

**Aplicação do Índice de Requalificação Fluvial Urbana para Verificação de
Intervenções de Controle de Inundações na
Bacia dos Rios Pilar-Calombé, RJ**

*Application of the Urban River Restoration Index for the Assessment of Flood Control
Interventions in the Pilar-Calombé Watershed, RJ*

*Aplicación del Índice de Restauración Fluvial Urbana para Verificación de Intervenciones
de Control de Inundaciones en la Cuenca de los Ríos Pilar-Calombé, RJ*

Aline Pires Veról

Professora Doutora, UFRJ, Brasil.
alineverol@fau.ufrj.br

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

Mestre, UFRJ, Brasil.
krishnamurti@poli.ufrj.br

Beatriz Cruz Amback

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, UFRJ, Brasil.
beatrizamback@gmail.com

RESUMO

O trabalho aborda a interação entre o uso do solo e o sistema de manejo de águas pluviais através da avaliação de propostas de recuperação urbana que tenham o rio como elemento de partida, com foco no controle de inundações, mas tratem também de questões de uso e ocupação do solo e recuperação fluvial. A bacia hidrográfica dos Rios Pilar-Calombé, sub-bacia dos Rios Iguaçú-Sarapuí, foi escolhida como estudo de caso por apresentar frequentes falhas no sistema de drenagem e por possuir um projeto de controle e mitigação destas inundações, abordado neste trabalho. Além disso, a área em que está localizada a bacia sofre pressão de urbanização pela presença do Arco Metropolitano, uma vez que a construção da rodovia tem relação direta com os padrões de crescimento urbano, a qualidade da paisagem e a estrutura dos espaços livres. A avaliação das medidas propostas, realizada através da aplicação de um índice, considerou que essas deveriam ser mais sustentáveis, reproduzindo condições fluviais mais próximas das naturais. A requalificação fluvial pode ser uma importante ferramenta para o controle de enchentes, pois pode devolver espaços do rio responsáveis pela alocação dos volumes de cheia, além de resgatar qualidade para o sistema fluvial e gerar oportunidades de revitalização urbana. Essa alternativa deve ser conjugada com técnicas compensatórias de drenagem urbana, aplicadas sobre toda a bacia, para suporte na recuperação de características do ciclo hidrológico natural. O resultado final desta composição de projeto vem minimizar riscos e aumentar a resiliência da cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Requalificação Fluvial Urbana. Rios Urbanos. Drenagem Urbana Sustentável.

ABSTRACT

This work addresses the interaction between land use and stormwater management through the assessment of proposals for urban recovery that have the river as a starting point, focusing on flood control but also address issues of use and land occupation and river recovery. The watershed of Pilar-Calombé Rivers, located in Iguaçú/Sarapuí Rivers watershed, was chosen as the case study due to frequent flaws in its drainage system and the existence of a previous flood control project of this area, covered in this work. Besides, this area is under pressure from urbanization due to the presence of the Metropolitan Arch, since the construction of the highway is directly related to urban growth patterns, the quality of the landscape and the structure of open spaces. The evaluation of the proposed measures, carried out through the application of an index, considered that they should be more sustainable, reproducing river conditions closer to the natural ones. can be an important tool for flood control, as it can recover river spaces responsible for allocating flood volumes, in addition to restoring quality to the fluvial system and generating opportunities for urban revitalization. This alternative must be combined with sustainable urban drainage techniques, applied over the entire watershed, to support the recovery of characteristics of the natural hydrological cycle. The result of this project composition comes to minimize risks and increase the city's resilience.

KEYWORDS: Urban River Restoration. Urban Rivers. Sustainable Urban Drainage.

RESUMEN

El trabajo aborda la interacción entre el uso del suelo y el sistema de manejo de aguas pluviales a través de la evaluación de propuestas de restauración urbana que tengan el río como elemento inicial, con enfoque en el control de inundaciones, pero que traten también de cuestiones a respecto del uso y ocupación del suelo, y a respecto de la recuperación fluvial. La cuenca de los Ríos Pilar-Calombé, subcuenca de los Ríos Iguaçú-Sarapuí, fue escogida como estudio de caso por presentar frecuentes fallas en el sistema de drenaje y por poseer un proyecto de control y mitigación de estas inundaciones, abordado en el presente trabajo. Además, el área en que se encuentra la cuenca sufre presiones de urbanización debido a estar cercana al Arco Metropolitano, una vez que la construcción de esta vía tubo relación directa con los patrones de crecimiento urbano, la cualidad del paisaje e la estructura de los espacios libres. La evaluación de las medidas propuestas, realizada a través de un índice, considero que las misma deberían ser mas sostenibles, reproduciendo condiciones fluviales más próximas de las naturales. La restauración fluvial puede ser una importante herramienta para el control de las inundaciones, una vez que puede devolver espacios del río responsables por retener parte del volumen de la creciente, además de rescatar cualidad para el sistema fluvial e generar oportunidades de revitalización urbana. Esta alternativa debe ser complementada con técnicas compensatorias de drenaje urbano, aplicadas sobre toda la cuenca, para ayuda en la recuperación de características del ciclo hidrológico natural. El resultado final de esta composición de proyecto minimiza riesgos y aumenta la resiliencia de la ciudad en relación a las inundaciones.

PALABRAS CLAVE: Restauración Fluvial Urbana. Ríos Urbanos. Drenaje Urbano Sostenible.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização altera os padrões de uso e ocupação do solo, o que modifica a qualidade do ambiente, tanto natural quanto construído. No caso dos corpos hídricos situados em ambiente urbano, as atividades humanas podem provocar não só uma degradação do espaço como também intensificar as inundações. Essas, por sua vez, são responsáveis pela degradação do ambiente construído, prejudicando outros sistemas urbanos (Veról, 2013).

A crescente preocupação mundial com a degradação dos rios, associada ao fato de que as cidades ao redor do mundo não podem arcar com uma intensa prevenção de inundações, está levando à busca por outras formas de abordagem, mais amplas, tais como perspectivas sociais e econômicas, em vez de focar apenas no controle de inundações (Chan et al., 2018). A proximidade dos cursos d'água traz também uma preocupação adicional, uma vez que bens valiosos estão gradualmente e cada vez mais sendo expostos a inundações mais severas (Sayers et al., 2013).

