ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO E BACIAS URBANIZADAS: ESTUDO DE PLANEJAMENTO INTEGRADO

GOMES, Maria Vitória Ribeiro
(maria.gomes@fau.ufrj.br);
Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ/UFRJ), Brasil

VERÓL, Aline Pires
(alineverol@fau.ufrj.br)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ/UFRJ), Brasil

PALAVRAS-CHAVE:

Rios urbanos, nexo água-energia-alimento, infraestruturas verdes e azuis, serviços ecossistêmicos, Bacia Hidrográfica do Rio Acari.

RESUMO

Água, energia e alimento figuram como elementos básicos para a sobrevivência das populações, sendo entendido que a situação de vulnerabilidade que afeta diversas regiões brasileiras, principalmente durante o cenário pandêmico, enfatiza a importância de acesso a estes bens. Entretanto, a inexistência de um gerenciamento integrado entre o nexo água-energia-alimento põe em risco a segurança de gerações atuais e futuras, principalmente quando considerado o aumento da população residente em áreas urbanas. Assim, abordagens integradas de planejamento urbano, considerando a provisão de serviços ecossistêmicos para o nexo, têm ganhado maior destaque na literatura, atuando como alternativas capazes de contribuir para a sustentabilidade das cidades. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo compreender a situação atual do comportamento entre o nexo água-energia-alimento em uma bacia hidrográfica densa e consolidada no Rio de Janeiro, Brasil, bem como propor infraestruturas verdes e azuis como estratégia de recuperação da bacia e integração do nexo. Para tal, utiliza-se uma metodologia de identificação, avaliação e análise do nexo água-energia-alimento em escala de bacia. As análises resultam no entendimento de que o processo de urbanização reduziu consideravelmente as sinergias do nexo, resultando também na má qualidade da água e nas inundações que impactam a qualidade de vida e a agricultura urbana local. As medidas de infraestrutura verde e azul foram, então, indicadas como solução, buscando integrar os elementos naturais e o ambiente construído. Possibilidades de redução no consumo de energia elétrica para o tratamento de água e para a climatização residencial foram abordadas, bem como a possibilidade de produção e comercialização de alimentos. No entanto, é reconhecido que as soluções oferecidas implicam somente em ganhos locais, não resolvendo os abastecimentos que ocorrem em escala regional. Por fim, espera-se que as diretrizes oferecidas possam ser discutidas em regiões similares, auxiliando no entendimento da importância do planejamento integrado.

1. INTRODUÇÃO: O NEXO ÁGUA-ENERGIA--ALIMENTO EM BACIAS URBANIZADAS

Água, energia e alimento figuram como elementos básicos para a sobrevivência das populações, sendo entendido que a situação de vulnerabilidade que afeta diversas regiões brasileiras, principalmente durante o cenário pandêmico, enfatiza a importância de acesso a estes bens. Tendo em vista os decorrentes impactos da urbanização e a previsão de que 66% da população mundial irá residir em áreas urbanas até o ano de 2050 (ONU, 2014), estima-se igualmente um aumento na demanda por água, energia e alimentos. Diante das incertezas administrativas e climáticas, o nexo água-energia-alimento tem se tornado um conceito de destaque na última década para pesquisadores de diferentes áreas, indicando a necessidade de que esforços estejam voltados para considerar simultaneamente os três elementos no planejamento das cidades (BAZILIAN *et al.*, 2011), que têm sido tradicionalmente gerenciados por diferentes setores. Tais considerações ganham ainda mais relevância durante o episódio de crise hídrica que afeta diversas regiões do Brasil, causando impactos tanto na quantidade de água, quanto na produção de energia elétrica. Nesse sentido, entende-se que a tomada de decisão em um dos setores pode desencadear efeitos nos demais (OPEJIN *et al.*, 2019), aumentando riscos de falhas ou de escassez dos recursos.

