



CIDADES ECOSSISTÊMICAS: REFLEXÕES ACERCA DA PROPOSTA DE MASTERPLAN ADAPTATIVO APLICADO A BELO HORIZONTE - MG

*ECOSYSTEMIC CITIES: REFLECTIONS ON THE ADAPTIVE MASTERPLAN PROPOSAL APPLIED TO BELO
HORIZONTE - MG*

*CIUDADES ECOSISTÉMICAS: REFLEXIONES SOBRE LA PROPUESTA DE PLAN DIRECTOR ADAPTATIVO
APLICADA A BELO HORIZONTE - MG*

TECNOLOGIAS, PROCESSO E DESEMPENHOS

BORGES, Marina Ferreira

Doutora em Arquitetura e Urbanismo; professora adjunta do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC
Minas
marina@pucminas.br

VILELA, Aline Costa

Pós-graduanda em Design Paramétrico para Arquitetura; PUC Minas
acvilela@sga.pucminas.br



CIDADES ECOSSISTÊMICAS: Reflexões acerca da proposta de Masterplan Adaptativo aplicado a Belo Horizonte - MG

RESUMO

A partir da ideia de que os problemas urbanos exigem soluções interdisciplinares, o estudo propõe uma reflexão sobre as práticas de sustentabilidade na produção do espaço, apresentando uma metodologia de projeto mediada por ferramentas digitais emergentes, que visa gerar impactos positivos para o meio ambiente. A proposta combina os conceitos de cidades “Eco-Incrementais”, os princípios da “Infraestrutura Verde Azul” e o conceito de “Cidades Esponjas”. Através do uso de ferramentas de design paramétrico computacional formula diretrizes para o projeto urbano, aplicado à região do Horto e seu entorno, em Belo Horizonte - MG. Com o objetivo de melhorar a qualidade do espaço urbano, aumentar a disponibilidade de serviços ecossistêmicos, beneficiar o bem-estar humano e promover a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas locais.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento Urbano. Master Plan Adaptativo. Ecossistemas. Biodiversidade. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Based on the idea that urban problems require interdisciplinary solutions, the study proposes a reflection on sustainability practices in the production of space, presenting a design methodology mediated by emerging digital tools, which aims to generate positive impacts for the environment. The proposal combines the concepts of "Eco-Incremental" cities, the principles of "Blue Green Infrastructure" and the concept of "Sponge Cities". Through the use of computational parametric design tools, it formulates guidelines for urban design, applied to the Horto region and its surroundings, in Belo Horizonte - MG. With the aim of improving the quality of urban space, increasing the availability of ecosystem services, benefiting human well-being and promoting the preservation of biodiversity and local ecosystems.

KEYWORDS: Urban Planning. Adaptive Masterplan. Ecosystems. Biodiversity. Climate Change.

RESUMEN

Partiendo de la idea de que los problemas urbanos requieren soluciones interdisciplinares, el estudio propone una reflexión sobre las prácticas de sostenibilidad en la producción del espacio, presentando una metodología de diseño mediada por herramientas digitales emergentes, que pretende generar impactos positivos para el medio ambiente. La propuesta combina los conceptos de ciudades "Eco-Incrementales", los principios de "Blue Green Infrastructure" y el concepto de "Sponge Cities". A través del uso de herramientas de diseño paramétrico computacional, formula directrices para el diseño urbano, aplicadas a la región de Horto y sus alrededores, en Belo Horizonte - MG. Con el objetivo de mejorar la calidad del espacio urbano, aumentar la disponibilidad de servicios ecossistêmicos, beneficiar el bienestar humano y promover la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas locales.

PALABRAS-CLAVE: Planificación Urbana Plan Director Adaptativo Ecosistemas Biodiversidad Cambio Climático.



INTRODUÇÃO

Como apontado por Abrantes e Silveira (2009), as mudanças climáticas ocorrem de forma natural na terra há milhares de anos, no entanto desde as últimas décadas têm se notado uma aceleração nesse processo. Os autores afirmam ainda que tais mudanças são geradas a partir da ação antropogênica. A respeito disso, os impactos ambientais gerados pela urbanização são diversos e afetam não somente os seres vivos humanos, como também os seres vivos não humanos. Para Ruiz e Ibañez (2022, p. 49), “as cidades também são responsáveis por uma extensa transformação dos ecossistemas naturais em que estão instaladas, bem como da biodiversidade e sua capacidade de fornecer serviços intimamente ligados ao bem-estar dos habitantes urbanos.”