A requalificação fluvial surge, então, como uma alternativa para responder à progressiva deterioração dos ecossistemas fluviais, para o controle de inundações (Cunha et al., 2017) e para a restauração do ambiente fluvial (Morandi et al., 2014) com uso potencial pela população local (González del Tanángo e García de Jalón, 2007).

Rios em bom estado, próximos do natural, tendem a minimizar ou evitar custos de manutenção. Nesse sentido, a definição de um bom estado ecológico para um rio passa por uma série de fatores articulados, em que se destacam a hidrologia e a avaliação do comportamento hidráulico do canal; a morfologia, a qualidade da água e a presença de ecossistemas fluviais saudáveis, sendo estes últimos, uma consequência dos outros itens (Veról et al., 2019). Para atingir bons resultados, a requalificação fluvial deve ser pensada em função das condições locais e de forma multidisciplinar, e a sua implementação deve levar em conta ações e responsabilidades institucionais e da iniciativa privada (Pan et al., 2016)

Em áreas urbanizadas, a requalificação fluvial é um processo complexo (Prior, 2016; Rozos et al., 2013). É difícil discutir a possibilidade de requalificação fluvial no contexto de um corredor fluvial, pois, apesar de ser parte do problema, as bacias urbanizadas carregam a marca de alterações significativas, que modificam o ciclo da água e limitam o espaço ocupado pelos rios (González del Tanángo e García de Jalón, 2007).

Conjuntamente, práticas sustentáveis de drenagem urbana devem ser introduzidas na bacia hidrográfica, compensando os impactos da urbanização no ciclo hidrológico (Drummond et al., 2015). Essas práticas controlam a geração de escoamento na fonte, restauram as bacias hidrográficas e garantem a qualidade da água a jusante (Alamdari e Sample, 2019).

Os sistemas de espaços livres e as áreas verdes remanescentes em uma cidade desempenham um papel crucial no resgate de funções ecológicas e na mitigação de cheias (Schuch et al., 2016). Em áreas altamente urbanizadas, devido à escassez desses espaços, é essencial que a multifuncionalidade seja incorporada às estratégias de drenagem sustentável, integrando essas

técnicas à paisagem urbana e garantindo uma maior variedade de benefícios (Carvalho, 2019; Fenner, 2017).

O ponto chave para a Requalificação Fluvial Urbana é encontrar o equilíbrio para a coexistência da cidade e do rio em um melhor estado de qualidade ecológica, levando a uma solução de compromisso entre a paisagem natural e o ambiente construído (Dufour e Piégay, 2009). A valorização e reintegração do rio como parte da paisagem urbana é fundamental nesse processo, buscando recuperar a relação entre a sociedade e os corpos hídricos e configurando uma dimensão social e cultural ao processo de requalificação fluvial (Fox et al., 2016). Dado este contexto, esta pesquisa caminhou sobre duas vertentes técnicas que, tradicionalmente, são apresentadas de forma separada: a drenagem urbana, discutida sob o ponto de vista de ações sustentáveis para o controle de alagamentos, e a requalificação fluvial, como técnica efetiva de ação para controle de cheias.

Ressalta-se também a utilidade da aplicação de índices multicritério para a avaliação de projetos e cenários hipotéticos em relação a diferentes atributos. Para essa pesquisa, foi desejado um índice que abordasse a qualidade do rio, considerando ideal uma situação mais próxima da sua condição natural, o estado de toda a bacia hidrográfica e a mitigação de cheias. Essas ferramentas podem ser empregadas na fase de monitoramento de um projeto já implementado (Veról et al., 2019).

2 OBJETIVOS

Este projeto de pesquisa tem como objetivo aplicar o índice de Requalificação Fluvial Urbana (REFLU) em uma bacia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, para avaliar propostas de requalificação urbana que tenham como foco o controle de inundações, mas que também abordem questões de uso do solo e recuperação fluvial.

3 METODOLOGIA

A primeira etapa da metodologia inicia com a revisão bibliográfica dos temas abordados na pesquisa (índices multicritério, requalificação fluvial e drenagem urbana) e com o resgate dos estudos relativos ao Arco Metropolitano (Tângari et al., 2012) e ao Plano Metropolitano do Rio de Janeiro (Quanta-Lerner, 2017), que deram suporte à escolha da bacia de estudo. Paralelamente, o Índice de Requalificação Fluvial (REFLU), apresentado em Veról (2013) e Veról *et al* (2019), foi resgatado e reformulado.

Em seguida, foi definida a bacia a ser estudada e foram compostos cenários, com base nos estudos mencionados anteriormente (Quanta-Lerner, 2017). A concepção dos cenários, tendo como ponto de partida a situação atual, buscou abordar desde um cenário mais desfavorável, sob o ponto de vista da qualidade ambiental e da drenagem urbana, até um cenário mais favorável, que propõe medidas de requalificação fluvial. A partir dessas discussões, os seguintes

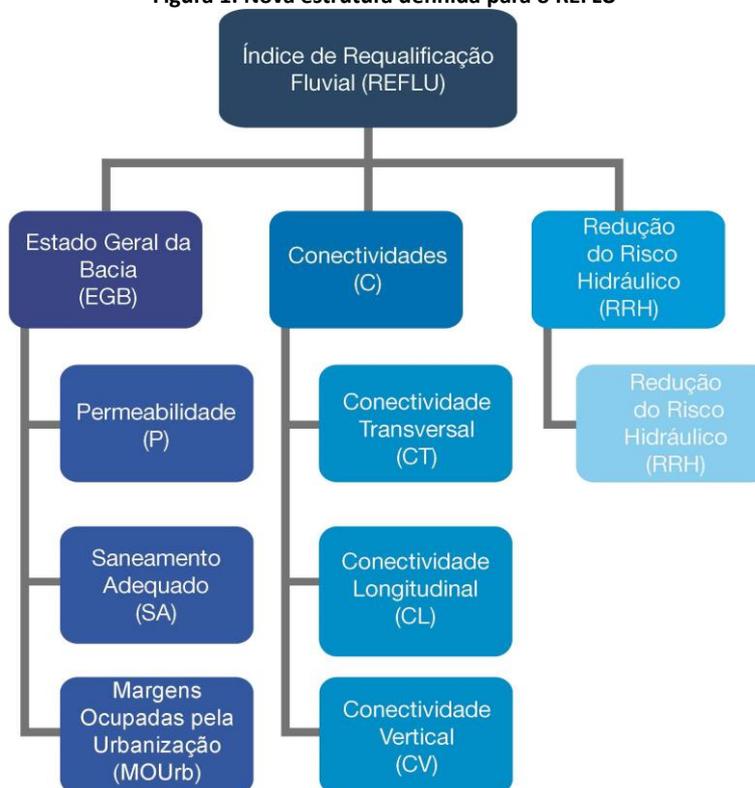
cenários foram definidos: **Cenário 1** - Urbanização Desordenada Hipotética; **Cenário 2** – Barragem; **Cenário 3** - Parques Fluviais; **Cenário 4** - Barragem + Parques Fluviais. O índice REFLU foi, então, aplicado.

