



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 1 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n1ID30182>



Análise da relação entre a compactidade de formas urbanas e os padrões de abastecimento de água em cidades

Analysis of the relationship between the compactness of urban forms and the patterns of water supply in cities

Bruno de Oliveira Lázaro¹; Gabriel Henrique Carvalho Rezende²; Raquel Naiara Fernandes Silva³

¹ Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia/MG, Brasil. Email: bruno.lazaro@ufu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1667-5216>

² Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia/MG, Brasil. Email: carvalhorezende96@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9751-6219>

³ Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia/MG, Brasil. Email: raquelfernandes@ufu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8010-8251>

Resumo: Este artigo objetiva analisar as relações entre a compactidade de manchas urbanas e os padrões de abastecimento de água na área das cidades por meio do estudo das vazões mínimas para redes de distribuição. Neste sentido, buscou-se correlacionar estatisticamente parâmetros geométricos, demográficos e de oferta/distribuição de água em uma cidade, por meio de um estudo de caso na mancha urbana de Uberlândia/MG, uma típica cidade de médio porte brasileira. Por meio do software Google Earth Professional, foram determinados os contornos geométricos, os perímetros e as áreas de todos os bairros e zonas geográficas do município. Além disso, através de dados disponibilizados pela prefeitura municipal, foram determinadas as populações totais de cada bairro. Assim, determinou-se o índice de compactidade e a densidade populacional das unidades da mancha urbana. Além disso, com base na ABNT NBR 12211/1992, calculou-se o consumo médio de água e as vazões de abastecimento mínimas para cada bairro e suas respectivas zonas. Estes dados foram correlacionados e os resultados obtido foram especializados na forma de mapas temáticos. Observou-se que a vazão mínima de abastecimento de demanda é inversamente populacional à densidade demográfica, enquanto esta vazão é diretamente proporcional à população e ao índice de compactidade da mancha urbana.

Palavras-chave: Abastecimento de água; Índice de compactidade; Morfologia urbana.

Abstract: This article aims to analyze the relationship between the compactness of urban areas and the patterns of water supply in the area of cities through the study of minimum flows for distribution networks. In this sense, we sought to statistically correlate geometric, demographic and water supply/distribution parameters in a city, through a case study in the urban area of Uberlândia/MG, a typical medium-sized Brazilian city. Using the Google Earth Professional software, the geometric contours, perimeters and areas of all neighborhoods and geographic areas of the municipality were determined. In addition, through data provided by the municipal government, the total populations of each neighborhood were determined. Thus, the compactness index and the population density of the units in the urban area were determined. In addition, based on ABNT NBR 12211/1992, the average water consumption and minimum supply flows were calculated for each neighborhood and its respective zones. These data were correlated and the results obtained were specialized in the form of thematic maps. It was observed that the minimum flow of demand supply is inversely proportional to the population density, while this flow is directly proportional to the population and the compactness index of the urban area.

Keywords: Water supply; Compactness index; Urban morphology.

Recebido: 31/08/2022; Aceito: 03/02/2023; Publicado: 12/06/2024

1. Introdução

A água é um recurso natural essencial para a vida humana, sem o qual a maioria das atividades antrópicas não podem ser desenvolvidas plenamente. Neste sentido, seja para o consumo próprio, para a irrigação de culturas agrícolas, para o abastecimento de rebanhos, para o processamento industrial, para o transporte por hidrovias e para a recreação e lazer, a água se estrutura como um elemento circunstancial para a humanidade (UNESCO, 2008; ANDRADE, BLUMENSCHHEIN, 2013, AGUIAR *et al.*, 2020).

Todavia, a maior parte da água *in natura* no planeta não se encontra com padrões adequados de potabilidade e disposição para o consumo humano imediato. Desta maneira, torna-se necessária a provisão de sistemas de captação, tratamento e distribuição da água bruta de leitos de rios e reservatórios até as unidades de destinação e consumação final (HILL, 2009; BOTELHO, 2011; KUSTERKO *et al.*, 2018).

Para se garantir o melhor funcionamento destes sistemas, torna-se necessário, em um primeiro momento, determinar as vazões mínimas de abastecimento requeridas pela rede de distribuição de água. No caso das cidades, estas vazões se configuram como os valores mínimos exigidos em norma para que se possa garantir o acesso de uma população urbana a quantidades suficientes de água para o desenvolvimento de suas atividades diárias e para o seu consumo (TUCCI, MENDES, 2006; TUCCI, 2008; AGUIAR *et al.*, 2020).

Tradicionalmente, o cálculo destas vazões se dá por meio de uma relação matemática entre a população de um dado espaço urbano, o consumo médio diário por habitante deste espaço, e por dois coeficientes empíricos associados ao dia e a hora de maiores consumos ao longo de um ano (ABNT, 1992). Destes, percebe-se que a população é o parâmetro mais influente na determinação das vazões mínimas de abastecimento.

Entretanto, a comunidade científica contemporânea tem percebido que diversos outros fatores podem influenciar de modo significativo na demanda por água de uma população urbana. Neste contexto, tem-se percebido que características associadas à morfologia das cidades exercem um papel importante nos padrões de utilização e aproveitamento dos recursos hídricos (RUEDA, 2000; WSUD, 2008; ANDRADE, BLUMENSCHHEIN, 2013).

Neste sentido, o presente trabalho objetiva analisar as relações existentes entre a forma urbana e o consumo de água em cidades. Assim, desenvolveu-se um estudo que busca correlacionar o índice de compactidade de manchas urbanas com suas respectivas populações, densidades demográficas e vazões mínimas de abastecimento de água. Para tanto, elaborou-se um estudo de caso ao longo da mancha urbana do município brasileiro de Uberlândia/MG, uma importante cidade do interior do país.

2. Recursos hídricos e o ambiente urbanizado

Ao longo da história da humanidade, a gestão da água e dos recursos hídricos tem se mostrado um processo altamente dinâmico, complexo e que envolve questões de ordem técnica, social, econômica, cultural e política, principalmente dentro do ambiente urbanizado (ZHANG, 2013; MARINHO, 2018). Nas cidades, observa-se que os principais usos da água estão associados ao abastecimento doméstico, ao abastecimento industrial, à irrigação de pequenas culturas urbanas e à dessedentação de animais (SOUZA, 2015, LOUSADA *et al.*, 2019; AGUIAR *et al.*, 2020).