O rápido processo de alteração das bacias hidrográficas, modificadas para atender as crescentes demandas humanas, tem afetado não somente o sistema hidrológico por meio do aumento de inundações, escassez de água e poluição aquática (AHMAD *et al.*, 2020), como também tem diminuído consideravelmente o fornecimento de serviços ecossistêmicos, essenciais para a subsistência das populações. Principalmente em países em desenvolvimento, fatores como ineficiências infraestruturais; construções informais; e os processos de degradação ambiental também impõem desafios à eficiência e à gestão sustentável dos recursos naturais, pressionando os serviços de esgotamento sanitário e de energia para lidar com tais desafios (LEHMANN, 2018). Assim, é reconhecido como fundamental o papel desempenhado por rios urbanos no fornecimento de serviços ecossistêmicos para a garantia de alimentos, regulação do microclima, mitigação de enchentes e na reserva de água para períodos de seca (BEKCHANOV, RINGLER, MUELLER, 2015). Nesse sentido, observa-se que a relação entre as bacias hidrográficas e o conceito do nexo água-energia-alimento tem ganhado maior interesse na literatura, bem como o conceito de infraestruturas verdes e azuis, que tratam de abordagens mais sustentáveis para o planejamento urbano. Para fins desta pesquisa, o nexo água-energia-alimento e as infraestruturas verdes e azuis serão abordados como conceitos principais.

O primeiro conceito parte do reconhecimento das interconectividades e interdependências entre os três elementos, visando maximizar suas sinergias e melhorar sua eficiência e segurança para as gerações futuras (BAZILIAN *et al.*, 2011; ALBRECHT; CROOTOF; SCOTT, 2018). Neste caso, as interdependências podem ser exemplificadas uma vez que a energia é necessária para processos de purificação, distribuição e tratamento de água, bem como para processos de produção, armazenamento e transporte de alimentos (AHMAD *et al.*, 2020; CANSINO-LOEZA;

ORTEGA, 2021). Enquanto isso, a água também pode ser utilizada para a produção de energia, bem como para a irrigação de culturas (BAKHSHIANLAMOUKI *et al.*, 2020) que, por sua vez, possibilitam o fornecimento de matéria para os biocombustíveis. Assim, uma abordagem "nexo" é aquela que considera interações holísticas entre setores, com o objetivo de integrar processos de gerenciamento (LEHMANN, 2018).

Já as infraestruturas verdes e azuis, no âmbito do planejamento urbano sustentável, se apresentam como estratégia de enfrentamento aos desafios relacionados às águas urbanas, às mudanças climáticas e à urbanização, passando de uma abordagem centralizada nas soluções de engenharia tradicional para abordagens mais integradas à natureza, de modo a aumentar a resiliência a ameaças ambientais futuras (O'DONNELL *et al.*, 2021). A noção trata da utilização dos corpos hídricos e dos espaços vegetados como sistema de planejamento, considerando a adaptação da natureza em áreas altamente urbanizadas (BACCHIN *et al.*, 2014), por meio de diversas tipologias como parques, jardins, alagados construídos, corredores verdes e agricultura urbana, por exemplo.

Uma série de trabalhos recentes analisaram o nexo água-energia-alimento em bacias hidrográficas, embora uma abordagem conjunta com o conceito de infraestrutura verde e azul tenha sido pouco explorada na literatura. Os trabalhos de Strasser *et al.* (2016) e Mayor *et al.* (2015) elaboram metodologias para avaliação do nexo na escala das bacias hidrográficas, visando melhorar as sinergias e identificar soluções potenciais para melhorar a gestão dos recursos. Bakhshianlamouki *et al.* (2020) realizam um modelo de simulação do nexo para a Bacia do Lago Urmia, no Irã, observando os impactos de uma restauração proposta para o lago, enquanto que Karabulut *et al.* (2015) e Bell, Matthews e Zhang (2016) comentam sobre a relação direta entre os serviços ecossistêmicos e a qualidade da água na promoção de melhorias no nexo. Infraestruturas verdes e azuis são exploradas nos trabalhos de Bellezoni *et al.* (2021), que realizam uma extensa pesquisa bibliográfica a respeito das tipologias que podem positivamente influenciar os aspectos de água, energia e alimento; e de Amaral *et al.* (2021) que estudam as diferentes injustiças ambientais relacionadas ao abastecimento e produção do nexo na macro metrópole de São Paulo.

2. OBJETIVOS

Considerando o processo de urbanização como o maior responsável pela alteração das paisagens naturais, dos ciclos hidrológicos e da produtividade dos ecossistemas, e ainda, o cenário de vulnerabilidade que afeta diversas cidades brasileiras, o presente trabalho tem o objetivo de utilizar como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Acari, localizada na Zona Norte do Rio de Janeiro, para compreender a situação atual do comportamento do nexo entre água, energia e alimento. A escolha do estudo de caso parte de uma pesquisa em andamento, onde diretrizes de projeto com a utilização de infraestruturas verdes e azuis são estudadas em bacias urbanas com alta vulnerabilidade socioambiental. A partir do diagnóstico do presente trabalho, são propostas infraestruturas verdes e azuis como estratégia

de recuperação da bacia e integração do nexo, de modo a melhorar o fornecimento de serviços ecossistêmicos e garantir sua segurança para os moradores locais. Através do estudo, é esperado fornecer um entendimento geral a respeito da importância do desenvolvimento de sistemas integrados no planejamento urbano, visando a valorização dos recursos naturais e a conservação do nexo para as gerações futuras.