O Índice REFLU é uma ferramenta que permite avaliar a qualidade de um rio urbano pela obtenção de uma medida quantitativa (Veról et al., 2019). O resultado do índice para diferentes cenários pode ser facilmente comparado, analisando a eficácia das medidas de requalificação fluvial propostas. Ele é calculado a partir da soma de diversos efeitos relacionados à qualidade fluvial. O resultado obtido para o REFLU deve estar compreendido entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor o resultado.

Originalmente, o REFLU era composto por quatro subíndices, como apresentado em Veról et al. (2019), mas ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa, a sua estrutura foi revisada, com o intuito de facilitar a sua aplicação e torná-lo mais conciso. Nesta nova concepção, o REFLU é composto por três subíndices, a saber: Estado Geral da Bacia (EGB), composto por três indicadores, Permeabilidade (P), Saneamento Adequado (SA) e Margens Ocupadas pela Urbanização (MOUrb); Conectividades (C), composto por três indicadores, Conectividade Transversal (CT), Conectividade Longitudinal (CL) e Conectividade Vertical (CV) e Redução do Risco Hidráulico (RRH) que é ele próprio, também, o indicador.

A Figura 2 ilustra esta nova estrutura, definida para o REFLU, e a Equação 1 apresenta sua formulação final, adotada neste trabalho.

Figura 1: Nova estrutura definida para o REFLU



$$REFLU = (EGB \cdot p^{EGB}) + (C \cdot p^C) + (RRH \cdot p^{RRH}) \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

REFLU: Índice de Requalificação Fluvial;

EGB: Subíndice “Estado Geral da Bacia”, relativo aos impactos da ocupação da bacia hidrográfica relacionados ao uso do solo e a gestão de recursos hídricos. Indicadores: “Permeabilidade”, “Saneamento Adequado” e Margens Ocupadas pela Urbanização;

C: Subíndice “Conectividades”, relativo ao nível de conectividade do curso d’água principal. Indicadores: “Conectividade Transversal”, “Conectividade Longitudinal” e “Conectividade Vertical”;

RRH: Subíndice “Redução do Risco Hidráulico”, relativo aos alagamentos nas áreas urbanizadas. Relaciona-se o volume de alagamento no pico da cheia ao volume total precipitado.

p^{EGB} , p^C , p^{RRH} : Pesos associado aos subíndices, atribuídos em função de sua importância relativa. O somatório dos pesos “ p_i ” deve resultar 1.

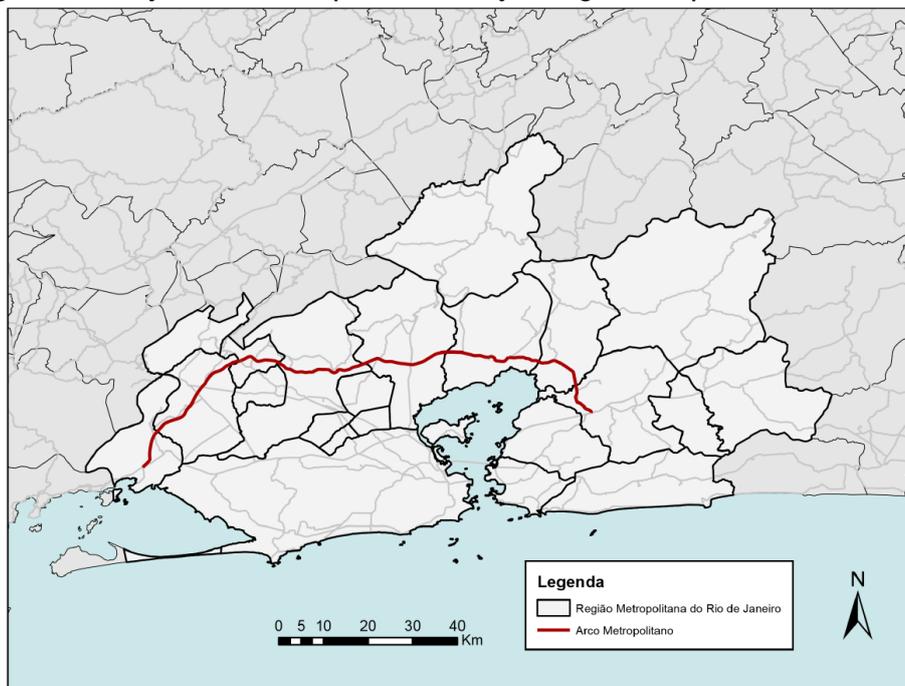
A ferramenta básica de simulação hidrodinâmica adotada para mapeamento de alagamentos em áreas urbanas (um dos dados de entrada do REFLU) foi o MODCEL (Miguez et al., 2017), concebido a partir do conceito de células de escoamento e já utilizado em diversos outros estudos (Miguez et al, 2019; Oliveira et al, 2019; Rezende et al, 2020), inclusive na Baixada Fluminense (Oliveira et al, 2017; Jacob et al, 2019) onde se situa o estudo de caso. No MODCEL, as células atuam como compartimentos homogêneos, integrando o espaço da bacia e permitindo definir redes de escoamento complexas, bidimensionais. Nesse contexto, combina-se, verticalmente, uma rede de escoamentos superficiais com uma rede subterrânea de escoamentos, relativa às galerias de drenagem, numa evolução para um esquema que pode ser considerado, topologicamente, como pseudo tri-dimensional.