De acordo com a Fundação João Pinheiro (1997), Belo Horizonte foi planejada no início do século XX e teve sua urbanização impulsionada pela Revolução Industrial tardia do Brasil, o que trouxe consigo diversas transformações. A construção de ferrovias que ligavam a cidade às demais regiões do país, permitiu uma maior integração e expansão das áreas urbanas, facilitando o transporte de pessoas e mercadorias. Além disso, a retificação e canalização de rios possibilitaram o controle das águas e a construção de infraestruturas.

No entanto, ao longo do tempo, os impactos negativos dessas ações foram nítidos. Acerca dos problemas urbanos, Lima e Mendonça (2001, p. 135), afirmam que estes “demandam a busca de soluções que ultrapassem o campo restrito de disciplinas isoladas, levando o urbanismo a atingir o patamar de campo básico da interdisciplinaridade”. Com relação a isso, é previsto no Plano Diretor de Belo Horizonte (2019) a adoção de medidas que visem atender os objetivos de cidades resilientes, inclusivas, seguras e sustentáveis, presentes nos objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. No entanto, é necessário verificar se essas medidas são eficientes para a melhoria da qualidade do espaço urbano.

Portanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de análise e avaliação de soluções para aumento da oferta de serviços ambientais em área urbana consolidada. A partir dos resultados, a proposta é refletir acerca das práticas de sustentabilidade na produção do espaço e apresentar uma metodologia de projeto que vise gerar impactos positivos para o meio ambiente. Com a fusão dos conceitos de cidades “Eco-Incrementais¹”, os princípios da “Infraestrutura Verde Azul²” da Fundação FGV e as noções de “Cidades Esponjas³”, propõe-se

¹ O termo Eco-incremental, se baseia em uma visão eco-positiva da arquitetura e urbanismo a partir da criação de edificações e cidades que gerem impactos ambientais positivos. (IBAÑEZ G., 2019)

² O documento criado pela FGV em colaboração com instituições internacionais propõe infraestruturas urbanas verdes e azuis para integrar melhor os serviços de alimentos, água e energia. (FGV, 2022)

³ Cidades esponjas são projetadas para absorver e reutilizar água da chuva, mitigando inundações, enquanto promovem biodiversidade e espaços verdes para lazer e saúde dos cidadãos. (YU, 2021)



um estudo sobre a utilização de ferramentas de design computacional na formulação de diretrizes para o projeto urbano.

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo na PUC Minas. A motivação se deu por intercâmbio acadêmico realizado na Pontifícia Universidad Javeriana, na Colômbia, na qual se teve o contato com o conceito de cidades Eco-Incrementais.

Utilizou-se como área de estudo a estação ferroviária do Horto e seu entorno em Belo Horizonte - MG. Através deste processo, buscou-se aprimorar a qualidade do espaço urbano, ampliar a disponibilidade de serviços ecossistêmicos na área circundante, proporcionar benefícios para o bem-estar humano e promover a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas locais.

PROBLEMATIZAÇÃO

A ideia de sustentabilidade, segundo Feil et all. (2016, p. 13), é um conceito que vem sendo estudado há séculos e ainda assim é incompreendido. Em suma, significa a “capacidade de um sistema de persistir ou adaptar-se aos distúrbios”, tal propriedade é representada pela interação entre os “sistemas humanos e ambientais”, que visam buscar a equidade entre interesses ambientais, sociais e econômicos.

Nesse sentido, entende-se a Arquitetura e o Urbanismo como uma atividade econômica que gera impactos para o meio ambiente e para o bem-estar humano. Algumas teorias começaram a ser estudadas e implantadas para a concepção de projetos, demonstrando que a prática profissional desta atividade pode causar menos impactos para os sistemas da Terra.

No campo do Urbanismo, de acordo com Farr (2013), nos últimos anos observou-se o crescente aumento na densidade populacional das cidades ao redor do mundo, com isso o espaço público tornou-se escasso e muitas vezes desconfortável. As ruas congestionadas e o barulho constante dificultam o deslocamento e o lazer ao ar livre.

Diante disso, surgiram várias discussões para se tratar de uma abordagem possível para o desenvolvimento das cidades do futuro. De acordo com Farr (2013, p. 14) “o urbanismo sustentável deriva de três movimentos de reforma do final do século XX...e passaram a ressaltar os benefícios da integração dos sistemas humanos e naturais.” Sendo eles: “Movimento do Crescimento Urbano Inteligente”; “Novo Urbanismo” e “Construções Sustentáveis”.

