão urbana no município ao longo de duas décadas. Em novembro de 2005, a mancha urbana era caracterizada por densa cobertura vegetal e pela maior dispersão das edificações no território, enquanto, em outubro de 2025, evidencia-se um adensamento construtivo massivo — impulsionado pelo surgimento de novos empreendimentos imobiliários —, o que resultou na supressão significativa da vegetação local e na consequente impermeabilização do solo em larga escala.

Na avaliação territorial e ambiental do loteamento em estudo, percebe-se que embora o projeto cumpra os requisitos burocráticos e atenda aos limites numéricos exigidos pelo plano diretor municipal para garantir sua viabilidade e aprovação legal, existem questões que demandam atenção quanto à sustentabilidade hidrológica a longo prazo. O principal ponto crítico reside na insuficiência do horizonte de projeto adotado para o sistema de drenagem convencional (galerias com período de retorno (TR) de apenas 5 anos), diante da intensificação dos eventos pluviométricos e do impacto cumulativo da impermeabilização do solo em uma zona litorânea de clima predominantemente úmido.

O arcabouço normativo de Barra dos Coqueiros estabelece critérios para o controle hidrológico por meio do Plano Diretor (Lei Complementar nº 002/2008), que trata a sub-bacia da região como unidade de planejamento e sugere reservatórios particulares como alternativas para o manejo da água pluvial. Paralelamente, o Código de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (Lei Complementar nº004/2015) define taxas de permeabilidade mínima que variam de 20% a 30% conforme o macrozoneamento de adensamento, sob a pena de sanções secundários em casos de descumprimento normativo e o Código de Obras, por sua vez, condiciona a emissão de alvarás à regularidade de fluxos internos do lote, proibindo o despejo de águas sobre terrenos vizinhos ou logradouros públicos (BARRA DOS COQUEIROS, 1999, 2008, 2015).

A análise sob este aspecto revela que embora os dispositivos legais condicionem expressamente a incorporação de empreendimentos por meio de restrições formais de ocupação e exijam soluções de drenagem, o município carece de manuais técnicos específicos e de parâmetros atualizados para projetos de engenharia (como equações locais de intensidade pluviométrica e metodologias de dimensionamento de microreservatórios). Nesse sentido, entende-se que na ausência de critérios mensuráveis que viabilizem a aplicação de práticas sustentáveis de drenagem urbana, as incorporadoras tendem a priorizar projetos baseados na microdrenagem cinza

convencional, o que dificulta a meta de neutralidade hidrológica (Filgueiras & Teixeira, 2017; Tucci, 2016).

Relativamente às técnicas compensatórias, devido à sua eficiência hidrológica e às limitações físicas, a Figura 2 apresenta uma análise comparativa que influencia diretamente a viabilidade dessas soluções. O quadro detalha as tipologias com base nos critérios de mecanismo principal de funcionamento, nível de eficiência hidrológica e principal limitação técnica e operacional.

Figura 2: Esquema conceitual das Técnicas Compensatórias e suas respectivas características.

Técnicas de Microdrenagem (Controle na fonte / Escala do lote)				Técnicas de Macrodrenagem (Controle de grandes volumes / Nível de bacia ou bairro)	
Pavimentos Permeáveis	**Jardins de Chuva**	**Telhados Verdes**	**Reservatórios (Cisternas)**	***Wetlands* Construídos**	**Bacias de Retenção/Detenção**
Infiltração e Filtragem local	Bio-retenção e evapotranspiração	Retenção na fonte e isolamento	Armazenamento e reuso de águas pluviais	Depuração biológica e retenção	Amortecimento Volumétrico
Alta (reduz vazão de pico)	**Alta** (remoção de poluentes)	**Moderada** (controle na origem)	**Moderada** (descentralização)	**Alta** (qualidade da água)	**Alta** (controle de cheias)
Suscetibilidade a colmatação (sedimentos)	Requer solo com boa permeabilidade	Sobrecarga estrutural e custo de instalação	Necessidade de gestão da demanda de reuso	Exige manutenção constante da vegetação	Necessidade de grandes áreas de implantação

Fonte – Elaborado pelos autores (2026).