4 ESTUDO DE CASO

Para estudo de caso foi escolhida a bacia dos Rios Pilar-Calombé, no município de Duque de Caxias, Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A bacia dos Rios Pilar-Calombé foi objeto de estudo no recém-publicado Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano e Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Quanta-Lerner, 2017), elaborado entre 2015 e 2018 e que teve como pontos chave a implantação de infraestrutura e aprimoramento da gestão do saneamento ambiental, por meio de infraestrutura de manejo de águas pluviais, coleta e tratamento de esgoto sanitário e destinação adequada dos resíduos sólidos, assim como a garantia do abastecimento regular de água em toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Além disso, também visa garantir a gestão das áreas protegidas e a conservação da biodiversidade por meio de Planos de Manejo e gestão das Unidades de Conservação que se encontram próximas ao Arco Metropolitano. O uso e ocupação do solo de todas as áreas no entorno do Arco deve ser disciplinado, e os vazios urbanos devem ser tratados como zonas de amortecimento.

O Arco Metropolitano (Figura 2) articula quatro importantes rodovias federais sem passar pelo núcleo urbano, fazendo a ligação entre dois polos econômicos: o polo petroquímico do COMPERJ e o Porto de Itaguaí. Ao longo do Arco, podem ser observadas diferentes unidades de paisagem (Tângari et al., 2012). Há uma forte presença de indústrias de grande porte, o que atrai empreendimentos residenciais para a região. Também são identificados vazios urbanos, causados pela demarcação de Áreas de Proteção Ambiental. A maior parte do território urbano metropolitano urbanizado está ao sul do Arco. Como impactos negativos da construção do Arco, pode ser destacado que a rodovia funciona como um obstáculo, aumentando a segregação em um tecido urbano que já é muito fragmentado. O estabelecimento de novas moradias no entorno da rodovia muitas vezes acontece de forma irregular e desordenada. Nesse cenário, os espaços livres devem ser aproveitados para projetos de revitalização urbana, assim como para o manejo de águas pluviais urbanas.

Figura 2: Localização do Arco Metropolitano em relação à Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: AMBACK, 2019.

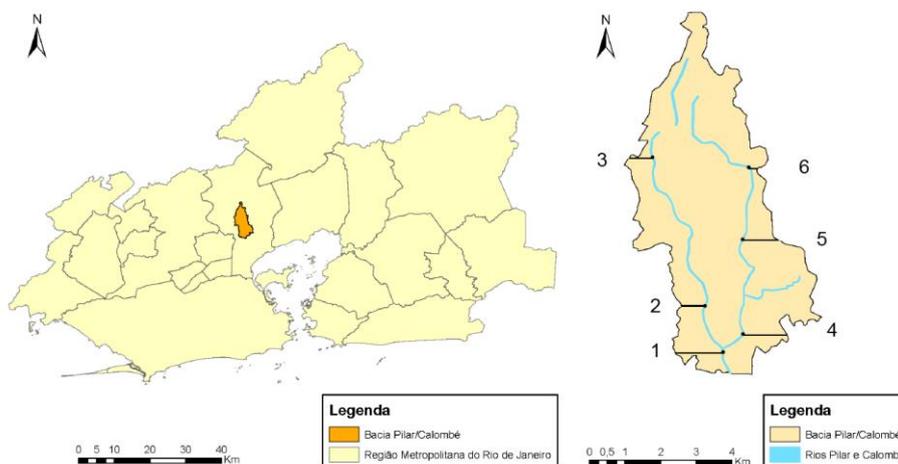
A bacia dos rios Pilar-Calombé faz parte da bacia do Iguaçu-Sarapuí, porção oeste da bacia da Baía de Guanabara, uma das áreas mais críticas do Estado do Rio de Janeiro em relação às inundações urbanas. O Rio Pilar possui extensão de 1,3 km, drenando uma área de 10,8 km² no sentido Norte-Sul, e o Rio Calombé possui extensão de 9,3 km, drenando uma área de 15,0 km², também no sentido Norte-Sul (Rezende et al., 2013).

Ao longo dos rios, são observados diferentes padrões de ocupação. A margem esquerda do Pilar, por possuir solo contaminado, encontra-se livre de ocupação, enquanto a direita tem uma forte presença de moradias irregulares. Já o Rio Calombé apresenta uma ocupação mais esparsa em ambas as margens e observa-se a presença de indústrias.

A Figura 3 apresenta a localização da bacia dos Rios Pilar-Calombé em relação à Região Metropolitana do Rio de Janeiro e algumas imagens de trechos da mesma.



Figura 3: Mapas com a localização da bacia dos Rios Pilar-Calombé.