3. MÉTODO

Duas etapas guiam a realização deste estudo. Em um primeiro momento, buscou-se analisar, por meio de pesquisa bibliográfica, quais relações poderiam ser estabelecidas entre as infraestruturas verdes e azuis e o nexo água-energia-alimento, uma vez que ambos os conceitos são de origem recente na literatura. Por meio de busca na Base Scopus, a combinação entre as palavras-chaves em inglês ("green and blue infrastructure") AND (water AND food AND energy AND nexus) resultou em um total de 2 publicações, ambas de 2021. Foi também realizada a busca pela combinação ("water-food-energy nexus") AND ("river basin"), que resultou em 12 documentos datados de 2016 a 2021, demonstrando uma maior abrangência no tema. Dentre estes, para a segunda etapa do trabalho, optou-se por utilizar a metodologia elaborada por Mayor *et al.* (2015), que propõem uma estrutura para a identificação, avaliação e análise do nexo na escala de bacia, aplicada na Bacia do Rio Duero, Espanha. Segundo os autores, a aplicação desta metodologia de avaliação permite a formulação de políticas para detectar problemas no nexo, avaliar o potencial de melhorias, bem como explorar soluções sustentáveis. A metodologia escolhida será aplicada na Bacia Hidrográfica do Rio Acari, Rio de Janeiro, utilizando infraestruturas verdes e azuis como soluções propostas.

Sendo assim, são consideradas as três etapas definidas por Mayor *et al.* (2015): 1) Identificação, contabilidade e descrição das principais trocas e conflitos entre os três setores, onde serão apresentadas as principais características e desafios da Bacia Hidrográfica do Rio Acari, bem como a compreensão de suas principais relações com o nexo água, energia e alimento; 2) Análise do nível de integração e coordenação das políticas e instituições setoriais, onde um breve diagnóstico de integrações é apresentado, bem como os planos locais; e 3) Discussão sobre estratégias existentes e potenciais para mitigação de conflitos e identificação de soluções, onde são indicadas as soluções de infraestrutura verde e azul que podem melhorar as sinergias e promover serviços ecossistêmicos para a região. Por fim, as considerações finais do trabalho sugerem as boas práticas que podem ser implementadas em bacias similares.

4. ESTUDO DE CASO

A Bacia Hidrográfica do Rio Acari está localizada na Zona Norte do Rio de Janeiro, Brasil, abrigando aproximadamente 950.851 habitantes que se distribuem em um total de 31 bairros. Possui área de drenagem de 107,35 km^2, tendo seus rios

distribuídos ao longo de 16 km. De acordo com dados da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ, 2021), a região apresentava um caráter rural até meados do século XVII, sendo um importante centro de abastecimento de alimentos para a região. Entretanto, a perda da característica rural se dá com o processo de ocupação e urbanização dos bairros pertencentes aos subúrbios cariocas e fluminenses, estes se solidificando sem planejamento e serviços adequados, o que resultou em uma "paisagem caracterizada principalmente pela ausência de benefícios urbanísticos" (ABREU, 1987). Como consequência de um processo de urbanização sem planejamento, caracteriza-se a Bacia como densa e consolidada, sendo as margens dos rios irregularmente ocupadas por populações de baixa renda, além da baixa predominância de espaços livres. Além de seus problemas socioambientais, destacam-se ainda os problemas crônicos de inundações presentes ao longo de todo o curso, que afetam não apenas as vias estruturantes e os equipamentos da cidade, como também provocam a degradação urbanística e ambiental dos corpos hídricos.

5. RESULTADOS

5.1 ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO, CONTABILIDADE E DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS TROCAS E CONFLITOS ENTRE OS TRÊS SETORES

Baseado na metodologia de Mayor *et al.* (2015), propõe-se aqui uma breve caracterização da situação atual do nexo entre água, energia e alimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Acari, buscando compreender relações que podem ser estabelecidas. Este diagnóstico possibilita a compreensão das vulnerabilidades que podem ser combatidas em um possível cenário de projeto utilizando as infraestruturas verdes e azuis, conforme sugerido na etapa 3.