Todavia, em termos gerais, apenas as duas primeiras utilizações estão associadas, diretamente, à provisão de sistemas de captação, tratamento e distribuição de água dentro de padrões de potabilidade aceitáveis para o consumo humano (ANDRADE, BLUMENSCHHEIN, 2013; KUSTERKO *et al.*, 2018). Neste contexto, a comunidade científica propõe uma rede de processos conhecida como ciclo hidrológico urbano, também chamado de ciclo artificial da água em cidades.

Tradicionalmente, a água é captada do leito de rios e/ou reservatórios e transportada por meio de condutos forçados até uma estação de tratamento. Após os devidos processos físicos e químicos, a água tratada é, então, disseminada por meio de uma rede de distribuição pública até alcançar os pontos de utilização nos diversos edifícios de uma cidade (CARVALHO, GUIMARÃES, SILVA, 2007; LOUSADA *et al.*, 2019).

Após sua utilização, a água passa a ser denominada de efluente líquido e é destinada por meio de uma rede de condutos livres específicos a uma estação de tratamento de esgoto. A partir de então, após novos tratamentos físicos, químicos e biológicos, o efluente tratado é despejado em cursos d'água, concluindo assim seu fluxo no ambiente urbanizado (CARVALHO, GUIMARÃES, SILVA, 2007; BOTELHO, 2011; LOUSADA *et al.*, 2019).

Dentro deste ciclo, um parâmetro de extrema importância para o bom aproveitamento dos recursos hídricos é a vazão de distribuição de água na rede distribuidora (BOTELHO, 2011; KUSTERKO *et al.*, 2018). Esta vazão, também chamada de vazão de demanda, é função direta da população residente e uma determinada área urbana e de seus padrões de consumo (TUCCI, 2008). De acordo com a ABNT NBR 12221/1992, este parâmetro pode ser calculado conforme demonstrado na

Equação 1.

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C \cdot P}{86400} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão mínima de demanda (L/s); k_1 = coeficiente do dia de maior consumo; k_2 = coeficiente da hora de maior consumo; C = consumo médio diário *per capita* (L/s.dia); e P = população da área abastecida.

Os coeficientes expostos na Equação 1 são valores adimensionais empíricos que funcionam de modo a adequar o cálculo das vazões de demanda às oscilações horárias e diárias de consumo, considerando picos de utilização da água para as mais diversas finalidades (GUIMARÃES, CARVALHO, SILVA, 2007; AGUIAR *et al.*, 2020).

Teoricamente, o coeficiente do dia de maior consumo é calculado através da razão entre a vazão média do dia de maior consumo pela vazão média diária anual. Analogamente, o coeficiente da hora de maior consumo é obtido por meio do quociente entre a maior vazão horária do dia e a vazão média horária do dia. Entretanto, para finalidades de projeto de engenharia, estes valores podem ser adotados como sendo iguais a 1,20 e 1,50, respectivamente (ABNT NBR 12211/1992).

Ao longo de muitas décadas, o equacionamento exposto na Equação 1 foi amplamente utilizado pela comunidade científica e profissional para se desenvolver estudos associados à concepção de redes de distribuição de água (ANDRADE, BLUMENSCHNEIN, 2013; DA SILVA *et al.*, 2020). Todavia, atualmente, percebe-se que a relação existente entre as vazões de demanda e a população abastecida não é unidimensional.

Assim, observa-se que variáveis associadas à estruturação e ao próprio comportamento do ambiente urbanizado possuem influência na determinação das vazões de abastecimento e, conseqüentemente, no aproveitamento dos recursos hídricos em uma cidade RUEDA, 2000; ZHANG, 2013; SOUZA, 2015; KUSTERKO *et al.*, 2018).

Desde o final da primeira década do século XX, estudos internacionais têm dissertado sobre a importância e a influência que a configuração morfológica urbana apresenta diante do dimensionamento, da distribuição e da utilização de recursos naturais (HILL, 2009; ANDRADE, BLUMENSCHNEIN, 2013; ZHANG, 2013). Neste contexto, pesquisadores têm observado que a forma geométrica com a qual uma cidade se estrutura se relaciona intimamente e de modo sistêmico ao consumo de água de sua população (MARINHO, 2018; LOUSADA *et al.*, 2019; DA SILVA *et al.*, 2020).

Convencionalmente, redes de distribuição de água em cidades se desenvolvem abaixo do eixo de greide de arruamentos (TSUTIYA, 2005). Assim, tem-se que os condutos forçados que transportam a água desde suas estações de tratamento até os pontos de distribuição nas edificações são projetados, dimensionados, construídos e operados no subsolo das vias urbanas (BOTELHO, 2011).

De modo prático, tem-se que quanto maiores as distâncias nas vias superficiais urbanas a serem vencidas em uma rede de distribuição de água, maiores serão os gastos com material, operação e gerenciamento do sistema de condutos forçados. De modo análogo, maior também será a população residente na área onde se desenvolvem as vias e, conseqüentemente, maior será o consumo de água por estes habitantes.

Com um maior consumo de água, ao se analisar a Equação 1 anteriormente exposta, tem-se também um incremento nas vazões mínimas de abastecimento. Este incremento tende a ocasionar, dentre outras situações, as que se seguem (THÉRIAULTE, LAROCHE; 2009; VAN LEEUWEN *et al.*, 2012; SOUZA, 2015; RENOULF *et al.*, 2017):

- Maiores volumes a serem retirados de cursos d'água naturais, podendo assim provocar desequilíbrios na fauna e na flora de ecossistemas;
- Maiores gastos com materiais da rede de distribuição, que deve ser concebida sendo capaz de suportar maiores vazões e, conseqüentemente, maiores pressões estáticas e dinâmicas, demandando assim por materiais mais resistentes;
- Incremento no custo de aquisição, operação e manutenção de equipamentos em estações elevatórias, tais como bombas e sistemas de recalque, quando a água demandar por ser distribuída através de bombeamento, e não apenas por gravidade; e,
- Maiores oscilações de consumo em caso de interrupção do abastecimento de água para a população.

Com base nisso, diversos pesquisadores e profissionais associados com o ambiente urbano tem incentivado o desenvolvimento de estudos e preconizado novos paradigmas para o projeto, a construção e a gestão das cidades e de seus elementos morfológicos. Com isso, é possível não apenas compreender melhor a forma como as cidades, suas populações e seus fenômenos se desenvolvem, mas também amenizar os impactos negativos causados pela estruturação geométrica e pelo funcionamento do espaço geográfico urbanizado de modo ecossistêmico (HILL, 2009; RENOULF *et al.*, 2017, DA SILVA *et al.*, 2020).