O autor afirma que o urbanismo sustentável, “é aquele com um bom sistema de transporte público e com a possibilidade de deslocamento a pé integrado com edificações e infraestrutura de alto desempenho. A compacidade (densidade) e a biofilia (acesso humano à natureza) são valores centrais do urbanismo sustentável”. (FARR, 2013, p.28)



Por fim, Farr (2013), apresenta alguns parâmetros para o desenvolvimento de cidades sustentáveis, tais como: O Aumento da Sustentabilidade por meio da Densidade Urbana; Corredores de Sustentabilidade; Bairros Sustentáveis; Biofilia; Edificações e Infraestrutura Urbana de Alto Desempenho;

Embora as teorias acima listadas sejam importantes como diretrizes e ferramentas de construção e avaliação de projetos de Arquitetura e Urbanismo sustentáveis, acredita-se que é necessário mais do que fórmulas prontas para que a construção de edifícios e cidades possam mitigar os impactos negativos causados no meio-ambiente, mas além disso, pensar e fazer obras voltadas para a geração de impactos positivos para o meio ambiente e o bem-estar humano.

JUSTIFICATIVA

Como apontado anteriormente, os impactos ambientais negativos decorrentes da atividade da construção e da urbanização são comprovados. De acordo com Ibañez G. (2019, p.176), “a urbanização cria ambientes artificiais que possuem pouca ou nenhuma capacidade de produzir serviços ambientais”. Para o autor tal fato influenciou na maneira de se pensar e fazer arquitetura e urbanismo nas últimas décadas, mostrando que é necessário não apenas mitigar os impactos, mas além disso, gerar impactos positivos e produzir serviços ecossistêmicos.

Os serviços ecossistêmicos, também conhecidos como serviços ambientais, são os bens ou serviços que a natureza e seus ecossistemas oferecem ao ser humano e que são indispensáveis para sua sobrevivência, para a qualidade de vida global e para o bem-estar da sociedade (FERNANDES E UHDE, 2013). Estes são divididos entre serviços de provisão (água, energia, alimento), de suporte (reciclagem, fertilização do solo, polinização), de regulação (purificação do ar, equilíbrio dos sistemas hidrológicos, do clima, manutenção da fauna e da flora) e por fim, serviços culturais (recreação, turismo, experiências estéticas).

Nesse sentido, Fernandes e Uhde (2013) afirmam que as atividades econômicas, o equilíbrio social e o bem-estar humano dependem diretamente dos serviços ecossistêmicos. Por isso é tão importante entender o ambiente como um produtor de serviços ecossistêmicos e não apenas como um produtor de recursos não renováveis. É urgente o entendimento de que tais serviços não podem ser substituídos por bens e recursos financeiros, como prega a lógica de mercado atual.

No que diz respeito a estratégias para alcançar esses objetivos, Ibañez G. (2023) apresenta as “7 visões contemporâneas da Sustentabilidade de Fato”, que denominadas, segundo o autor: Eco-técnica; Eco-cêntrica; Eco-cultural; Eco-social; Eco-estética; Eco-médica; Eco-incremental.

Sobre o conceito de Eco-incremental, Ibañez G. (2019, p.197) afirma que “essa mentalidade ecopositiva”, quando transportada para o campo da arquitetura e do urbanismo, se converte no desenvolvimento de edifícios com a capacidade de contribuir para o aumento da oferta de serviços ecossistêmicos em seu entorno urbano através da Ecoprodutividade. Diferentemente



do que é praticado atualmente, a eficiência da Ecoprodutividade, segundo Ibañez G. (2019, p. 198), “...é definida como a capacidade de uma entidade física, seja ela natural ou artificial, de gerar contribuições em seu entorno de forma a melhorar a integridade do meio ambiente.”

Ainda sobre o desenvolvimento de cidades biodiversas a Fundação Getúlio Vargas, juntamente com órgãos governamentais e universidades, criaram um documento denominado “Inovando em Infraestrutura Urbana Verde e Azul para Aprimorar a Interação entre Alimentos, Água e Energia: Um Guia de Implementação para Cidades e Governos Subnacionais” que trata de estratégias voltadas para melhorar a conexão entre serviços de provisão de alimentos, água e energia em ambientes urbanos. Apresenta propostas de soluções através do desenvolvimento de infraestruturas verdes e azuis, oferecendo diretrizes específicas para que cidades e governos locais, com o objetivo de aprimorar a relação entre os recursos naturais e as demandas urbanas, visando aumentar a eficiência e a resiliência nos setores de alimentos, água e energia. (VALENTE DE MACEDO et al., 2022)

Arelado às teorias citadas acima, o conceito de cidades esponjas é uma abordagem de planejamento urbano que se baseia na ideia de que, assim como uma esponja, uma cidade deve ser capaz de absorver, armazenar e reutilizar água da chuva para reduzir o risco de inundações. Além disso, as cidades esponjas promovem a biodiversidade, melhoram a qualidade do ar e criam espaços verdes para o lazer e o bem-estar dos cidadãos. (YU, 2021)

Portanto, têm se como premissa o desenvolvimento de protótipo de Master Plan adaptativo, por meio de ferramentas de design computacional, como forma de se colocar em prática os conceitos supracitados. Segundo Schumacher (2009), o uso destas ferramentas no projeto urbano permite criar e gerenciar sistemas urbanos complexos. Bem como, analisar dados para otimizar o design urbano, considerando variáveis e parâmetros como densidade, uso do solo, conectividade e sustentabilidade.