5.1.1 Água para energia

Ao se considerar a utilização de água para a produção de energia elétrica, destaca-se que a Bacia não é responsável pela produção de energia da região. Ao contrário do cenário brasileiro em geral, que apresenta as hidrelétricas como maior fonte de produção de energia (68%), no Estado do Rio de Janeiro, somente 17,2% da energia elétrica é gerada por fontes hidrelétricas, em um total de 40 empreendimentos que somam produção de cerca de 1,5 GW (COPPETEC, 2014). Assim, a maior parte de energia elétrica no Estado é produzida por termelétricas (82,5%), e o restante por fontes eólicas (0,3%) (COPPETEC, 2014). Por outro lado, Mayor *et al.* (2015) salientam que, considerando as termelétricas, os impactos hídricos se relacionam à descarga de resfriamento de água que volta com temperatura mais alta que o natural, enquanto que as hidrelétricas podem implicar nos distúrbios do regime de fluxo, degradação da qualidade da água e impactos

nos ecossistemas aquáticos. Dessa forma, a inexistência de fontes de produção de energia elétrica na Bacia contribui para a manutenção da qualidade da água, uma vez diminuídos seus os pontos de impacto.

5.1.2 Água para alimento

Ao considerar a produção de alimentos, sabe-se que até o século XIX, a ocupação da Bacia era predominantemente rural, sendo formada por grandes fazendas e engenhos responsáveis pelo cultivo de cana de açúcar, aguardente, além da criação de gado e lavouras diversas (PCRJ, 2021). Com o processo de urbanização da área, o caráter agrícola da Bacia dá espaço a uma ocupação predominantemente industrial e, mais tarde, residencial, passando a depender de regiões vizinhas para a produção e transporte de alimentos. Assim, a utilização da água para o cultivo de alimentos não pode ser considerada como uma demanda atual. Contudo, destacam-se ainda as iniciativas locais de agricultura urbana na região, que abriga hortas localizadas abaixo das linhas de transmissão em Jardim América e Madureira, e a horta comunitária localizada nos fundos do Hospital Ronaldo Gazolla, em Acari. Por conta das inundações que afetam as regiões, algumas das hortas são afetadas com a qualidade da água que as atinge, protagonizando risco à segurança dos alimentos. Ainda, no bairro de Madureira, há o primeiro Centro Municipal de Agroecologia e Produção Orgânica (CEMAPO), que trabalha a possibilidade de implantar e gerir hortas urbanas como forma de reduzir índices de ocupação irregular em terrenos ociosos, a partir de cursos de capacitação para comunidades carentes (PCRJ, 2021). Por sua vez, no Bairro de Irajá, a presença da Central de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (CEASA-RJ) figura como importante centro responsável pela distribuição de hortigranjeiros e contribuição da política de segurança alimentar e nutricional de todo o estado, contando com espaço de apoio à agricultura familiar.

5.1.3 Energia para água

Quando considerada a utilização de energia elétrica para água, os principais serviços relacionados se concentram em sua captação, transporte, tratamento e distribuição, além da coleta e tratamento de águas residuais (MAYOR *et al.*, 2015). Quanto aos serviços de abastecimento, dados de 2010 do IBGE (PCRJ, 2021) mostram que, para todos os bairros da bacia, a rede de distribuição não atende aproximadamente 2.482 das residências. Destaca-se também que o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos avalia como baixo o índice de segurança hídrica para a área, onde são avaliadas as demandas de retirada estimada e a disponibilidade hídrica (SNIRH/ANA, 2021). Além disso, a região conta com tratamento de esgoto da maioria das residências localizadas na bacia, entretanto, destaca-se a ausência de coleta de 308 das 401.515 residências. Os mesmos dados de 2010 do IBGE indicam que 6507 residências declararam despejar os dejetos diretamente nos corpos hídricos. Como consequência, os Indicadores de Qualidade da Água monitorados em 2018 pela Agência Nacional de Águas, apontam um valor de 1,2 mg/L para o rio Acari, sendo este um dos piores resultados considerando a média

de oxigênio dissolvido (SNIRH/ANA, 2018). Cabe mencionar que de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, as águas doces de classe 4 (navegação e harmonia paisagística) devem possuir nível de oxigênio dissolvido superior a 2,0 mg/L em qualquer amostra. Entende-se que a má qualidade da água impacta diretamente na provisão dos serviços ecossistêmicos e na própria biodiversidade dos corpos hídricos locais. Como consequência do cenário de urbanização e redução das áreas vegetadas, a bacia apresenta focos de inundação ao longo das margens, o que, quando combinado ao lançamento irregular de esgoto sobre as águas, provoca o retorno do mesmo às residências, aumentando o risco de contaminação por doenças de veiculação hídrica.