Neste sentido, tem se tornado frequente, em âmbito internacional, a discussão conceitual das chamadas “cidades

sensíveis à água”, ou *Water Sensitive Cities (WSC)*. Este termo faz referência a um conjunto de práticas de projeto, de construção e de operação do tecido urbano e de seus equipamentos de infraestrutura cujo objetivo principal se fundamenta nos seguintes aspectos (MARE, 2008; UNESCO, 2008; LIMA *et al.*, 2013; AGUIAR *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2020):

- Garantir as menores intervenções possíveis no ambiente natural, de modo a preservar intensamente os ecossistemas originais de um determinado espaço geográfico;
- Minimizar, de modo efetivo, os impactos causados pelas edificações no ciclo hidrológico urbano;
- Garantir que a estruturação geométrica e morfológica das cidades seja resiliente frente a ocorrência de desastres e catástrofes naturais de origem hídrica, tais como enchentes e eventos pluviométricos extremos; e,
- Proporcionar uma utilização consciente da água dentro do ambiente urbanizado, de modo a otimizar o aproveitamento dos recursos hídricos em todas as suas instâncias.

Dentro deste cenário, uma das características mais singulares das cidades sensíveis à água é a sua compactidade urbana. Por definição, entende-se a compactidade de uma mancha urbana como sendo o parâmetro quantitativo que mensura a relação existente entre seu perímetro e a área de um círculo fictício inscrito na área real ocupada pela cidade (LI, YEH, 2004; CRUZ, MARINS, 2017). Em outras palavras, é um parâmetro que mensura o grau de compactação de uma determinada urbe.

Assim, a compactidade de uma mancha urbana é obtida por meio do cálculo do chamado Índice de Compactidade (IC), conforme exposto na Equação 2 (LI, YEH; 2004; Lu, Y, 2015).

$$IC = 2 \left(\frac{\sqrt{\pi \cdot A}}{P} \right) \quad (2)$$

Onde: *IC* = índice de compactidade (adimensional, por definição); *A* = área da mancha urbana (km²); e *P* = perímetro da mancha urbana (km).

Dos valores obtidos pela Equação 2, pode-se classificar uma determinada área urbana tendo em vista seu índice de compactidade. A Tabela 1 apresenta estas classificações (LI, YEH, 2004; LU, Y, 2015; CRUZ, MARINS, 2017).

Tabela 1 – Classificação e análise dos valores de índice de compactidade.

Valor do Índice de Compactidade (IC)	Classificação da área urbana
IC > 0,50	Compacta
0,20 < IC < 0,50	Pouco compacta
0,15 < IC < 0,20	Dispersa
IC < 0,15	Muito dispersa

Fonte: Adaptado de Cruz e Marins (2017).

Em relação ao objetivado por uma cidade sensível a água, observa-se que manchas urbanas com um IC mais elevado possuem maior potencialidade de otimização no aproveitamento de recursos hídricos. Isso se deve ao fato de que cidades compactas tendem a ser mais densas, ou seja, a apresentarem uma maior densidade populacional (CRUZ, MARINS, 2017).

Com isso, concentra-se uma maior quantidade de habitantes em um espaço geográfico reduzido. Consequentemente, torna-se mais facilitado o gerenciamento de equipamentos de infraestrutura urbana, de sistemas de drenagem pluvial e de redes de distribuição de água para esta população consumidora (TSUTIYA, 2005; ANDRADE, BLUMENSCHNEIN, 2013). Assim, um espaço urbano compacto implica em menores distâncias entre arruamentos e, consequentemente, menores gastos com materiais para os condutos forçados de redes subterrâneas de distribuição de água.

Ademais, em uma rede de distribuição que acompanhe uma mancha urbana com IC alto, há uma tendência de menor utilização de singularidades hidráulicas, tais como joelhos, cotovelos e curvas nos condutos forçados. Assim, é possível promover uma diminuição considerável das perdas de carga (energia dissipada na forma de calor decorrente do atrito fluido/parede e fluido/fluido em um escoamento de conduto forçado) durante a distribuição de água (TSUTIYA, 2005; TUCCI, 2008).

Uma consequência direta da redução das perdas de carga é a diminuição da ocorrência de sinistros envolvendo as tubulações de distribuição, tais como o golpe de aríete (ABNT NBR 12211/1992). Estes fenômenos são os principais responsáveis pela perda de eficiência no funcionamento de uma rede de abastecimento de água, podendo agir de modo a ocasionar variações intensas de pressão e/ou vazão, interrupções bruscas no fornecimento de água e, em casos extremos, o total colapso dos condutos (PORTO, 1999; TSUTIYA, 2005; TUCCI, MENDES, 2006).

Diante do anteriormente exposto, é consonante entre a sociedade atual que a busca pela construção de cidades sensíveis à água e com estruturação morfológica compacta se tornou uma necessidade. Desta maneira, é possível orientar práticas mais inteligentes e sustentáveis no que diz respeito ao aproveitamento dos recursos hídricos dentro do ambiente urbanizado e estabelecer padrões mais conscientes para o consumo de água.

3. Metodologia

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Uberlândia situa-se no estado de Minas Gerais, na Mesorregião Geográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1). Ele possui uma extensão territorial de 4.115,206km², população de 706.597 habitantes e uma densidade populacional equivalente a 146,78 hab/km² (IBGE; 2021).