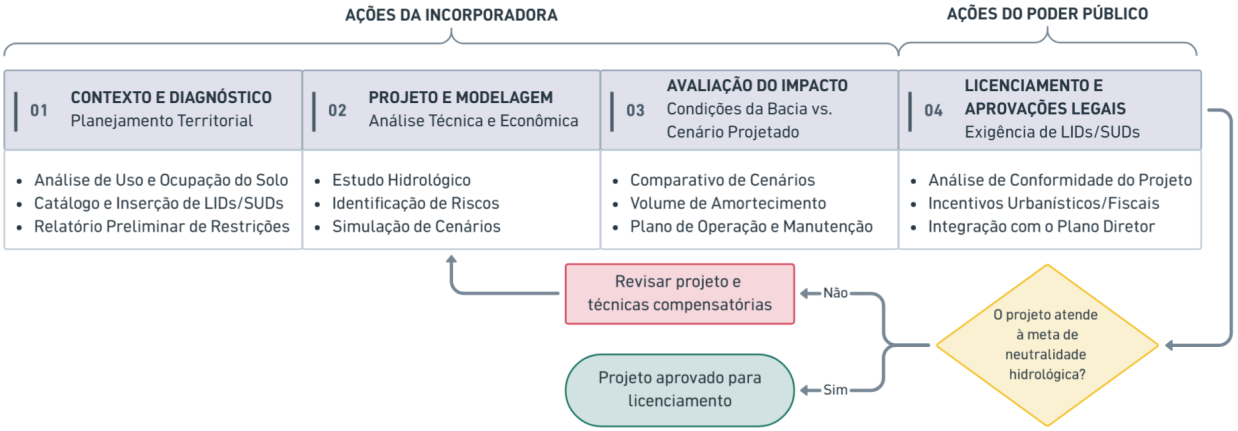
No município de Barra dos Coqueiros, a aplicação dessas técnicas exigem um planejamento de engenharia que considere as limitações físico-ambientais da região: embora o solo predominantemente arenoso favoreça a infiltração natural, o relevo de planície flúvio-marinha e o regime de chuvas intensas concentradas — especialmente entre maio e agosto (CONSENTRE, 2010) — em conjunto com o nível elevado do lençol freático impõe restrições hidráulicas, sob o risco de comprometer a estabilidade de estruturas circundantes devido à saturação do solo ou de exfiltração horizontal. Além disso, o escoamento superficial tende a transportar um volume expressivo de sedimentos, o que pode elevar significativamente o risco de colmatação em dispositivos de infiltração (Tucci, 2016; Jato-Espino et al., 2022).

Nesse contexto, a indicação de soluções voltadas ao amortecimento descentralizado e ao controle macro, como a associação de telhados verdes e cisternas, tratando-se de escala predial e de lotes unifamiliares, bacias de retenção/detenção e wetlands construídos pode ocorrer, desde que seja considerada a necessidade de grandes áreas para implantação. Assim, tornaria possível a consolidação de uma matriz de manejo das águas pluviais para mitigar os efeitos do adensamento urbano e da fragilidade ecológica da região costeira de Barra dos Coqueiros.

O modelo apresentado na Figura 3 divide as responsabilidades operacionais entre as incorporadoras e o poder público ao propor, em quatro fases sequenciais, as ações envolvidas nas etapas de planejamento, desenvolvimento de projetos, avaliação de impacto e validação legal. Com foco em condicionar o licenciamento urbano à adoção de técnicas compensatórias (LIDs/SUDs), o

framework sugere uma metodologia de gestão integrada para controlar, na fonte, o escoamento das águas pluviais.

Figura 3: *Framework* de Gestão Orientado pela Neutralidade Hidrológica.



Fonte – Elaborado pelos autores (2026).