5.1.4 Energia para alimento

Considerando a urbanização da bacia e a perda de suas características produtoras, entende-se sua situação de dependência pelo abastecimento por regiões vizinhas. Assim, o uso de energia para alimento na bacia não pode ser considerado pelo setor de produção agrícola, mas pode ser contextualizado por meio da utilização de combustíveis para transporte de alimentos. Conforme destacado anteriormente, o abastecimento de alimentos é realizado pela CEASA, localizada na própria bacia, com alimentos produzidos fora da região. Optou-se por não realizar a relação entre alimento para energia, uma vez que a produção de biomassa não é popularizada na cidade.

5.2 ETAPA 2: ANÁLISE DO NÍVEL DE INTEGRAÇÃO E COORDENAÇÃO DAS POLÍTICAS E INSTITUIÇÕES SETORIAIS

De acordo com as relações exploradas entre o nexo água-energia-alimento na Bacia Hidrográfica do Rio Acari, percebe-se que os três elementos se desenvolvem de maneira independente, uma vez que os sistemas que abastecem a área de estudo também são responsáveis pelo abastecimento de toda a região metropolitana do Rio de Janeiro. Portanto, ainda que o gerenciamento compreenda uma escala maior que a da bacia, e que suas relações internas não tenham força, a terceira etapa buscará indicar quais ações podem ser tomadas para melhorar a comunicação entre o nexo na escala da bacia, com foco no provimento de serviços ecossistêmicos.

Ressalta-se que os planos de ações existentes para a bacia contemplam medidas voltadas para a resolução do sistema de drenagem, não tratando, necessariamente, da incorporação de medidas para otimização do nexo água-energia-alimento. Três planos principais incorporam a região da bacia: o Plano Diretor de Manejos de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro – PDMAP (HIDROSTUDIO/FCTH, 2010), que propôs, entre outros aspectos, o desassoreamento, ampliação de calha e implantação de reservatórios de amortecimento; o Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que propôs a mitigação de inundações por meio de implantação de obras macrodrenagem

(construção de canais, reservatórios, barragens e diques), além de soluções multifuncionais como os parques inundáveis (PDUI/RMRJ,2018); e o Programa Acari/Projeto Rio Vivo, da Prefeitura do Rio de Janeiro, que propôs a implantação de um Corredor Viário-Via Parque Canal Verde, ao longo do Rio Acari, além de ações de recuperação, reflorestamento e preservação ambiental (PCRJ, 2007).

5.3 ETAPA 3: DISCUSSÃO SOBRE ESTRATÉGIAS EXISTENTES E POTENCIAIS PARA MITIGAÇÃO DE CONFLITOS E IDENTIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES

Levando em consideração o diagnóstico realizado e os planos existentes para a bacia, que não contemplam ações de otimização do nexo água-energia-alimento, a presente etapa tem como objetivo indicar soluções de infraestrutura verde e azul com vistas a melhorar o fornecimento dos serviços ecossistêmicos da região e melhorar as relações entre o nexo na Bacia Hidrográfica do Rio Acari. Sendo assim, é reconhecido que a água se apresenta como um elemento de alta complexidade na região, não apenas pelo comprometimento de sua qualidade devido ao despejo irregular de esgoto, como pela gravidade das inundações que afetam todo o curso da bacia. Dessa forma, além das técnicas propostas nos planos estudados, como os reservatórios do PDMAP (HIDROSTUDIO/FCTH, 2010), infraestruturas verdes e azuis também podem ser utilizadas de forma complementar, de modo a melhorar a qualidade de água, reduzir o consumo de energia durante seu tratamento e mitigar as cheias urbanas.