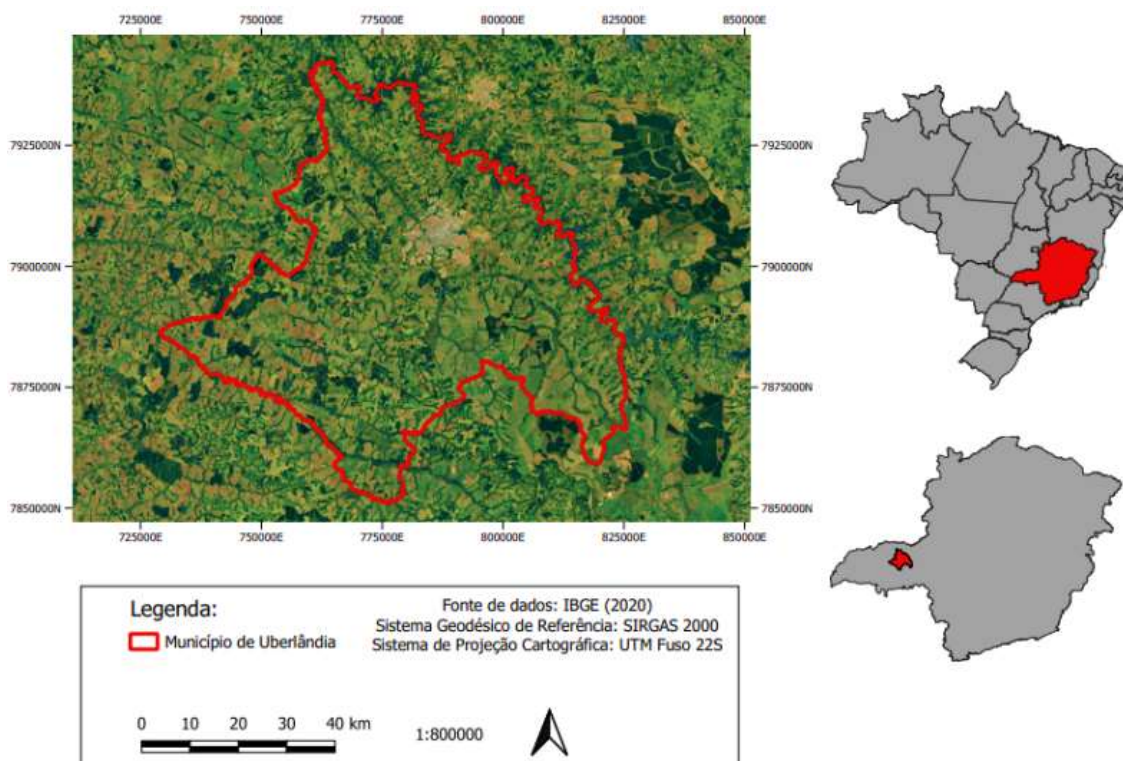


Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo.

Fonte: Os autores.

Conforme pode ser visto na Figura 1, a mancha urbana municipal se desenvolve na porção Nordeste do município. Ela possui uma extensão territorial de 135,72km², o que corresponde a 3,30% da área municipal. Praticamente, 97% da população do município encontra-se vivendo na área urbanizada (IBGE; 2021).

Torna-se importante salientar que Uberlândia se configura como uma cidade referência em âmbito nacional no contexto do abastecimento público de água e da coleta, do tratamento e da destinação adequada de efluentes sanitários. O município conta com 98,5% de sua área urbana coberta com sistemas de saneamento de elevada eficiência, sendo ranqueada assim como a segunda cidade com o melhor sistema de saneamento básico em todo o país (IBGE; 2021).

3.2 Coleta de dados

Após a caracterização inicial da área de estudo, tornou-se necessário coletar dados fundamentais sobre a mancha urbana de Uberlândia. Neste sentido, juntamente às plataformas digitais da Prefeitura Municipal de Uberlândia, foram coletados

dados relativos à listagem dos bairros que integram a cidade, bem como suas respectivas populações e contornos geométricos.

Além disso, foi realizada a vetorização da mancha urbana por meio de imagens orbitais extraídas do *Google Earth Professional*, relativas ao imageamento da área urbana municipal no ano de 2020. Por meio dos polígonos delimitados, calculou-se os parâmetros geométricos de área e perímetro para cada figura vetorizada.

3.3 Determinação dos índices de compacidade

Os valores de IC foram calculados com base na Equação 2, exposta anteriormente neste texto. Para tanto, consideraram-se os perímetros e as áreas de cada zona geográfica da mancha urbana municipal, setorizada entre Zona Norte, Zona Sul, Zona Leste, Zona Oeste e Zona Central. A Tabela 2 apresenta os bairros pertencentes a cada zoneamento.

Tabela 2 – Bairros integrantes de cada zoneamento geográfico da mancha urbana.

Norte	Sul	Leste	Oeste	Central
Pres. Roosevelt	Tubalina	Tibery	Jaraguá	Centro
Jd. Brasília	Cid. Jardim	S. Mônica	Planalto	Fundinho
S. José	Nova Uberlândia	Segis. Pereira	Chac. Tubalina	Lídice
Marta Helena	Patrimônio	Umuarama	Jd. Palmeiras	Tabajaras
Maravilha	M. da Colina	Cust. Pereira	Jd. Canaã	Cazeca
Pacaembu	Vigilato Pereira	Morumbi	Panorama	Bom Jesus
S. Rosa	Saraiva	Integração	Jd. Holanda	Brasil
Res. Gramado	Jd. Karaíba	Industrial	Mansour	N. S. Aparecida
N. S. das Graças	Granada	Outros	Jd. Europa	Martins
Minas Gerais	S. Jorge		Luizote de Freitas	Oswaldo Resende
Outros	Laranjeiras		Jd. Patrícia	Daniel Fonseca
	Ibiporã		D. Zulmira	
	Shopping Park		Taiaman	
	S. Luzia		Guarani	
	Outros		Tocantins	
			Morada do Sol	
			Outros	

Fonte: Os autores.

Torna-se importante salientar que, na Tabela 2, onde se lê “Outros”, foram enquadrados bairros ainda não oficializados pela Prefeitura Municipal de Uberlândia e/ou residenciais fechados que, ainda que se estruturam como bairros exclusivamente residenciais, não são considerados como unidades administrativas pela gestão pública.

Desta forma, foram obtidos 5 valores para perímetros e áreas, correspondentes a cada um dos 5 zoneamentos da Tabela 1. Consequentemente, por meio da aplicação da Equação 2, obteve-se 5 valores de IC, um para cada zona geográfica da mancha urbana municipal de Uberlândia.

3.4 Determinação das vazões mínimas de abastecimento (vazões de demanda)

O cálculo das vazões mínimas de abastecimento procedeu-se por meio da utilização da Equação 1, anteriormente exposta neste texto. Para tanto, considerou-se a população total de cada bairro da cidade de Uberlândia. Os valores de k_1 e k_2 , para finalidades práticas de cálculo, foram tomados como sendo 1,20 e 1,50, respectivamente (ABNT NBR 12211/1992). Por fim, os valores de consumo médio diário *per capita* foram adotados segundo recomendações normativas (ABNT NBR 12211/1992).