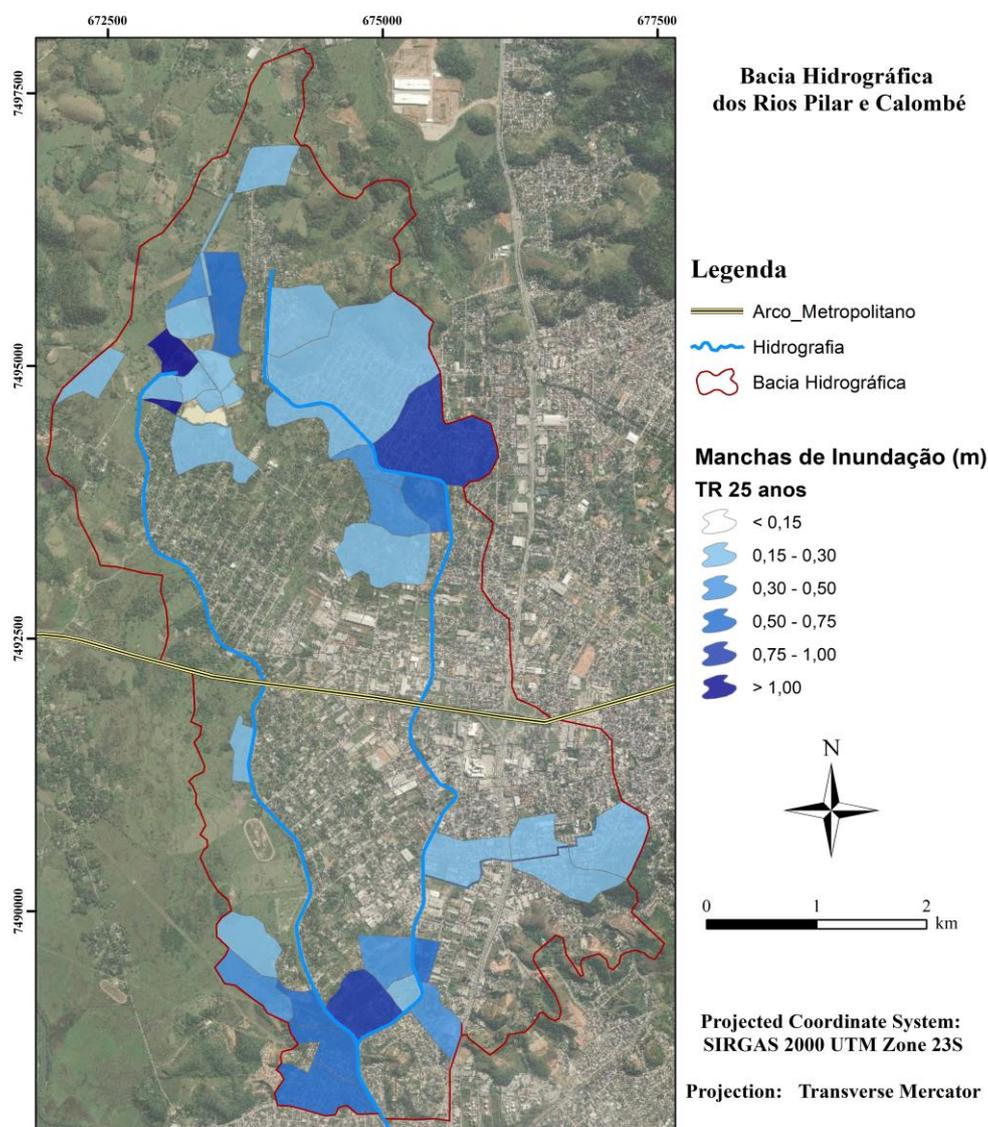
Fonte: Fotos obtidas do Google Earth.

5 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta a mancha de alagamentos para a situação atual na bacia dos Rios Pilar-Calombé. De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a situação de alagamentos na bacia é grave, principalmente nas áreas mais baixas, próximas à confluência dos Rios Pilar-Calombé, onde a ocupação urbana é maior. Em algumas regiões, os alagamentos são superiores a 1,0m de profundidade. Na região mais a montante do Rio Calombé, percebe-se um extravasamento da calha principal do rio, inundando as planícies de alagamento vizinhas, consequência de um estrangulamento na seção transversal do rio no trecho logo a jusante desse extravasamento.

A partir da situação atual, foram desenvolvidos quatro cenários, para avaliação com a aplicação do índice REFLU, como já mencionado na metodologia. A seguir, apresenta-se brevemente cada um deles.

Figura 4: Mapa de Inundação – Situação Atual, Bacia dos Rios Pilar-Calombé



5.1 Cenário 1 - Urbanização Desordenada Hipotética

Para o Cenário 1, foi simulada uma ocupação desordenada hipotética, que poderia vir a acontecer devido à presença do Arco Metropolitano. Foi visto que a ocupação ao sul do Arco é mais densa, então é considerado, aqui, que esse padrão de ocupação vai se espalhar também para a área ao norte do Arco (Figura 5a).

5.2 Barragem

O segundo cenário proposto envolve a criação de uma barragem posicionada junto ao Arco Metropolitano do Rio de Janeiro, criando uma zona de alagamento controlado ao norte, ou seja, à montante dos Rios Pilar-Calombé, conforme apresenta a Figura 5b. Pretende-se que essa área seja ocupada por sítios de produção agropecuária, como está indicado no Plano Metropolitano (Quanta-Lerner, 2017) e por casas adaptadas para os eventos de cheias.

Barragens são interrupções transversais ao sentido dos rios, que criam uma zona de inundação controlada à montante e reduzem o volume de água à jusante, reduzindo o risco hidráulico. Como aspectos negativos, elas prejudicam a transferência de matéria (água, sedimentos e matéria orgânica) e existe um risco de rompimento associado.