Tendo em vista as inundações que afetam toda a região, propõe-se a tipologia de parque fluvial como um grande corredor verde urbano responsável por aumentar a resiliência com o aumento de superfície vegetada e permeável (Figura 1). O parque fluvial seria o principal responsável por interconectar cursos hídricos e áreas verdes, bem como os equipamentos públicos já existentes da região. Ganhos de qualidade da água e serviços ecossistêmicos também poderiam ser fornecidos com o restabelecimento de vegetação ripária ao longo do curso. Além disso, nas calçadas e no meio-fio, o uso de canteiros pluviais ou jardins de chuva também pode ser sugerido como estratégia de infiltração e filtragem de águas pluviais, auxiliando igualmente no processo de captura de CO_2 e incentivo à biodiversidade. A utilização de *wetlands* em regiões mais amplas da bacia pode auxiliar no armazenamento de água em dias de chuva e na limpeza das águas, melhorando sua qualidade. Ressalta-se que, ainda que tais medidas sejam sugeridas, a provisão da coleta regular de esgotamento sanitário ainda é essencial para a região, bem como a limpeza e manutenção das redes de drenagem convencional, para que funcionem em conjunto com as propostas sugeridas.

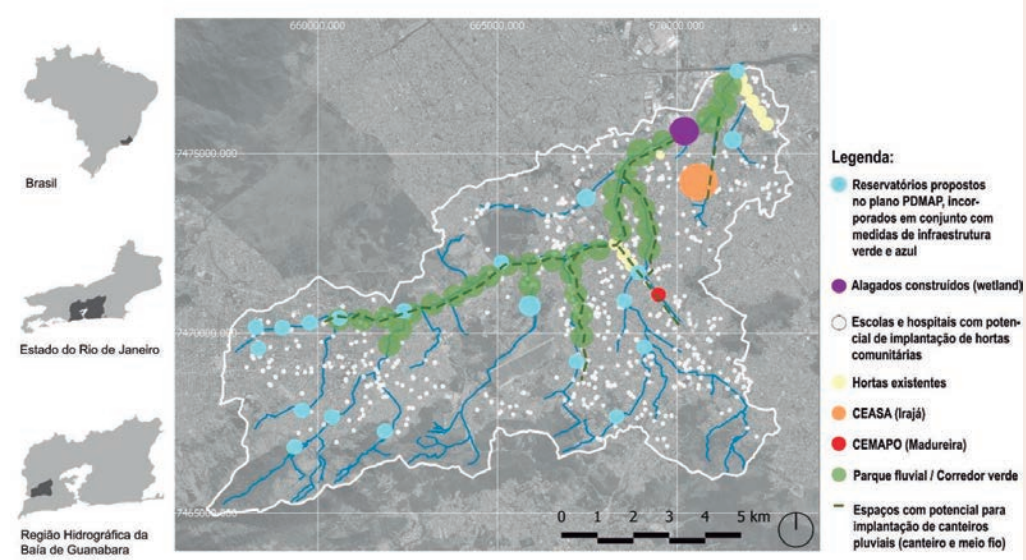

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Acari e medidas propostas.

Quanto à redução do consumo de energia na bacia, as infraestruturas verdes e azuis podem demonstrar efeitos positivos de eficiência energética, adaptação das cidades frente às mudanças climáticas, e mitigação de ilhas de calor (BELLEZONI *et al.*, 2021). Estes efeitos são majoritariamente vinculados à presença de cobertura vegetal e corpos hídricos no meio urbano, atuando no efeito de resfriamento e evapotranspiração, capazes de reduzir a temperatura local e criar um microclima próprio. Neste caso, uma vez sugerida a implantação de um parque fluvial, este deve contar com arborização e pavimentação permeável, auxiliando na redução do consumo de energia de aparelhos de resfriamento. Na escala do lote, sugere-se a tipologia de telhados verdes para a eficiência energética de residências ou edifícios públicos em situação estrutural regular.

Por sua vez, considerando a produção de alimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Acari, o diagnóstico apresentado na etapa 1 mostra que a produção foi comprometida pelo processo de urbanização. Ao mesmo tempo, focos de agricultura urbana ainda existem na região, localizados principalmente nas faixas de servidão das linhas de transmissão de energia elétrica, o que possibilita aumentar a produção de alimentos na bacia para uso local. Nesse sentido, destaca-se a presença da CEMAPO e do CEASA como centros de apoio ao incentivo da agricultura urbana e familiar que enfatizam a importância da qualidade nutricional e possibilidade de geração de renda para as populações em situação de vulnerabilidade. Deve-se garantir a preservação das hortas já existentes na bacia, evitando a ocupação irregular destes espaços. Novos pontos de agricultura também podem ser incentivados em espaços residuais, priorizando que comunidades carentes possam usufruir das áreas. Além disso, considerando que a densificação da bacia permite menores intervenções nos pavimentos térreos, os edifícios públicos ou privados com programas voltados para atendimento da população (como escolas ou hospitais), poderiam disponibilizar suas coberturas para a implantação de hortas comunitárias ou telhados verdes, de modo a conscientizar a população sobre os serviços ecossistêmicos. No entanto, apesar das tipologias sugeridas, é necessário também