Neste sentido, calculou-se a vazão para cada bairro da cidade. Estas vazões foram, então, somadas bairro a bairro por setor de zoneamento da mancha urbana. Assim, obteve-se 5 vazões mínimas de abastecimento, cada uma relativa a vazão de demanda necessária para abastecer a população residente em uma zona geográfica da cidade de Uberlândia.

3.5 Determinação das densidades demográficas

Após o cálculo dos valores de IC e das vazões mínimas de abastecimento, calculou-se para a densidade populacional das zonas geográficas da cidade. Este valor foi obtido por meio da razão entre o somatório da população de uma determinada zona por sua respectiva área territorial. Obteve-se, assim, 5 valores de densidade populacional por zona da mancha urbana do município.

3.6 Espacialização e análise dos resultados

Após a finalização de todos os cálculos, os resultados obtidos foram especializados na forma de um mapa temático. Para tanto, utilizou-se o *software* de geoprocessamento QGIS versão 3.16.6, onde os resultados adquiridos foram manipulados graficamente. Além disso, também foram desenvolvidos gráficos comparativos com o intuito de analisar, visual e numericamente, as relações existentes entre vazão de demanda e índice de compactidade.

Por fim, os resultados expressos na forma do mapa temático e dos gráficos desenvolvidos foram correlacionados com questões associadas à otimização do aproveitamento de recursos hídricos. Em espacial, atentou-se à relação dos mesmos para com a promoção de redes de distribuição de água consonantes com os conceitos preconizados pelas cidades sensíveis a água num contexto da urbanização inteligente e sustentável.

4. Resultados e discussões

4.1 População, densidade demográfica e vazões de abastecimento para Uberlândia

Em um primeiro momento, foram determinados e analisados os parâmetros populacionais e as vazões mínimas de abastecimento de água considerando a população de Uberlândia como um todo. Neste sentido, buscou-se interpretar a curva de crescimento populacional disponibilizada pela Prefeitura Municipal, exposta na Figura 2.

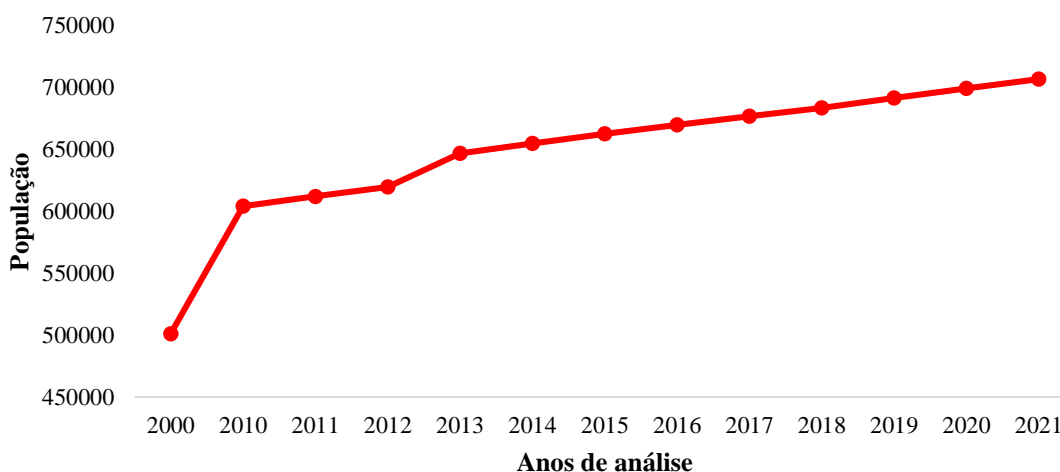


Figura 2 – Curva de crescimento da população de Uberlândia.
Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Uberlândia (2022).

Por meio da Figura 2, é possível observar que a entre os anos de 2000 e 2010, houve um considerável crescimento da população residente no município de Uberlândia. Todavia, a partir do ano de 2013, este crescimento praticamente passou a apresentar um comportamento linear.

Diante desta estimativa populacional, determinou-se os valores de vazão mínima de abastecimento para a população geral da cidade. Neste contexto, optou-se por determinar as vazões apenas para o período de tempo cujo comportamento da curva de população foi observado e/ou estimado como linear, ou seja, entre os anos de 2013 e 2030. A Tabela 2 apresenta estes valores.

Tabela 2 – Vazões mínimas de abastecimento para a população de Uberlândia como um todo.

Ano	População	k1	k2	q (L/hab)	Q estimada (L/s)	Q estimada (m ³ /s)
2013	646673	1,2	1,5	300	4041,706	4,042
2014	654681	1,2	1,5	300	4091,756	4,092
2015	662362	1,2	1,5	300	4139,763	4,140
2016	669672	1,2	1,5	300	4185,450	4,185
2017	676613	1,2	1,5	300	4228,831	4,229
2018	683247	1,2	1,5	300	4270,294	4,270
2019	691305	1,2	1,5	300	4320,656	4,321
2020	699097	1,2	1,5	300	4369,356	4,369
2021	706597	1,2	1,5	300	4416,231	4,416
2022	713728	1,2	1,5	300	4460,799	4,461
2023	721135	1,2	1,5	300	4507,091	4,507
2024	728541	1,2	1,5	300	4553,384	4,553
2025	735948	1,2	1,5	300	4599,676	4,600
2026	743355	1,2	1,5	300	4645,968	4,646
2027	750762	1,2	1,5	300	4692,260	4,692
2028	758168	1,2	1,5	300	4738,552	4,739
2029	765575	1,2	1,5	300	4784,844	4,785
2030	772982	1,2	1,5	300	4831,137	4,831

Fonte: Os autores.

Por meio da Tabela 2 e da Figura 2, observa-se que, concomitante ao incremento linear da população residente, as vazões mínimas para atendimento da demanda nas redes de distribuição de água no município também cresceram de forma linear.

4.2 População, compactidade e vazões de abastecimento por zona geográfica

De modo geral, pôde-se perceber que as vazões mínimas para atender a demanda populacional em redes de distribuição de água possuem uma relação diretamente proporcional com a quantidade de população abastecida. Matematicamente, isso se torna evidente por meio da Equação 1 e é observado por meio dos gráficos expostos nas Figuras 4 e 5 que dizem respeito aos padrões da população de Uberlândia e suas respectivas vazões de demanda ao longo dos anos.