5.3 Parques Fluviais

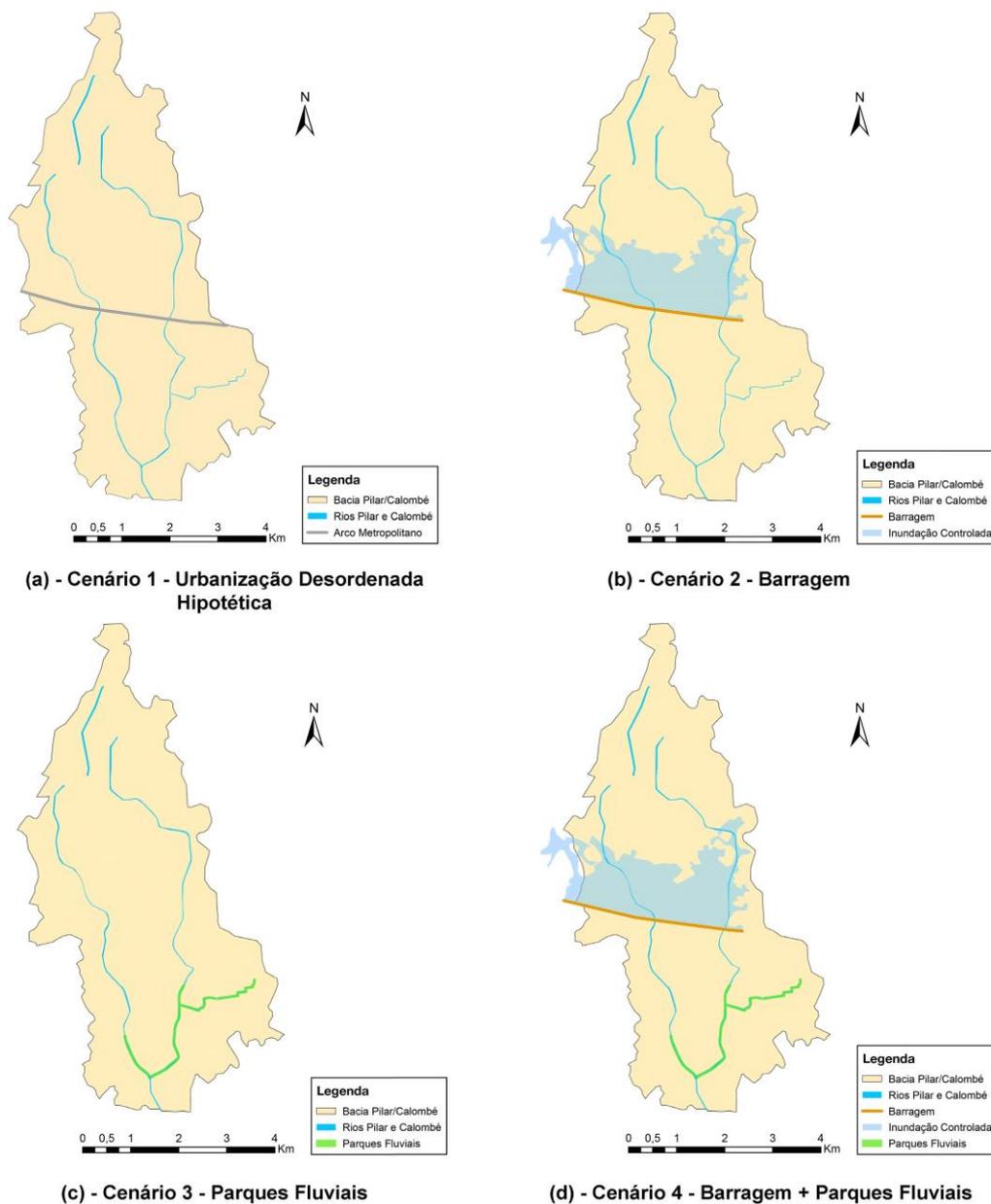
O terceiro cenário propõe a implantação de parques fluviais inundáveis. Eles teriam 15 metros de largura e ocupariam ambas as margens dos rios, nos trechos demarcados na Figura 5c. Esses espaços permitem o estabelecimento da calha secundária do rio, alocando o volume de cheias e impedindo que elas causem danos à cidade. Os parques fluviais protegem a zona ribeirinha de ocupações irregulares, restauram as várzeas, recompõem a vegetação, protegem as margens contra erosão e reduzem os picos de cheias. Diferente do cenário de barragem, que propõe uma medida tradicional para controle de inundações, esse traz uma solução resiliente que melhora a resposta urbana aos eventos de pluviosidades intensas, além de respeitar a dinâmica do rio e buscar recuperar o estado natural da bacia.

Esse cenário foi elaborado com base no trabalho de (Rezende, 2010), que propôs uma série de medidas para o controle de cheias na bacia, incluindo a criação de parques fluviais, e as avaliou através da ferramenta MODCEL.

5.4 Barragem + Parques Fluviais

Foi também proposto um cenário que combinasse as duas propostas anteriores. Nele, a barragem e os parques fluviais acontecem simultaneamente, atuando em trechos diferentes da bacia hidrográfica (a barragem mais a montante e os parques a jusante), conforme ilustra a Figura 5d.

Figura 5: Cenários de avaliação – Bacia dos Rios Pilar-Calombé



5.5 Aplicação do REFLU

O resultado final do REFLU, para cada um dos cenários simulados, está apresentado nos gráficos da Figura 6, que mostra o valor por subíndice, e na Figura 7, que apresenta o resultado final, por cenário simulado.

Analisando os resultados obtidos por subíndice, percebe-se, de forma geral, que, para o subíndice EGB, em relação à Situação Atual (0,49), houve melhora no resultado dos Cenários 2 (0,51), 3 (0,54) e 4 (0,56), o que se deve, principalmente, à melhora do valor do indicador MOUrb. O Cenário 1, como esperado, apresentou resultado pior (0,42) que o da Situação Atual devido ao aumento do valor do coeficiente de runoff no indicador P.

Quando se avalia o subíndice C, percebe-se que, no Cenário 1 (0,78), ele foi mantido em relação à Situação Atual (0,78). Já no Cenário 2, seu resultado foi pior (0,63), por conta da CL. Dessa forma, apesar do aumento do valor do indicador CT, o saldo final acabou sendo negativo por causa da inserção da barragem. Por outro lado, no Cenário 3, seu resultado obteve uma melhora (0,86), principalmente por conta dos indicadores CT e CV. No Cenário 4, com ambas as propostas, em que houve melhoria ainda maior no valor de CT e CV, o resultado continuou pior (0,71) em relação à Situação Atual, o que é devido ao impacto da barragem no rio.

Por fim, ao analisar os resultados do subíndice RRH, percebe-se que houve uma piora no Cenário 1 (0,34) em relação à Situação Atual (0,40) e uma melhora nos demais Cenários (0,68 no Cenário 2; 0,43 no Cenário 3; 0,69 no Cenário 4). Apesar de o Cenário 2 ter se mostrado mais eficiente que o Cenário 3, o Cenário 4, que junta as propostas, foi o que apresentou o resultado mais positivo para este subíndice.

Analisando o resultado geral do índice, verifica-se que o Cenário 1 (Urbanização Desordenada Hipotética) foi o que apresentou o pior resultado (REFLU = 0,51), enquanto o Cenário 4, que congrega as propostas da barragem e de parques fluviais, foi o melhor (0,65). O Cenário 2 (Barragem) e Cenário 3 (Parques Fluviais), mesmo com variações distintas nos subíndices, acabaram por ter o mesmo resultado final no índice (REFLU = 0,61). O Cenário 2, que introduz uma barragem na bacia, tem como resultado uma maior redução do risco hidráulico, com inundações controladas. Porém, este cenário prejudica a conectividade longitudinal, possui maior risco residual devido a falhas e tem atrelada a ele os gastos com manutenção da estrutura. Já o Cenário 3, que introduz parques fluviais ao longo dos rios, tem como aspectos positivos a manutenção das conectividades do rio, contribui para o controle de cheias com volumes para armazenamento e permite a integração entre homem e natureza. Como aspectos negativos destaca-se a necessidade de muitos espaços livres (difícil aplicabilidade em áreas altamente urbanizadas) e de medidas complementares integradas, para que haja uma efetiva melhoria da bacia como um todo. Nesse sentido, o Cenário 4, que conjuga ambas as soluções, apresenta-se como o melhor para a bacia.