Dessa forma, acredita-se que essa abordagem permite uma análise mais aprofundada a partir da compreensão holística dos sistemas urbanos, considerando a interconexão entre diferentes elementos. Além disso, possibilita a flexibilidade e adaptabilidade do design urbano, permitindo a visualização e a simulação de diferentes cenários e a avaliação de seu desempenho antes, durante e após a sua implementação. Bem como, a adaptação, de um espaço já existente, às mudanças climáticas a partir de soluções geradas pelo que Bielik et al. (2022) denomina de Master Plan Adaptativo (AMPs).

De acordo com os autores, os AMPs partem do princípio do uso de técnicas de análises de dados e simulações que possibilitam medir uma ampla gama de critérios ecológicos, econômicos e sociais em um contexto urbano e disponibilizá-los para um processo de elaboração de projeto informado.



OBJETIVOS

Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um modelo de análise e avaliação de soluções para o aumento da oferta de serviços ecossistêmicos nas cidades. A partir dos resultados, a proposta é gerar uma reflexão acerca das metodologias de desenvolvimento de projetos urbanos. Bem como, propor soluções a curto, médio e longo prazo, para a mitigação dos impactos da urbanização para o meio ambiente.

Objetivos específicos

- Compreender os conceitos de planejamento urbano contemporâneos que propõem a produção do espaço a partir de princípios de sustentabilidade;
- Coletar dados urbanos existentes e disponíveis publicamente;
- Levantar dados urbanos ainda não coletados;
- Desenvolver e aplicar os conceitos de cidades ecossistêmicas;
- Desenvolver um modelo computacional de projeto urbano adaptativo, que vise a análise do local existente e a possibilidade de aumento da disponibilidade de serviços ecossistêmicos;
- Analisar e avaliar o espaço urbano consolidado e as soluções apresentadas para mitigação dos impactos ambientais gerados pela urbanização;
- Refletir sobre a prática de projetos urbanos que têm como premissa a sustentabilidade.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada na pesquisa envolveu a coleta de dados georreferenciados da área de estudo, disponíveis no portal BHMmaps, para o desenvolvimento de um modelo computacional paramétrico⁴. Através das análises destes dados, utilizando o software Grasshopper, foi avaliada a situação atual do local foram realizadas simulações de diferentes cenários possíveis, e propor soluções para os problemas encontrados. A área de estudo compreende a região do Horto, mais especificamente a Estação de Metrô Horto, e seu entorno. A escolha do local se deu devido às diversas transformações sofridas no espaço urbano através dos anos, fazendo com que, hoje em dia, este se configure como uma barreira no espaço urbano e uma área de degradação socioambiental.

Por esta razão, como princípio do estudo estabeleceu-se alguns parâmetros baseados na verificação da quantidade de serviços ecossistêmicos oferecidos no espaço e o potencial de

⁴ Método de modelagem que utiliza parâmetros e algoritmos para gerar formas, geometrias complexas, para o desenvolvimento de produtos, projetos de arquitetura e soluções especializadas para o projeto urbano, a partir de análises de dados variáveis. O que permite que alterações complexas sejam realizadas de maneira rápida, ajustando os valores dos parâmetros de entrada. (SCHUMACHER, 2009)



aumento destes, sendo eles: **ÁREA VERDE POR HABITANTE** existente e o potencial aumento das condições atuais; **COLETA DE ÁGUA PLUVIAL** capacidade de captação e a capacidade suprir a demanda, para usos não potáveis, de acordo com o consumo; **ENERGIA FOTOVOLTAICA** potencial de geração de energia e a capacidade de suprir a demanda de acordo com o consumo.

Dessa forma, foram propostas diretrizes de planejamento urbano de médio, curto e longo prazo que visem aumentar a oferta de serviços ecossistêmicos, não apenas para suprir a demanda local bem como, para suprir a de outros lugares em déficit, alcançando o objetivo do conceito de cidades ecossistêmicas.