Entretanto, conforme exposto nas seções anteriores deste artigo, sabe-se que a forma com a qual a mancha urbana se desenvolve também pode influenciar estas vazões devido às variações de densidade populacional nas cidades. Além disso, o grau de compactidade do ambiente construído, mensurado pelo IC, também é um parâmetro influente na determinação das vazões de abastecimento.

Neste contexto, para se analisar a influência da densidade populacional e da compactidade do ambiente urbanizado nas vazões de demanda para abastecimento de água, optou-se por realizar um estudo setorizado. Assim, foram determinadas a população total, a densidade populacional e a vazão de demanda para cada zona geográfica da cidade de Uberlândia/MG. Estes valores encontram-se expostos na Tabela 3.

Tabela 3 – População, densidade populacional, compacidade e vazões por zona geográfica.

Zona	Q demanda (m ³ /s)	População	Densidade populacional (hab/km ²)	IC
Norte	0,386	93267	3330,964	0,845
Sul	0,498	125851	2125,861	0,814
Leste	0,604	137000	2337,884	0,805
Oeste	0,568	140539	1979,423	0,638
Centro	0,334	84903	6242,868	0,755

Fonte: Os autores.

As vazões de demanda foram calculadas separadamente por bairro, levando em consideração suas respectivas populações. Após este cálculo, elas foram somadas de acordo com os bairros que integram cada zona geográfica da mancha urbana municipal de Uberlândia.

Na Tabela 3, a população de cada zona foi obtida de modo semelhante, ao se somar a população total dos bairros que compõem cada setor analisado. A densidade populacional foi obtida por meio do quociente entre a população de cada zona e sua respectiva área territorial.

O valor de IC foi determinado utilizando-se a Equação 2, anteriormente exposta no texto deste artigo. Por fim, as informações apresentadas na Tabela 3 também foram representadas por meio de um mapa temático, conforme ilustra a Figura 3.

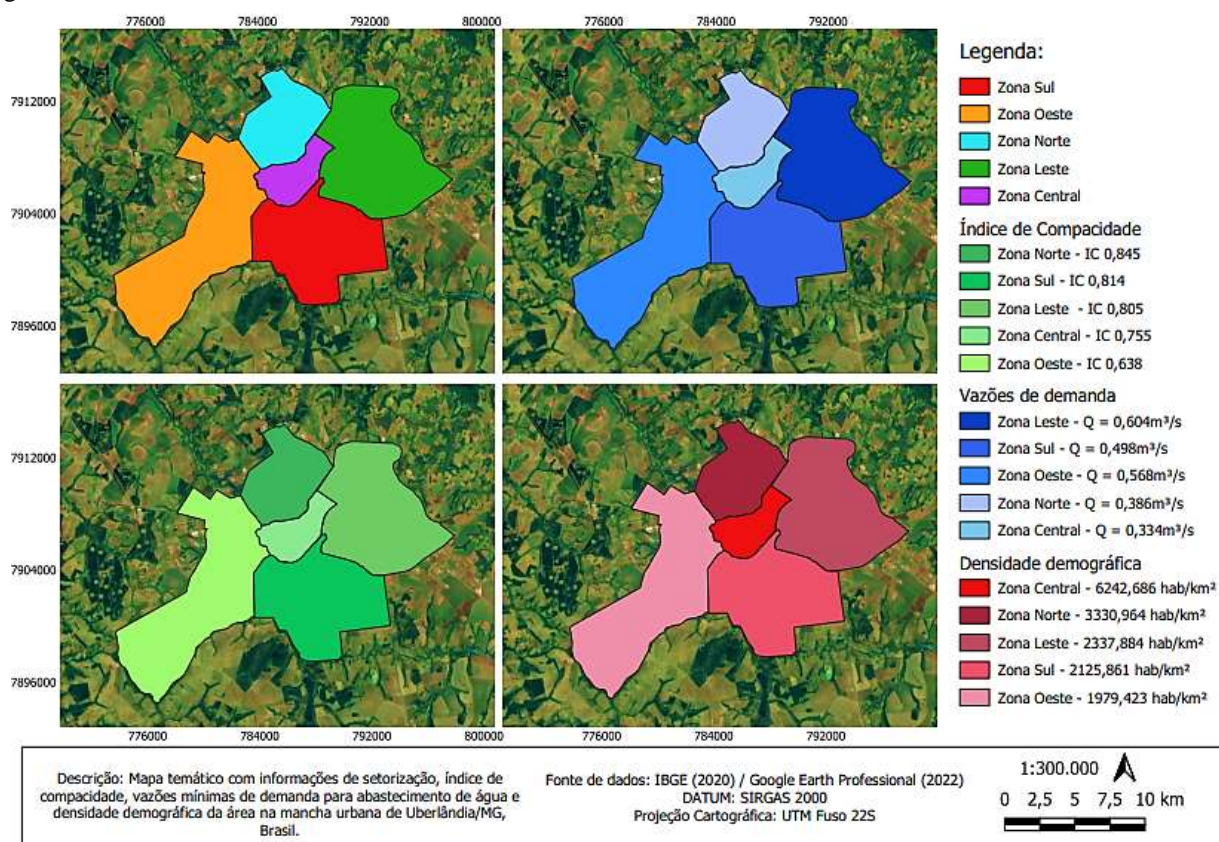


Figura 3 – Zoneamento, compacidade, vazões de demanda e densidade demográfica na área de estudo.

Fonte: Os autores.

Em relação aos dados expostos na Tabela 3 e na Figura 3, pode-se observar que a relação existente entre densidade populacional, índice de compacidade e vazões de demanda é complexa. Assim sendo, de modo geral, não é possível

estabelecer relações de proporcionalidade direta e/ou indireta entre os parâmetros analisados.

Neste contexto, optou-se por analisar, de modo isolado, as relações existentes entre o IC e as vazões de abastecimento para as zonas geográficas de Uberlândia. Esta relação foi possível visto que ambos os parâmetros se encontram dentro da mesma faixa absoluta de escala para análise (valores entre 0,00 e 1,00). A Figura 7 ilustra, por meio de um gráfico, a relação entre estas duas variáveis.

Torna-se importante observar que, de maneira geral, valores elevados para o IC estão associados a valores mais baixos para a vazão mínima de abastecimento em redes de distribuição de água. Pela Figura 7, é possível comprovar este comportamento ao verificar que as regiões Norte, Sul e Centro apresentarem os maiores valores de compacidade urbana e, associado a isto, valores baixos de vazão de demanda.