garantir medidas de mitigação das enchentes e de tratamento de esgotos, como as apresentadas anteriormente, garantindo que as hortas existentes não sejam comprometidas pela má qualidade da água nas regiões mais propensas a inundações. Por fim, conforme destacado, o presente artigo faz parte de uma pesquisa em andamento, onde diretrizes de projeto com infraestruturas verdes e azuis são estudadas em bacias urbanas. Cenários como o aqui sugerido serão apresentados para a população local, que poderá opinar sobre seus cenários de preferência e destacar seus anseios para com a Bacia Hidrográfica do Rio Acari. Esta consulta pública destaca a importância do envolvimento popular nas tomadas de decisão, representando uma oportunidade de aceitação de soluções integradas e sustentáveis para o planejamento urbano.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou identificar as atuais relações do nexo água-energia-alimento em uma bacia altamente densificada na Região Metropolitana do Rio Janeiro, apresentando soluções de incentivo à sustentabilidade para as gerações futuras. Medidas de infraestrutura verde e azul foram indicadas como alternativa de projeto, buscando a integração entre os elementos naturais e o ambiente construído. No entanto, considerando apenas a escala da bacia, é reconhecido que a solução oferecida não é capaz de resolver questões como o abastecimento hídrico e elétrico, uma vez que todo o município do Rio de Janeiro depende de regiões vizinhas para o fornecimento. Por sua vez, a possibilidade de redução no consumo de energia para o tratamento hídrico e climatização residencial foi abordada, bem como a possibilidade de produção e comercialização de alimentos, apresentando iniciativas que podem trazer ganhos locais. Neste caso, se ampliada a escala de atuação para além da bacia estudada, tais soluções poderiam gerar ganhos ainda maiores para o Estado, uma vez relembrados os baixos índices de qualidade da água e de segurança hídrica da região. Estes tópicos ganham ainda mais importância tendo em vista a crise hídrica, declarada em junho de 2021, que ameaça o setor elétrico em diversas regiões brasileiras, e ainda, tendo em vista a pandemia de COVID-19, que enfatiza a importância de que todos os brasileiros tenham acesso à água, energia e alimentação.

O estudo da bacia em questão reflete as vulnerabilidades socioambientais de diversas bacias brasileiras que modificaram completamente suas características naturais tendo em vista o processo de urbanização e modernização das cidades, negligenciando as dinâmicas da natureza e os benefícios que a mesma pode oferecer para as populações. Neste caso, assim como observado no estudo de caso, diversas outras bacias apresentam baixa cobertura vegetal, alta densificação e ocupação irregular de populações de baixa renda nas margens dos corpos hídricos, replicando problemas de inundação e poluição das águas ao longo destas regiões. Assim, ressalta-se a importância de que bacias similares não somente implementem soluções sustentáveis que permitam um maior acesso a bens básicos, como garantam que as populações de baixa renda sejam atendidas por serviços de saneamento básico, de modo a evitar a degradação dos corpos hídricos. O incentivo às iniciativas

de agricultura urbana em áreas residuais também deve ser enfatizado visando a segurança alimentar e a oportunidade de geração de renda, bem como o incentivo à educação ambiental. Por fim, espera-se que as diretrizes possam ser debatidas em regiões similares, auxiliando no entendimento da importância do planejamento integrado que garanta o abastecimento de serviços básicos às populações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, M. (1987). A evolução urbana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IPLANRIO; Zahar.

Ahmad, S.; Jia, H.; Chen, Z.; Li, Qian; Xu, C. (2020). Water-energy nexus and energy efficiency: A systematic analysis of urban water systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 134, p. 110381.

Albrecht, T. R.; Crootof, A.; Scott, C. A. (2018). The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. Environmental Research Letters, v. 13, n. 4, p. 043002.

Amaral, M. H.; Benites-lazaro, L. L.; Sinisgalli, P.; Alves, H. P. F.; Giatti, L. L. (2021). Environmental injustices on green and blue infrastructure: Urban nexus in a macrometropolitan territory. Journal of Cleaner Production, v. 289, p. 125829.

Bacchin, T. K.; Ashley, R.; Sijmons, D.; Zevenbergen, C.; Van Timmeren, A. (2014). Green-blue multifunctional infrastructure: an urban landscape system design new approach. 13th International Conference on Urban Drainage. Sarawak, Malaysia, v. 4, p. 1–8.