Figura 6: Gráficos com os resultados do REFLU por subíndice para todos os cenários simulados.

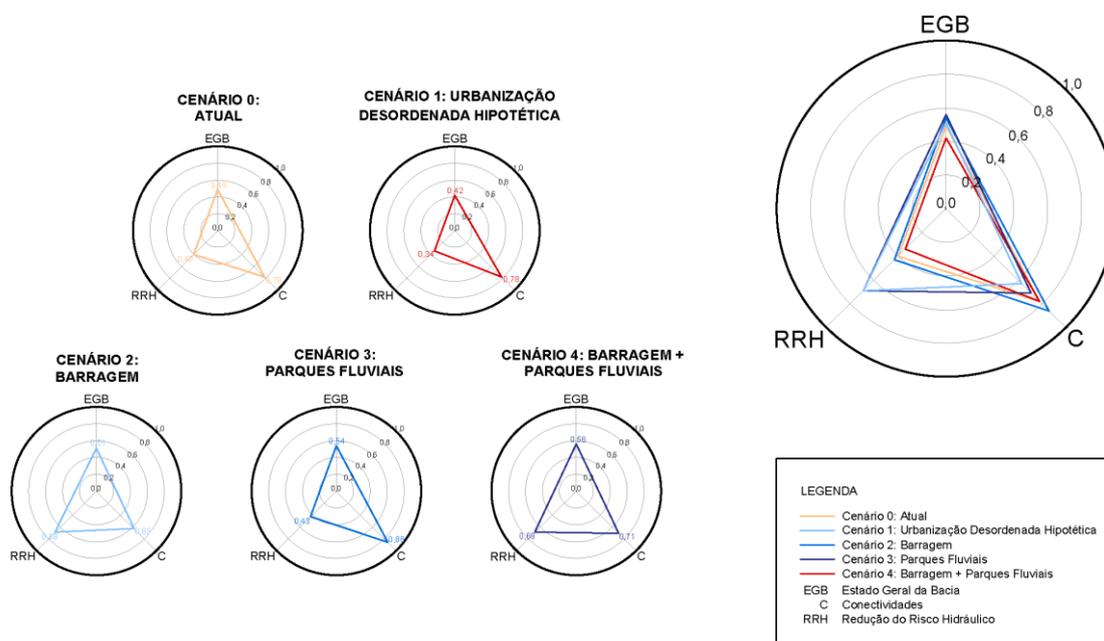
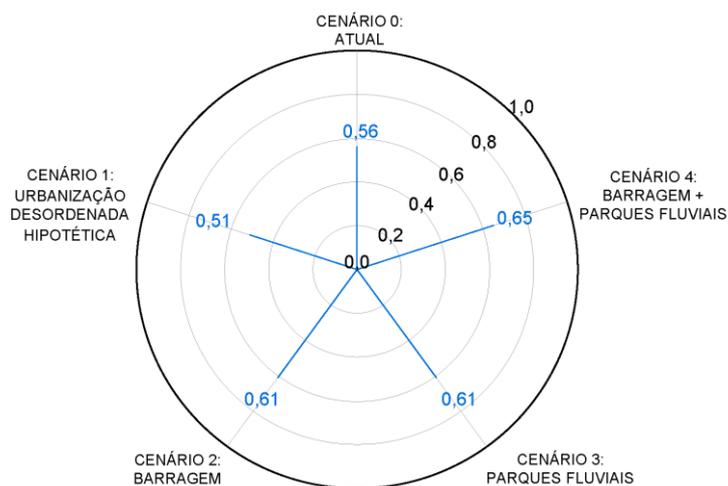


Figura 7: Gráficos com os resultados do índice REFLU.



6 CONCLUSÃO

O êxito em tornar sustentável o crescimento das cidades está intimamente relacionado a um planejamento urbano consistente, que seja capaz de compatibilizar as demandas urbanas com aquelas do sistema natural. O presente estudo ratificou a importância desta relação a partir da comparação de diferentes cenários de desenvolvimento urbano na bacia dos Rios Pilar-Calombé, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, no que concerne às relações entre água e cidade.

Para este estudo, foram concebidos cenários futuros, aplicados a bacia. Os cenários abordados consideraram uma urbanização sem controle; a introdução de uma barragem para controle de cheias; a introdução de parques fluviais ao longo dos rios, com viés sustentável, reservando espaço para o amortecimento de cheias; e a combinação destes em um quarto cenário.

Por meio de modelagem matemática e da aplicação do Índice de Requalificação Fluvial foram avaliados os impactos de cada cenário proposto e comparados à Situação Atual. Assim, conforme as expectativas, a Situação Atual refletiu o comportamento atual da bacia, enquanto os demais indicaram melhoria, com destaque para o Cenário que combina a solução de parques fluviais com a introdução de uma barragem de controle de cheias, como previsto no PEDUI/RMRJ. Foi também proposto um cenário de urbanização desordenada, que apresentou uma inundação de forma generalizada, enquanto os demais cenários apresentaram uma inundação mais controlada.

O REFLU, aplicado à bacia dos Rios Pilar-Calombé, foi capaz de comparar o desempenho de cada projeto de forma abrangente, considerando o controle de inundação, a melhoria ambiental e o estado geral da bacia, traduzindo em resultados de simples interpretação os ganhos e perdas para cada cenário. Em relação ao controle de inundações e ganhos urbanos, a barragem foi muito efetiva para o controle de inundações, mas afetou a conectividade, com perda de valor ambiental. Os parques fluviais, por sua vez, apesar de articular os aspectos ambientais com a urbanização, têm uma limitação de volume para controlar os alagamentos. Outra questão relevante foi que o estado geral da bacia variou pouco, apesar dos esforços, mostrando que a questão do saneamento básico, com ênfase para o esgotamento sanitário, que não foi abordado nesse trabalho, é uma questão crucial na discussão da cidade. Ressalta-se que os melhores resultados, em termos médios, foram os que combinaram as medidas mais tradicionais com soluções de infraestrutura verde.