Analogamente, a região Oeste obteve o maior valor de vazão de demanda. Associado a este comportamento, por meio da Figura 4, observa-se que a região Oeste apresentou o menor valor de índice de compacidade entre as demais zonas geográficas da mancha urbana municipal.

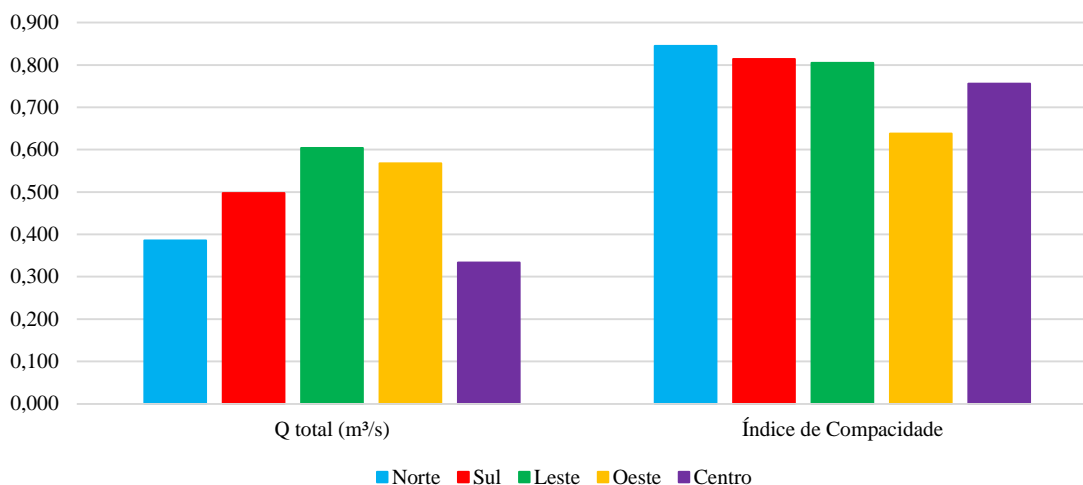


Figura 4 – Relação entre IC e vazões mínimas de demanda para abastecimento de água.

Fonte: Os autores.

Todavia, é importante salientar que a zona Leste apresentou comportamento destoante do geral observado. Neste sentido, a mesma apresentou um elevado valor de IC e também um elevado valor para das vazões de demanda. Isso se deve, principalmente, à grande população residente na região, de modo que a influência populacional frente ao consumo de água se torna maior que a influência da morfologia urbana.

Já no que diz respeito à relação entre densidade populacional e as vazões de demanda, a Figura 5 ilustra o comportamento apresentado por estas variáveis em função de sua zona geográfica. Neste sentido, é possível observar que existe maior complexidade na relação entre estes dois parâmetros.

De maneira geral, ao se analisar as informações apresentadas na Figura 5, percebe-se que há uma relação de proporcionalidade inversa entre as duas variáveis. Desta forma, à medida que se aumenta a densidade populacional, tende-se a diminuir as vazões de abastecimento. Analogamente, a redução da densidade populacional tende a implicar um aumento das vazões mínimas de demanda na rede de abastecimento.

Entretanto, este comportamento não pode ser tomado como fatídico e imutável visto que a densidade demográfica é uma função quociente de duas variáveis: uma de ordem populacional (quantidade de habitantes residentes em uma área) e outra de ordem morfológica (área na qual uma população reside). Tradicionalmente, o aumento de populações implica no consequente incremento da área ocupada por essa parcela demográfica. Assim, a elevação da densidade demográfica culmina no incremento das vazões de abastecimento, visto que tanto os parâmetros populacionais quanto os morfológicos foram majorados.

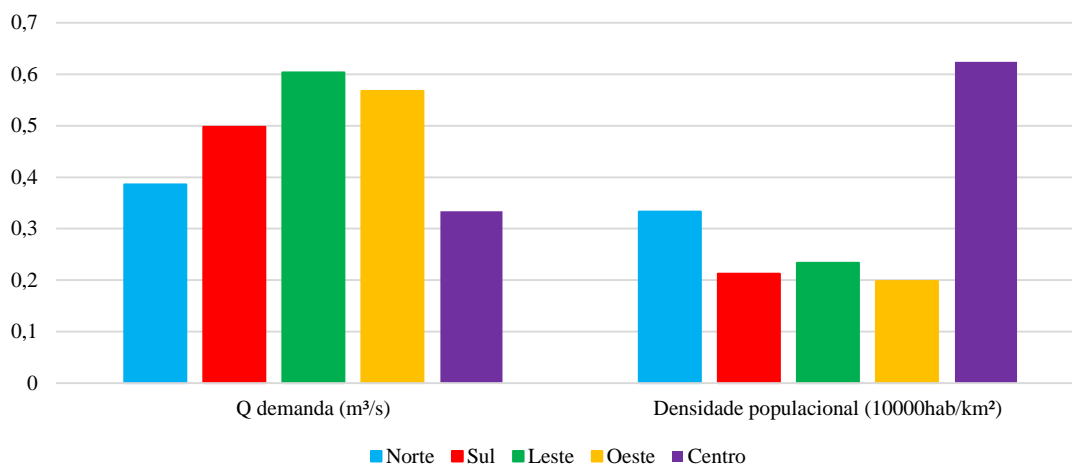


Figura 5 – Relação entre densidade demográfica e vazões de demanda para abastecimento de água.
Fonte: Os autores.

No caso de cidades compactas e das cidades sensíveis a água, esta relação se inverte. Mantendo-se fixa a área habitada e promovendo apenas o incremento dos parâmetros populacionais, tem-se apenas um aumento da densidade demográfica. Este aumento, por sua vez, costuma não ser suficiente para provocar elevações significativas nos padrões de consumo e demanda por água em redes de distribuição pública.

A zona central da mancha urbana de Uberlândia, conforme pode ser visto na Figura 5, exemplifica bem esta situação. A região se desenvolve com uma área inflexível e com uma elevada população consolidada, o que implica na maior densidade populacional do município. Apesar disso, a vazão de demanda para a região se mostra a menor quando comparada as demais zonas geográficas da cidade.