Bakhshianlamouki, E.; Masia, S.; Karimi, P.; Zaag, P. V. D.; Susnik, J. (2020). A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. Science of The Total Environment, v. 708, p. 134874.

Bazilian, M.; Rogner, H.; Howells, M.; Hermann, S.; Arent, D.; Gielen, D.; Steduto, P.; Mueller, A.; Komor, P.; Tol, R.; Yumkella, K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. Energy Policy, v. 39, n. 12, p. 7896–7906.

Bell, A.; Matthews, N.; Zhang, W. (2016). Opportunities for improved promotion of ecosystem services in agriculture under the Water-Energy-Food Nexus. Journal of Environmental Studies and Sciences, v. 6, n. 1, p. 183–191.

Bellezoni, R. A.; Meng, F.; He, P.; Seto, K. C. (2021). Understanding and conceptualizing how urban green and blue infrastructure affects the food, water, and energy nexus: A synthesis of the literature. Journal of Cleaner Production, v. 289, p. 125825.

Bekchanov, M.; Ringler, C.; Mueller, M. (2015). Ecosystem Services in the Water-Energy-Food Nexus. Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems, v. 2, n. 1.

Cansino-Loeza, B.; Ponce-Ortega, J. M. (2021). Sustainable assessment of Water--Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. Journal of Cleaner Production, v. 290, p. 125194.

COPPETEC – Fundação COPPETEC. (2014). ELABORAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO R3-A - TEMAS TÉCNICOS ESTRATÉGICOS RT-05 - Aproveitamentos Hidrelétricos no Estado do Rio de Janeiro, 2014. Informativo. Disponible en: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062135.pdf>.

HIDROSTUDIO/FCTH. (2010). Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro.

Karabulut, A.; Egoh, B. N.; Lanzanova, D.; Grizzetti, B.; Bidoglio, G.; Pagliero, L.; Bouraoui, F.; Aloe, A.; Reynaud, A.; Maes, J.; VAndecasteele, I.; Mubareka, S. (2016). Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. Ecosystem Services, v. 17, p. 278–292.

Lehmann, S. (2018). Implementing the Urban Nexus approach for improved resource-efficiency of developing cities in Southeast-Asia. City, Culture and Society, v. 13, p. 46–56.

Mayor, B.; López-Gunn, E.; Villarroya, F. I.; Montero, E. (2015). Application of a water–energy–food nexus framework for the Duero river basin in Spain. Water International, v. 40, n. 5–6, p. 791–808.

O'donnell, E. C.; Netusil, N. R.; Chan, F. K. S.; Dolman, N.; Gosling, S. (2021). International Perceptions of Urban Blue-Green Infrastructure: A Comparison across Four Cities. Water, v. 13, n. 4, p. 544.

ONU – Organização das Nações Unidas. (2014). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Disponible en: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>.

PCRJ – Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. (2021). Bairros Cariocas. Disponible en:< https://pcrj.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=7fe1b0d463e34b3b9ca2fafd50c3df76>.

PCRJ – Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. (2007). PROGRAMA ACARI PROJETO RIO VIVO.

PDUI/RMRJ – Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. (2018). Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponible en: <https://www.modelarametropole.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Produto-18_Tomo-2-1.pdf>.

Opejin, A. K.; Aggarwal, R. M.; White, D. D.; Jones, J.; Maciejewski, R.; Mascaro, G.; Sarjoughian, H. (2020). A Bibliometric Analysis of Food-Energy-Water Nexus Literature. Sustainability, v. 12, n. 3, p. 1112.

SNIRH/ANA – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. (2018). Indicadores de Qualidade da Água. Disponible en:< https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=b3d9cbc0b05b466a9cb4c014eba748b3>.

SNIRH/ANA – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. (2021). Índice de Segurança Hídrica. Disponible

en:< https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=76eaa4f-324f2404a86784e21d882b6ec>.

Strasser, L.; Lipponen, A.; Howells, M.; Stec, S.; Bréthaut, C. (2016). A Methodology to Assess the Water Energy Food Ecosystems Nexus in Transboundary River Basins. Water, v. 8, n. 2, p. 59.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, códigos de financiamento 001 e; E-26/200.417/2021; E-26/201.404/2021(26079). Agradecemos também a Cátedra UNESCO "Drenagem Urbana em Regiões Costeiras", da Universidade Federal do Rio de Janeiro, à qual esta pesquisa está vinculada.