Pode-se dizer ao final deste estudo, que a requalificação fluvial pode ser uma importante ferramenta para o controle de enchentes, enquanto resgatando qualidade para o sistema fluvial e gerando oportunidades de revitalização urbana. Essa alternativa deve ser conjugada com técnicas compensatórias de drenagem urbana para suporte na recuperação de características do ciclo hidrológico natural. O resultado final desta composição de projeto vem minimizar riscos e aumentar a resiliência da cidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001], Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) [E-26/211.085/2015], Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico (CNPq) [142284/2018-1] e PIBIC/UFRJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMDARI, Nasrin; SAMPLE, David J. **A multiobjective simulation-optimization tool for assisting in urban watershed restoration planning**. J. Clean. Prod, v. 213, p. 251–261, 10 mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.108>

AMBACK, Beatriz Cruz. **Aplicação do índice de requalificação fluvial urbana para verificação das intervenções de controle de inundações na bacia dos rios Pilar e Calombé (RJ)**. 10ª Semana de Integração Acadêmica da UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

CARVALHO, Vitória Ferreira Robadey *et al.* **Sistema de Parques em Vargem Grande**. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v. 7, n. 15, 2019. <http://dx.doi.org/10.17271/2317860461520192034>

CHAN, Faith Ka Chun *et al.* **Towards resilient flood risk management for Asian coastal cities: Lessons learned from Hong Kong and Singapore**. J. Clean. Prod, v. 187, p. 576-589, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.217>

CUNHA, Natalia *et al.* **The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal**. J. Environ. Manage, v. 193, p. 172–187, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.077>

DRUMMOND, Rebeca Braga Gomes; REGO, Andrea Queiroz; VERÓL, Aline Pires. **Projeto urbano em sítio histórico aliado a técnicas compensatórias em drenagem urbana, Marechal Hermes, RJ**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 03, n. 16, 2015. <http://dx.doi.org/10.17271/2318847231620151038>

DUFOUR, Simon; PIÉGAY, Hervé. **From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: Forget natural references and focus on human benefits**. River Res. Appl, v. 25(5) p. 568-581, 4 fev. 2009. <https://doi.org/10.1002/rra.1239>

FENNER, Richard. **Spatial evaluation of multiple benefits to encourage multi-functional design of sustainable drainage in Blue-Green cities**. Water, v. 9(12), p. 953, 7 dez. 2017. <https://doi.org/10.3390/w9120953>

FOX, Coleen A. *et al.* **“The river is us; the river is in our veins”: re-defining river restoration in three Indigenous communities**. Sustainability Science, v. 12(4), p. 521–533, 23 fev. 2017. <https://doi.org/10.1007/s11625-016-0421-1>

GONZÁLEZ DEL TANÁGO, Marta; GARCÍA DE JALÓN, Diego. **Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos**, 1st ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2007.

JACOB, Ana Caroline Pitzer *et al.* **Use of detention basin for flood mitigation and urban requalification in Mesquita, Brazil**. Water Science and Technology, v. 79, n. 11, p. 2135-2144, 2019.



MIGUEZ, Marcelo Gomes *et al.* **Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model.** *Water*, v. 9(6), p.445, 21 jun. 2017. <https://doi.org/10.3390/w9060445>

MIGUEZ, Marcelo Gomes *et al.* **A framework to support the urbanization process on lowland coastal areas: Exploring the case of Vargem Grande–Rio de Janeiro, Brazil.** *Journal of Cleaner Production*, v. 231, p. 1281-1293, 2019.

MORANDI, Bertrand *et al.* **How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects.** *J. Environ. Manage.*, v. 137, p. 178-188, 1 mai. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.010>

OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti Beleño *et al.* **O papel da concepção de espaços livres no planejamento da paisagem, com foco na drenagem urbana e controle de inundações: um estudo de caso para a Cidade dos Meninos em Duque de Caxias/RJ.** In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis. Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti Beleño. **An alternative flood model calibration strategy for urban watersheds: the case study of Riohacha, Colombia.** *Water Science and Technology*, n. 79(11), p. 2095-2105, 2019.

PAN, Baozhu *et al.* **A review of ecological restoration techniques in fluvial rivers.** *International Journal of Sediment Research*, v. 31, p. 110-119, jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2016.03.001>

QUANTA-LERNER, Consórcio. **Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDUI/RMRJ).** Rio de Janeiro: Câmara Metropolitana de Integração Governamental (CMIG), 2017.

PRIOR, Jonathan. **Urban river design and aesthetics: a river restoration case study from the UK.** *J. Urban Des.*, v. 21, p. 512-529, 31 mai. 2016. <https://doi.org/10.1080/13574809.2016.1187557>

REZENDE, Osvaldo Moura. **Avaliação de Medidas de Controle de Inundações em um Plano de Manejo Sustentável de Águas Pluviais Aplicado à Baixada Fluminense.** Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2010.

REZENDE, Osvaldo Moura; MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires. **Manejo de Águas Urbanas e sua Relação com o Desenvolvimento Urbano em Bases Sustentáveis Integradas — Estudo de Caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias.** Rio de Janeiro, n.18, p. 149–163, 2013.

REZENDE, Osvaldo Moura *et al.* **Mapping The Flood Risk to Socioeconomic Recovery Capacity through a Multicriteria Index.** *Journal of Cleaner Production*, v. 225, n. 120251, 10 mai. 2020.

ROZOS, E.; MAKROPOULOS, C., MAKSIMOVIĆ, Č. **Rethinking urban areas: An example of an integrated blue-green approach.** *Water Sci. Technol. Water Supply*, v. 13(6), p. 1534-1542, 12 set. 2013. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.140>

SAYERS, P. *et al.* **Flood Risk Management: A Strategic Approach**, *Strategic Water Management*, v. 203, 2013.

SCHUCH, Gemma *et al.* **Water in the city: Green open spaces, land use planning and flood management – An Australian case study.** *Land Use Policy*, v. 63, p. 539–550, abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.042>

TÂNGARI, Vera Regina; REGO, Andrea Queiroz; MONTEZUMA, Rita de Cássia Martins. **O Arco Metropolitano do Rio de Janeiro – integração e fragmentação da paisagem metropolitana e dos sistemas de espaços livres de edificação.** PROARQ-FAU/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

VERÓL, Aline Pires. **Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades Mais Resilientes.** Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2013.

VERÓL, Aline Pires *et al.* **The urban river restoration index (URRIX) - A supportive tool to assess fluvial environment improvement in urban flood control projects.** J. Clean. Prod. v. 239, 1 dez. 2019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118058>