5. Considerações finais

Por meio dos resultados obtidos nesta pesquisa, concluiu-se que o consumo de água nas cidades, variável esta sintetizada pelo valor das vazões mínimas de abastecimento estabelecidas pela ABNT NBR 12211/1992, é um parâmetro diretamente proporcional à população urbana. Desta maneira, conclui-se que à medida que se incrementa a quantidade de residentes em uma dada área urbanizada, aumenta-se também as vazões mínimas. Analogamente, a redução populacional também provoca uma redução do consumo de água.

Além disso, concluiu-se que o consumo hídrico nas cidades tende a ser inversamente proporcional à densidade demográfica e ao índice de compactidade das manchas urbanas. Desta maneira, concluiu-se que parâmetros geométricos e urbanísticos das cidades atuam de modo bastante sensível no que diz respeito à determinação das vazões mínimas de projeto em sistemas de abastecimento de água.

Para o estudo de caso desenvolvido neste trabalho, concluiu-se que as proporcionalidades descritas anteriormente são aplicáveis, excetuando-se a região central da cidade de Uberlândia-MG. Esta região, por sua vez, apresenta comportamento particular devido à sua singularidade e consolidação urbana.

Sugere-se para trabalhos futuros a coleta de informações sobre os consumos exatos reais de água pelas populações residentes em cada bairro da área de estudo. Com isso, pode-se comparar o modelo gerado e os valores estimados nesta pesquisa com dados exatos e, assim, otimizar a análise estatística deste modelo.

Por fim, sugere-se também a adoção de outras cidades para desenvolvimento de novos estudos de caso. Com isso, pode-se comparar cenários urbanos distintos com suas respectivas particularidades e otimizar o processo de modelagem do consumo de água nas cidades e sua relação com aspectos urbanísticos, demográficos, ambientais, dentre outros.

Referências

AGUIAR, G., TEIXEIRA, T., DE SOUZA, F. P., DOS SANTOS, K. V. Expansão demográfica e abastecimento de água no sistema integrado de Feira de Santana/BA. *Humanas Sociais & Aplicadas*, 10(29), 34-45. 2020.

- ANDRADE, L.M.S.; BLUMENSCHNEIDER, R.N. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão? *Paranoá, Brasília*, n. 10, p. 59-76, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12211/1992. *Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro/RJ. Brasil. 54p. 1992.
- BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.) *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- CRUZ, R. B. C.; MARINS, K. R. C. Avaliação do índice de compactidade nas subprefeituras do município de São Paulo. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. v.13, n.2, p. 287-298. 2017.
- DA SILVA, G. M., SCHWANTZ, P. I., PRESTES, M. M. B., DE QUEVEDO, C. A., PORN, C. M., DE LARA, D. M. Análise per capita do abastecimento de água no município de Soledade (Rio Grande do Sul). *Revista Estudo & Debate*, 27(2). 2020.
- GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. *Saneamento básico*. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: maio/2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Portal cidades. Uberlândia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>>. Acesso em: junho/2022.
- HILL, K. Urban Design and Urban Water ecosystems. *The Water Environment of Cities*. Springer. pp 141-170. 2009.
- KUSTERKO, S., ENSSLIN, S. R., ENSSLIN, L., CHAVES, L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23, 615-626. 2018.
- LIMA, B. ANDRADE, L. S. A., HOLLANDA, P. P. T.M., *Padrões de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Paranoá e seus impactos para o ciclo da água no meio urbano*. In: Anais do ELECS, Curitiba, 2013.
- LI, X., YEH, A. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape Urban Planning*, v.69, n.4., (October 2004) p 335– 354. 2004.
- LOUSADA, S., SOARES-DA SILVA, P., CASTANHO, R. A., NARANJO-GÓMEZ, J. M. Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(2), 89-98. 2019.
- LU, C., Y., L. Effects of China’s urban form on urban air quality. *Urban Studies Journal Limited* 2015. DOI: 10.1177/0042098015594080. China. p1–17. 2015.
- MARINHO, S. D. A. M. *Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos: análise a partir do metabolismo urbano e da produção do espaço em Campina Grande-PB*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, Brasil. 89p. 2018.
- MARE, C. *An Historical survey of urban densities as a consequence of energy regime: descent into the urban village*. In: Anais do Ecocity, São Francisco, Califórnia 2008.
- MENEZES, P. H. B. J. *Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá*. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2010.
- PORTO, R.M. Hidráulica básica. São Carlos: EESC/USP, 1999.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Mapas e bairros. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/planejamento-urbano/mapas-e-bairros/>>. Acesso em: junho/2022.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. População. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/planejamento-urbano/populacao-uberlandia/>>. Acesso em:

junho/2022.

QGIS. Quantum Gis 3.16.6. Software de geoprocessamento. Disponível para download em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>. Acesso em: junho/2022.

RENOULF, M. A., SERRAO-NEUMANN, S., KENWAY, S. J., MORGAN, E. A., LOW CHOY, D. Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance - Bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management. *Water Research*, 122, 669-677. 2017.

RUEDA, S. *Modelos de ciudad: indicadores básicos y las escalas de la sostenibilidad*. Barcelona: [s.n.]. Quaderns – D'arquitectura e urbanismo – Col·legio D' Arquitectos de Catalunya. 2000.

SOUZA, T. J. *Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: o caso de Campina Grande – PB. Dissertação de mestrado*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, Brasil. 2015.

THÉRIAULT, J., LAROCHE, A. Evaluation of the Urban Hydrologic Metabolism of the Greater Moncton Region, New Brunswick. *Canadian Water Resources Journal* Vol. 34(3): 255–268, 2009.

TSUTIYA, M.T. *Abastecimento de água*. 2. ed. São Paulo: DEHS-USP, 2005.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Brasília: MMA, 2006.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. *Estudos avançados* n.22 v. 63, 2008.

UNESCO – IHP. Urban Water Cycle Processes and Interactions. In: MARSALEK, J., JIMÉNEZCISNEROS B., KARAMOUZ M., MALMQUIST P., GOLDENFUM J. & CHOCAT B. *Urban Water Series*. Taylor & Francis, Londres, 2008.

VAN LEEUWEN, C. J., FRIJNS, J., VAN WEZEL, A., VAN DE VEN, F. H. M. City Blueprints: 24 Indicators to Assess the Sustainability of the Urban Water Cycle. *Water Resour Manage*. 26, 2177-2197. 2012.

WATER SENSITIVE URBAN DESIGN PROGRAM - WSUD. City of Melbourne WSUD guidelines: applying the model WSUD. Melbourne Water, 2008.

ZHANG, Y. Urban metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution*, 178, 463-473. 2013.