Estabeleceu-se um raio de 1,2 KM de abrangência da área de estudo, que é segundo Duany e Steuteville (2021), a distância caminhável em 15 minutos. Sendo obtida uma área total de 4,5km² com uma densidade populacional de 0,03 hab/m², e população total de 134.237 habitantes.



Figura 1 - Diretrizes de projeto. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

RESULTADOS

As áreas verdes contribuem para a purificação do ar, drenagem de águas pluviais, possibilitando o aproveitamento para usos não potáveis, o que também auxilia no combate a desastres ambientais causados pelas enchentes. Assim como, promovem o regulamento térmico do local onde estão implantadas. Ademais, possibilitam a integração entre os seres humanos e natureza ao gerarem a restauração de habitats para os seres vivos não humanos. O que traz grandes benefícios para a saúde física e mental humana bem como para a regulação da fauna e da flora e equilíbrio dos ecossistemas. (JAVADI; NASROLLAHI, 2021)



A quantidade de área verde preconizada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de no mínimo 12m^2 por habitante, sendo que o ideal apontado pelo órgão é de 36m^2 por habitante. De acordo com a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), a regional leste possui um total de $28,9\text{m}^2$ de área verde por habitante. Ainda segundo este órgão governamental a área permeável, aqui considerada com área verde, exigida pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte (Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019), é de no mínimo 20% por lote construído.

No entanto verificou-se que, caso esse percentual fosse realmente seguido, a área correspondente a área verde na região de estudo seria de $595,080\text{m}^2$, atingindo um total de $4,43\text{m}^2$ por habitante, valor muito abaixo do mínimo apontado pela OMS. Ainda assim, nas análises realizadas, verificou-se que a área verde existente, nas condições atuais do local, é de 480.491m^2 , chegando a $3,54\text{m}^2/\text{hab.}$ e a um total de 10% da área de estudo.



Figura 2 - Área verde existente. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Mostrando que, em uma escala micro, o cenário é diferente da escala macro. Uma vez que as áreas verdes atuam de forma pontual no local onde estão implementadas. Dessa forma, estudou-se possibilidades de aumento das condições atuais, através da implementação de área verde em 80% da área inutilizada da Estação do Horto, chegando a um valor de 327.185m^2 , o que contribuiria com $2,43\text{m}^2/\text{hab.}$ de área verde.



Figura 3 - Área verde na estação do Horto. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Outra possibilidade analisada foi que o percentual de área verde fosse ampliado para 80% da área livre do terreno. Assim pode-se verificar que, com essa medida, se alcançaria o total de $1.353.400\text{m}^2$ de área verde, ou seja $8\text{m}^2/\text{hab.}$



POTENCIAL DE AUMENTO ÁREA VERDE NOS **LOTES** CONSIDERANDO
80% DA ÁREA LIVRE

Figura 4 - Área verde nos lotes existentes. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A fim de se alcançar o ideal apontado pela OMS, analisou-se também a implantação de telhados verdes, considerando 50% da área de todos os telhados da área estudada, como área destinada à implantação de coberturas vegetadas. Dessa forma chegamos a uma contribuição de 852.109m² um total de 6,35m²/hab. de área verde.



POTENCIAL DE ÁREA VERDE
50% DE TELHADO VERDE

Figura 5 - Area verde nos telhados. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Acrescentou-se a estas medidas a implantação de áreas de jardins de chuva nas áreas residuais dos leitos carroçáveis e na faixa de serviço das calçadas, considerando 50% da testada do lote, o que contribui com 134.237 m², um total de 0,05 m²/hab.



POTENCIAL DE ÁREA VERDE
JARDINS DE CHUVA

Figura 6 - Área verde por jardins de chuva. Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Por fim, somados os potenciais de aumento de área verde da região estudada, chegou-se a um total de 2.228.600 m², sendo esta área correspondente a 16,6m² por habitante. O que mostra que ainda é necessário implementar outras medidas de aumento da área verde para que a região supere o ideal de 36 m²/hab. considerado pela OMS.



Figura 7 - Potencial total de aumento de área verde. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A coleta de água da chuva permite a economia de água potável, pois esta pode ser destinada ao reuso para fins não potáveis. Bem como para reserva técnica de incêndio em edificações e, em comunidades carentes e regiões secas, pode ser uma fonte importante de provisão de água. Tal prática reduz a demanda por fornecimento pelo município e pode resultar em economia financeira. Além disso, a coleta de água pluvial pode auxiliar nos sistemas de drenagem urbana, evitando enchentes durante períodos de chuvas intensas (DE SÁ SILVA et al, 2022).

Por fim, tal medida contribui para a conservação da água, o que está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Uma maneira de coletar água da chuva para usos não potáveis é através do telhado.