Ao mesmo passo em que o fluxo de corresponsabilidade instiga a comparação de cenários, a internalização mensurável de alternativas mitigadoras dos impactos hidrológicos de iniciativas privadas e estimula a adoção de LIDs através de incentivos urbanísticos e fiscais; seu êxito exige uma participação institucional e técnica do órgão licenciador mediante a seleção de auditores capazes de validar as simulações das incorporadoras e dos mecanismos robustos de fiscalização para garantir que o plano de operação e manutenção seja efetivamente cumprido após a entrega da obra.

4 – CONCLUSÃO

O estudo visa contribuir para o avanço das discussões sobre drenagem urbana sustentável ao propor uma abordagem integrada entre o planejamento territorial e o licenciamento urbano, adaptada ao contexto de expansão imobiliária em cidades costeiras brasileiras. A proposta metodológica fornece subsídios para a análise da resiliência hídrica e a sustentabilidade no desenvolvimento urbano regional. A abordagem de adoção de técnicas compensatórias de drenagem para alcançar a neutralidade hidrológica em áreas de expansão imobiliária, como é o caso da Barra dos Coqueiros, orienta a tomada de decisões nos processos de planejamento e licenciamento com base nessa neutralidade.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores e professores que contribuíram para o desenvolvimento deste artigo; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); aos Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) e em Engenharia Civil (PROEC); ao Instituto de Pesquisas sobre Desastres (IPD-UFS).

REFERÊNCIAS

Acosta, E. A., Cho, S. J., Klemz, C., Reapple, J., et al. (2023). *Biophysical Benefits Simulation Modeling Framework for Investments in Nature-Based Solutions in São Paulo, Brazil*. Water Supply System. Water, 15(4), 681.

BARRA DOS COQUEIROS (Município). *Lei n. 102, de 04 de novembro de 1999.* Institui o Código de Obras e Urbanismo do Município de Barra dos Coqueiros e dá outras providências. Barra dos Coqueiros: Câmara Municipal, 1999.

BARRA DOS COQUEIROS (Município). *Lei Complementar n. 002, de 17 de janeiro de 2008*. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável e Participativo do Município de Barra dos Coqueiros. Barra dos Coqueiros: Prefeitura Municipal, 2008.

BARRA DOS COQUEIROS (Município). *Lei Complementar n. 004, de 16 de setembro de 2015*. Institui o Código de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Barra dos Coqueiros e dá outras providências. Barra dos Coqueiros: Câmara Municipal, 2015.

CONSENTRE ENGENHARIA CONSULTIVA. *Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Empreendimento Maikai Residencial Resort*. Barra dos Coqueiros, SE: Laredo Construções, 2010.

CRESWELL, John W.; PLANO CLARK, Vicki L. *Pesquisa de métodos mistos*. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: *Atlas*, 2019.

de Lima, A. P. M., Rodrigues, A. F., Latawiec, et al. (2022). *Framework for Planning and Evaluation of Nature-Based Solutions for Water in Peri-Urban Areas*. Sustainability, 14(13), 7952.

Eckart, K.; McPhee, Z.; Bolisetti, T. (2020). Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of the Total Environment*, 607–608, 413–432.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., et al. (2015). *SUDS, LID, BMPs, WSUD, and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. Urban Water Journal, 12(7), 525–542.

Filgueiras, Andrea Carla Peixoto; Teixeira, Carla Fernanda Barbosa. *Diagnóstico do impacto do adensamento populacional na paisagem urbana de Barra dos Coqueiros-SE*. In: SEMINÁRIO DA PAISAGEM URBANA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2017, São Cristóvão. Anais [...]. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017. p. 138–147.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: IBGE.

Jato-Espino, D., Charlesworth, S. M., Bayon, J. R., & Warwick, F. (2022). *Sustainable drainage systems and nature-based solutions for urban flood mitigation: A review*. Science of the Total Environment, 829, 154620.

RICHARDSON, Roberto Jarry. Pesquisa social: métodos e técnicas. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas de Sergipe. (2023). *Diagnóstico ambiental da zona costeira sergipana*. Aracaju: SEMARH.

Tucci, C. E. M. (2016). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/RHAMA.

Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. (2022). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: ABRH.