Dessa forma, a capacidade total de coleta de água da pluvial pelos telhados, considerando 50% de telhado verde e 50% de telhado convencional, garante uma coleta de 17,82% do consumo anual por pessoa. Sendo que deste percentual 0,92% correspondem à área da Estação do Horto e 16,9% correspondem à área das edificações do entorno. O que atesta que apenas essa solução não é suficiente para suprir a demanda local.



Figura 8 - Coleta de água da chuva pelos telhados. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.



A implementação dos Jardins de Chuva, considerado como medida no parâmetro de área verde, também foi considerada como solução para a captação de água da chuva. Para cálculo da área de Jardim de Chuva foi considerada a área residual dos leitos carroçáveis das ruas com declividade menor que 10%, de acordo com sua largura, acrescida da área de serviço da calçada, considerando a utilização de apenas 50% da testada do lote.

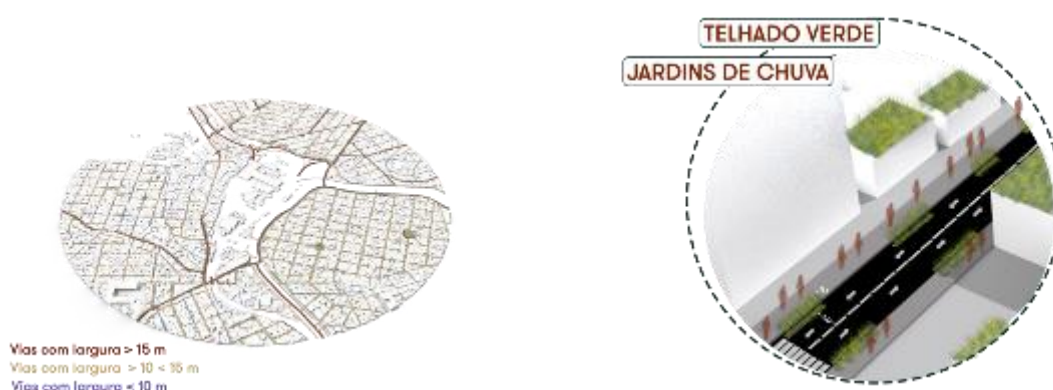


Figura 9 - Coleta de água da chuva por jardins de chuva. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Dessa forma, a capacidade total de coleta de água da pluvial pelos jardins de chuva considerando como área de coleta apenas os jardins de chuva foi de 0,02%. Já se fosse considerado como área de coleta os jardins de chuva e as calçadas, o total captado seria de 1,51%. Por fim, se acrescidas às áreas das ruas, o potencial de captação de água pluvial chegaria a 4,74% do consumo anual por habitante.

A energia fotovoltaica é uma alternativa de energia limpa bastante difundida nos últimos anos. De acordo com Nunes et. all (2010) a energia fotovoltaica é uma energia renovável pois utiliza a luz do sol para geração energia, reduz a emissão de CO2 responsável pelas ilhas de calor devido a não utilização de combustíveis fósseis em sua produção, e por fim gera uma economia financeira a longo prazo.

Para o cálculo com relação ao consumo foi feita uma adaptação do cálculo do “Modelo simplificado para estimativa de produção de energia fotovoltaica no espaço urbano.” (QUEIROZ, 2020). Foi considerada a área de 50% dos telhados das edificações da Estação do Horto. Os plugins de cálculo de radiação solar demandam um processamento intenso, devido a isto é necessário analisar quadra a quadra. A seguir serão apresentados dados para uma quadra tipo a fim de se calcular o potencial de geração de energia fotovoltaica de toda a região.

Para os cálculos foram consideradas as áreas de telhado com fator de exposição de 0,50 e a eficiência do painel fotovoltaico foi de 10,6%. Dessa forma, o potencial de geração de energia fotovoltaica da Estação do Horto é de 6,2% a 10,22% da demanda de consumo da própria estação.

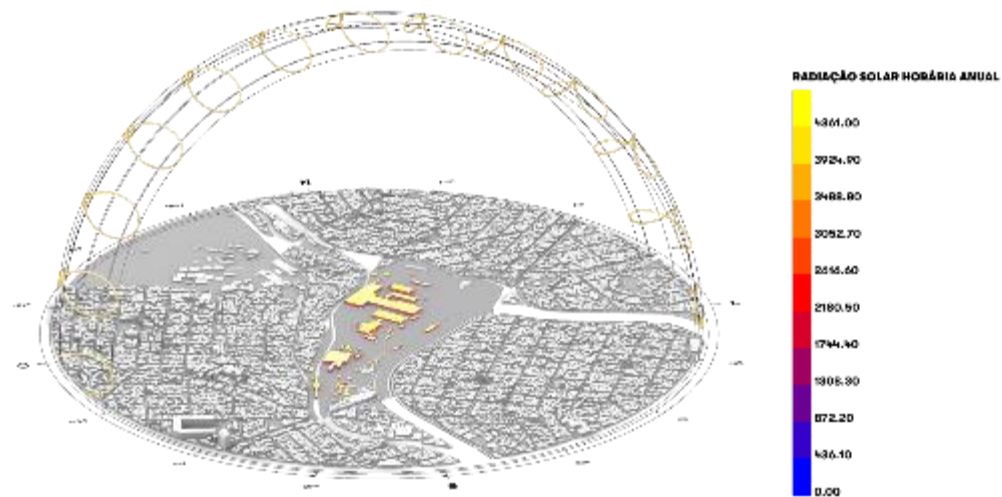


Figura 10 -Análise de radiação solar. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A fim de aplicar as análises em uma escala micro, assim como, dimensionar e analisar o potencial de cada quadra em relação às diretrizes do projeto. Aplicou-se as mesmas análises em uma quadra tipo. Os parâmetros e cálculos pré-determinados foram os mesmos utilizados para a análise da área total. Sendo assim obteve-se os seguintes dados:

O potencial total de área verde foi de 6340,5 m², 0,77m²/hab, considerando 50% do telhado verde, acrescidos da área de jardins de chuva e de 80% da área residual dos lotes.

A porcentagem total de coleta de água pluvial foi de 33,54% em relação ao consumo anual por habitante. Por fim, o potencial de geração de energia fotovoltaica foi de 33,5 a 133,9% em relação ao consumo.



Figura 11 - Soluções aplicadas em uma quadra tipo. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.



APONTAMENTOS

No tempo disponível para a realização da pesquisa, foram avaliados apenas os serviços de provisão de água e energia fotovoltaica, através da captação de água e energia pelos telhados das edificações, e de purificação do ar e manutenção da fauna e da flora, através do aumento das áreas verdes, além da regulação do ciclo hidrológico, através da proposição de jardins de chuva para captação e escoamento das águas pluviais. Com o avanço da pesquisa será possível, incluir nos parâmetros os demais serviços ecossistêmicos citados acima, avaliar e melhorar o desempenho desta.

Ainda sobre o que já foi desenvolvido e analisado, percebe-se que a região estudada não seria autossuficiente com relação à oferta de áreas verdes, tanto na macro quanto na microescala da quadra. Já com relação à provisão de água, esta seria autossuficiente em uma escala macro e insuficiente em uma escala micro. No que diz respeito a produção de energia fotovoltaica, as análises foram feitas apenas em escalas micro, porém os resultados mostraram que, na quadra onde está localizada a estação de metrô do Horto, a produção é consideravelmente menor do que o consumo. Já na quadra tipo, a produção de energia é superior ao consumo. Nesse sentido, uma quadra que esteja em crédito, ou seja, que a coleta de água ou produção de energia seja maior do que o consumo, poderia doar recursos para outra quadra e assim sucessivamente até que todo o sistema esteja equilibrado, assim como funcionam os ecossistemas.

Por fim, uma vez desenvolvida a metodologia, com a utilização das ferramentas de análises de dados e design paramétrico, será possível aplicá-la em diferentes espaços da cidade, alterando apenas os dados de entrada, devido a sua flexibilidade e a adaptabilidade, característica eminente do conceito de Master Plan Adaptativo.

Dessa forma, após a análise e verificação da implantação de medidas a curto prazo citadas acima, entende-se que ainda é necessário que demais medidas sejam implementadas para que o local de estudo se torne um local de geração de serviços ecossistêmicos. No entanto, já é possível verificar a aplicabilidade da proposta nos parâmetros já estabelecidos.

Portanto, as análises futuras se baseiam em propostas que visam a implementação de medidas mais complexas, sendo elas divididas em medidas a médio e longo prazo.



MÉDIO PRAZO

IMPLANTAÇÃO DE **INFRAESTRUTURAS VERDES PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTO**
CAPTAÇÃO DE ÁGUA E PRODUÇÃO DE ENERGIA



LONGO PRAZO

DESCANALIZAÇÃO DO **RIO ARRUDAS**
IMPLANTAÇÃO DE **ESPAÇOS PÚBLICOS, PARQUES E PRAÇAS À MARGEM DO RIO**

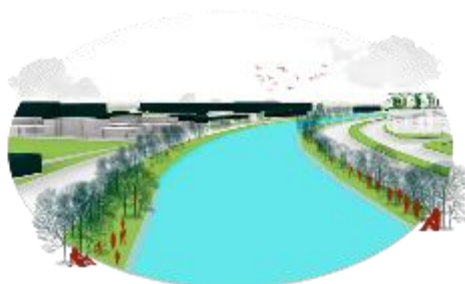


Figura 12 - Soluções a médio e longo prazo. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A respeito das medidas de médio prazo, serão avaliadas a implantação de infraestruturas de árvores artificiais que tenham a função de geração de alimentos, promoção de áreas verdes, captação água da chuva e produção de energia fotovoltaica. Inspirado nas super árvores do “Gardens By the Bay” de Singapura, a estrutura serviria como um suporte para cultivos de alimentos e vegetais hidropônicos. Seu topo seria coberto com painéis fotovoltaicos e portadores de sistemas para coleta de água da chuva.

Já as medidas de longo prazo consistem na descanalização do Rio Arrudas e implantação de espaços públicos, parques e praças à margem do rio, implantação de espaços públicos, parques e praças à margem do rio. Dessa forma seria possível atender à oferta de todos os serviços ecossistêmicos na região de estudo, através das propostas de intervenção apresentadas acima.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Patrícia; SILVEIRA, Henrique. Alterações climáticas na Europa: efeito nas doenças parasitárias humanas. *Rev Port Saúde Pública*, v. 27, n. 2, p. 71-86, 2009.

BIELIK, Martin; KOENIG, Reinhard; SCHNEIDER, Sven. Adaptive master plans: Flexible modular design strategies. In: *Artificial Intelligence in Urban Planning and Design*. Elsevier, 2022. p. 323-337.

DE SÁ SILVA, Ana Carolina Rodrigues et al. Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, v. 76, p. 103475, 2022.

FARR, Douglas. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.



FEIL, Alexandre André; STRASBURG, Virgílio José; SCHREIBER, Dusan. Análise dos eventos históricos para a concepção dos termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 1, 2016.

FERNANDES, Sandra Beatriz Vicenci; UHDE, Leonir Terezinha. Sustentabilidade, Decrescimento, Bem Viver. **Salão do Conhecimento, A temática está em tudo, XXII Jornada de Pesquisa**, UniJUI, junho/2017.

IBÁÑEZ G., Ricardo Andrés. 7 visões da Sustentabilidade de Fato. In: **Fragmentos do Sul Global: o todo desde as partes**. Curso de Arquitetura e Urbanismo PUC Minas. 2023.

IBÁÑEZ G., Ricardo Andrés Ecoproductive Architecture for Multifunctional and Restorative Cities: from Physical Forms to Environmental Contributions. In: **Multifunctional Urban Green Infrastructure**. Espanha. V.I. p.175-200, 04, 2019.

JAVADI, Reza; NASROLLAHI, Nazanin. Urban green space and health: The role of thermal comfort on the health benefits from the urban green space; a review study. *Building and Environment*, v. 202, p. 108039, 2021.

NUNES, Gabriel Baptista; DE AZEVEDO SILVA, Márcia; NETO, Adolpho Braga Marinho. Uso de painéis solares e sua contribuição para preservação do meio ambiente. **Bolsista de Valor**, v. 1, p. 157-162, 2010.

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. **ONU - Organização das Nações Unidas**. 2023

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Plano Diretor de Belo Horizonte - Lei de Uso e Ocupação do Solo**. 2019. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

QUEIROZ, Natália. Modelo simplificado para estimativa de produção de energia fotovoltaica no espaço urbano. In: **A quadra do Futuro**. Digital Futures, 2020.

RUIZ, Diana; IBÁÑEZ, Andrés. Biodiversity thrives in the built environment: Six city visions aimed at improve the link among spaces, human inhabitants, and non-human inhabitants. in: **Biodivercities: transforming cities with biodiversity**. Bogotá - Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Julho 2022.

SCHUMACHER, Patrick. Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. **Architectural Design**, Vol 79, No 4 Julho/Agosto 2009.

VALENTE DE MACEDO, Laura; BELLEZONI, Rodrigo A.; PUPPIM DE OLIVEIRA, José A.; SALEHI, Pourya; CURRIE, Paul & JONES, Amy. **Innovating in Urban Green and Blue Infrastructure to Improve the Food-Water-Energy Nexus: An Implementation Guide for Cities and Subnational Governments**. Sao Paulo: FGV EAESP CEISA and ICLEI, 2022.

YU, Kongjian. The Sponge City: Planning, Design and Political Design. In: **Design Studio Vol. 1: Everything Needs to Change**. RIBA Publishing, 2021. p. 46-55.